



# MILIEU EN GEZONDHEID 2021

## SUBSIDIE PROJECT



**Contactgegevens:**

Inhoudelijk Coördinator: [veerle.verheyen@vito.be](mailto:veerle.verheyen@vito.be) en [eva.govarts@vito.be](mailto:eva.govarts@vito.be)

Institutioneel Coördinator: [ilse.loots@uantwerpen.be](mailto:ilse.loots@uantwerpen.be)

Woordvoerder : [vera.nelen@provincieantwerpen.be](mailto:vera.nelen@provincieantwerpen.be)

Opdrachtgever: [milieu.gezondheid@vlaanderen.be](mailto:milieu.gezondheid@vlaanderen.be)

## PARTNERS

Dit rapport bevat resultaten van het subsidieproject Milieu en Gezondheid 2021. Dit project is een multidisciplinair initiatief waaraan onderzoeksgroepen van de vijf Vlaamse universiteiten en van de onderzoeksinstellingen VITO en PIH meewerkten:

- Universiteit Antwerpen, Faculteit Sociale Wetenschappen / IMDO, Institutioneel coördinator Prof. Dr. I. Loots, Medewerkers D. Coertjens, B. Morrens, (i.s.m. R. Geerts, F. Vandermoere);
- VITO Health, Inhoudelijk coördinator Prof. Dr. G. Schoeters, Veerle Verheyen, Eva Govarts, Medewerkers A. Colles, L. Gilles, A. Kestens (administratief medewerker), Dr. G. Koppen, Dr. S. Remy;
- Universiteit Antwerpen, Toxicologisch centrum, Prof. Dr. A. Covaci, Medewerkers M. Roggeman, L. Belova, Y. Jeong, D. Kim, S. Fernandez, G. Poma;
- Universiteit Hasselt, Centrum voor Milieuwetenschappen, Prof. Dr. T. Nawrot, Medewerkers Dr. E. Bijnens; L. Engelen, R. Braeken;
- Universiteit Hasselt, iBiostat/Centrum voor Statistiek, Dr. L. Bruckers;
- VUB, Analytische, Milieu- en Geochemie, Prof. Dr. M. Leermakers, Medewerkers Prof. Dr. N. Van Larebeke, Prof. Emeritus Dr. W. Baeyens;
- Katholieke Universiteit Leuven - Departement Volksgezondheid en Eerstelijnszorg, Prof. L. Godderis, Medewerkers S. Pauwels, S. Vandenbroek, L. Gilissen;
- Universiteit Gent, Prof. Dr. S. De Henauw;
- Provinciaal Instituut voor Hygiëne (PIH) Antwerpen, Woordvoerder: Dr. V. Nelen, Medewerkers Dr. E. Den Hond, Dr. A. De Decker, Dr. C. Franken, I. Gabaret.

De studie gebeurde in opdracht en onder toezicht van de Vlaamse overheid, dienst Departement Omgeving, Vlaams Planbureau Omgeving. Dit rapport geeft de bevindingen weer van de auteurs en niet die van de Vlaamse overheid. De Vlaamse overheid is niet aansprakelijk voor het gebruik dat kan worden gemaakt van de in dit rapport opgenomen gegevens.

*Speciale dank gaat uit naar alle deelnemers aan het FLEHS IV onderzoek en hun ouders; de directie en het personeel van deelnemende scholen; de Stuurgroep van het Project Milieu en Gezondheid 2021 voor hun waardevolle input.*

## INHOUD

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>PARTNERS</b> .....                                                               | <b>2</b>  |
| <b>SAMENVATTING</b> .....                                                           | <b>7</b>  |
| <b>INLEIDING</b> .....                                                              | <b>11</b> |
| <b>1 WERKPAKKET 1 COORDINATIE</b> .....                                             | <b>14</b> |
| 1.1 DOELSTELLINGEN .....                                                            | 14        |
| 1.2 PARTNERS.....                                                                   | 14        |
| 1.3 VERSLAG VAN DE ACTIVITEITEN .....                                               | 14        |
| <b>2 WERKPAKKET 2 INTERACTIE WETENSCHAP-BELEID</b> .....                            | <b>18</b> |
| 2.1 EXPLORATIEVE ANALYSE SOCIALE CONTEXT MILIEUATTITUDEN (IN FLEHS IV) .....        | 18        |
| 2.1.1 <i>Samenvatting</i> .....                                                     | 18        |
| 2.1.2 <i>Inleiding</i> .....                                                        | 19        |
| 2.1.3 <i>Data en methodologie</i> .....                                             | 20        |
| 2.1.4 <i>Resultaten</i> .....                                                       | 23        |
| 2.1.5 <i>Conclusie en aanbevelingen</i> .....                                       | 29        |
| 2.1.6 <i>Referenties</i> .....                                                      | 31        |
| 2.1.7 <i>Bijlagen</i> .....                                                         | 32        |
| 2.2 VERKENNING CITIZEN SCIENCE OPPORTUNITEITEN VOOR HET VLAAMSE HBM-PROGRAMMA ..... | 36        |
| 2.2.1 <i>Samenvatting</i> .....                                                     | 37        |
| 2.2.2 <i>Inleiding</i> .....                                                        | 39        |
| 2.2.3 <i>Wat is Citizen Science?</i> .....                                          | 40        |
| 2.2.4 <i>Waarom Citizen Science?</i> .....                                          | 43        |
| 2.2.5 <i>Citizen Science en het thema Gezondheid</i> .....                          | 45        |
| 2.2.6 <i>Is het Vlaamse HBM-programma citizen science?</i> .....                    | 46        |
| 2.2.7 <i>Aanpak van de verkenning</i> .....                                         | 47        |
| 2.2.8 <i>Opportunities / Goede praktijken</i> .....                                 | 48        |
| 2.2.9 <i>Uitdagingen</i> .....                                                      | 57        |
| 2.2.10 <i>Opties/Scenario's voor het Vlaamse HBM-programma</i> .....                | 62        |
| 2.2.11 <i>Referenties</i> .....                                                     | 65        |
| 2.3 DEELNEMERSEVALUATIE .....                                                       | 68        |
| 2.3.1 <i>Samenvatting</i> .....                                                     | 68        |
| 2.3.2 <i>Inleiding</i> .....                                                        | 68        |
| 2.3.3 <i>Methodologie</i> .....                                                     | 69        |
| 2.3.4 <i>Resultaten</i> .....                                                       | 73        |
| 2.3.5 <i>Conclusies en aanbevelingen</i> .....                                      | 78        |
| 2.3.6 <i>Referenties</i> .....                                                      | 79        |
| <b>3 WERKPAKKET 3 PLATFORM HUMANE BIOMONITORING</b> .....                           | <b>80</b> |
| 3.1 SWOT-ANALYSE HBM BIJ JONGEREN .....                                             | 80        |
| 3.1.1 <i>Inleiding</i> .....                                                        | 80        |
| 3.1.2 <i>Doel</i> .....                                                             | 80        |
| 3.1.3 <i>SWOT analyse</i> .....                                                     | 80        |
| 3.1.4 <i>Conclusie en beleidsaanbevelingen</i> .....                                | 93        |
| 3.1.5 <i>Referenties</i> .....                                                      | 95        |
| 3.2 SENTINEL APPROACH VIA ARBEIDSGENEESKUNDE .....                                  | 95        |
| 3.2.1 <i>Inleiding</i> .....                                                        | 95        |
| 3.2.2 <i>Doelgroep</i> .....                                                        | 96        |
| 3.2.3 <i>Veldwerk</i> .....                                                         | 104       |
| 3.2.4 <i>Haalbaarheidsanalyse</i> .....                                             | 109       |
| 3.2.5 <i>Voorbeeldcase: PFAS</i> .....                                              | 111       |
| 3.2.6 <i>Aansluiting bij PARC</i> .....                                             | 117       |
| 3.2.7 <i>Referenties</i> .....                                                      | 117       |

|          |                                                                                                                                                                            |            |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4</b> | <b>WERKPAKKET 4 EXTERNE BLOOTSTELLING EN GEZONDHEID .....</b>                                                                                                              | <b>118</b> |
| 4.1      | RUIMTEGEBRUIK EN GEZONDHEID.....                                                                                                                                           | 118        |
| 4.1.1    | <i>Achtergrond en Doelstelling .....</i>                                                                                                                                   | <i>118</i> |
| 4.1.2    | <i>De rol van luchtvervuiling, gemeten als interne koolstof concentraties, in het verband tussen het residentiële ruimtegebruik en cognitie bij FLEHS IV jongeren.....</i> | <i>118</i> |
| 4.1.3    | <i>De biologische stress respons in relatie tot de urinaire koolstoflading.....</i>                                                                                        | <i>123</i> |
| 4.1.4    | <i>Serum cytokine gehalten in relatie tot ruimtegebruik en potentieel immunotoxische blootstellingsmerkers.....</i>                                                        | <i>126</i> |
| 4.2      | HET INWENDIG EXPOSOOM .....                                                                                                                                                | 139        |
| 4.2.1    | <i>Opkomende chemicaliën.....</i>                                                                                                                                          | <i>139</i> |
| 4.2.2    | <i>Metalen en metalloïden.....</i>                                                                                                                                         | <i>156</i> |



## TABELLEN

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABEL 1: LIJST PUBLICATIES 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 15  |
| TABEL 2: OVERZICHT PRESENTATIES VERZORGD OP WETENSCHAPPELIJKE BIJEENKOMSTEN 2021                                                                                                                                                                                                                                | 17  |
| TABEL 3: KARAKTERISTIEKEN STEEKPROEF                                                                                                                                                                                                                                                                            | 23  |
| TABEL 4: MULTIVARIATE REGRESSIEMODELLEN ROND MILIEUBEZORGDHEID                                                                                                                                                                                                                                                  | 25  |
| TABEL 5: MULTIVARIATE REGRESSIEMODELLEN ROND BELANG VAN GROENE RUIMTE                                                                                                                                                                                                                                           | 28  |
| TABEL 6: MULTIVARIATE REGRESSIEMODELLEN ROND REDEN VAN BELANG VAN GROENE RUIMTE                                                                                                                                                                                                                                 | 28  |
| TABEL 7: MILIEUBEZORGDHEID VOLGENS PERSOONSKENMERKEN, INDICATOREN VAN SOCIALE ACHTERGROND, GEZINSCONTEXT EN SCHOOLCONTEXT                                                                                                                                                                                       | 32  |
| TABEL 8: BELANG VAN GROENE RUIMTE IN DE WOONOMGEVING, VOLGENS PERSOONSKENMERKEN, INDICATOREN VAN SOCIALE ACHTERGROND, GEZINSCONTEXT EN SCHOOLCONTEXT (%)                                                                                                                                                        | 33  |
| TABEL 9: APPRECIATIE GROENE RUIMTE IN WOONOMGEVING                                                                                                                                                                                                                                                              | 34  |
| TABEL 10: ONAFHANKELIJKE VARIABELEN GEBRUIKT IN REGRESSIEMODELLEN                                                                                                                                                                                                                                               | 35  |
| TABEL 11: WAT KUNNEN BURGERS ZELF METEN?                                                                                                                                                                                                                                                                        | 52  |
| TABEL 12: OVERZICHT VAN FACULTATIEVE ONDERDELEN MET DEELNAMEPERCENTAGES                                                                                                                                                                                                                                         | 82  |
| TABEL 13: DEELNAMEPERCENTAGE VAN DE SCHOLEN                                                                                                                                                                                                                                                                     | 83  |
| TABEL 14: RESPONS VIA CLB                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 86  |
| TABEL 15: PERCENTAGE WERKENDEN, WERKLOZEN EN INACTIEVE BURGERS IN VLAANDEREN VOLGENS 3 LEEFTIJDGROEPEN TUSSEN 15 EN 65 JAAR                                                                                                                                                                                     | 97  |
| TABEL 16: VERDELING 15 - 64 JARIGEN IN DE WERKENDE BEVOLKING TEN OPZICHT VAN DE TOTALE BEVOLKING                                                                                                                                                                                                                | 97  |
| TABEL 17: AANTAL WERKNEMERS OPGEVOLGD DOOR IDEWE PER REGIO                                                                                                                                                                                                                                                      | 100 |
| TABEL 18: AANTAL WERKNEMERS OPGEVOLGD DOOR IDEWE PER SECTOR                                                                                                                                                                                                                                                     | 100 |
| TABEL 19: FREQUENTIE VAN MEDISCHE CONSULTEN BIJ WERKNEMERS MET EEN BEROEPSRISICO, OPGEVOLGD DOOR IDEWE                                                                                                                                                                                                          | 101 |
| TABEL 20: FREQUENTIE VAN MEDISCHE CONSULTEN PER BEROEPSRISICO                                                                                                                                                                                                                                                   | 101 |
| TABEL 21: SIGNIFICANTE ASSOCIATIES TUSSEN LUCHTVERVUILING, GELUID OP HET WOONADRES, URINAIRE KOOLSTOFADIG EN CYTOKINE CONCENTRATIES IN SERUM (N = 522)                                                                                                                                                          | 129 |
| TABEL 22: SIGNIFICANTE ASSOCIATIES TUSSEN HET AANDEEL GROEN IN DE WOONOMGEVING (TOTAAL GROEN, LAAG EN HOOG GROEN) EN CYTOKINE CONCENTRATIES IN SERUM (N = 522)                                                                                                                                                  | 130 |
| TABEL 23: SIGNIFICANTE ASSOCIATIES TUSSEN BIOMERKERS VAN CHEMISCHE BLOOTSTELLING EN CYTOKINE CONCENTRATIES IN SERUM                                                                                                                                                                                             | 131 |
| TABEL 24: SUMMARY OF COMPOUNDS DETECTED AT CONFIDENCE LEVEL 1 OR 2. FOR EACH COMPOUND THE NAME, FORMULA, RT, DETECTION POLARITY, CL, COMPOUND CLASS AND DETECTION FREQUENCY (DF) ARE INDICATED. IF THE APPLIED METHOD DID NOT ALLOW THE DISTINGUISHMENT BETWEEN ISOMERS, ALL POSSIBLE CANDIDATES ARE INDICATED. | 147 |

## FIGUREN

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| FIGUUR 1: NON-RESPONS VOOR VIJF STELLINGEN OVER MILIEUBEZORGDHEID, VOLGENS SOCIALE PARAMETERS (%) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 24  |
| FIGUUR 2: MILIEUBEZORGDHEID NAAR SCHOOLTYPE, VOOR LEERLINGEN MET EN ZONDER MOS AANBOD OP SCHOOL .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 26  |
| FIGUUR 3: NON-RESPONS VOOR VRAGEN ROND GROENE RUIMTE, VOLGENS SOCIALE PARAMETERS (%).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 27  |
| FIGUUR 4: TWEE 'GRONDLEGGERS' VAN DE TERM CITIZEN SCIENCE (BONNEY, 2016; IRWIN, 2015).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 41  |
| FIGUUR 5: PARTICIPATORY LEVELS OF CITIZEN SCIENCE (HAKLAY, 2013).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 43  |
| FIGUUR 6: DETOX ME ACTION KIT (SILENT SPRING INSTITUTE) - <a href="https://www.silent.spring.org/detoxmeactionkit/">HTTPS://WWW.SILENTSPRING.ORG/DETOXMEACTIONKIT/</a> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 50  |
| FIGUUR 7: SIMPLE TECHNOLOGY INTEGRATED IN MICROFLUIDIC CHIPS AND ITS WORKING PRINCIPLE (KOKALJ ET AL., 2014) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 50  |
| FIGUUR 8: LIVING LABS ROND LUCHTKWALITEIT IN ANTWERPSE SCHOLEN (WWW.SAMENVOORZUIVERELUCHT.EU) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 55  |
| FIGUUR 9: LEDEN VAN DE CHAMACOS YOUTH COUNCIL METEN BLOOTSTELLING AAN CHEMISCHE STOFFEN IN<br>SCHOONMAAKPRODUCTEN – LUCIR STUTY (AFBEELDING VAN: NICOLE, 2021) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 56  |
| FIGUUR 10: KALIBRATIE DECIBELMETERS, ZELFBOUW (LINKS) EN SMARTPHONE APP (RECHTS) (RIVM) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 58  |
| FIGUUR 11: DE VOORNAAMSTE BOUWSTENEN VAN DE DERBI-TOOL (BORONOW ET AL., 2017) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 69  |
| FIGUUR 12: PRINTSCREEN VAN HET DEMORAPPORT (HOMEPAGE, NA INLOGGEN).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 70  |
| FIGUUR 13: PRINTSCREEN VAN HET DEMORAPPORT (STOFFAGINA VOOR LOOD).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 71  |
| FIGUUR 14: PRINTSCREEN VAN HET DEMORAPPORT (VOORSTELLINGSWIJZE INDIVIDUEEL RESULTAAT VOOR LOOD) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 72  |
| FIGUUR 15: VOORBEELD VAN EEN MINDMAP. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 76  |
| FIGUUR 16: PROMOBROCHURES VAN DE 3 <sup>DE</sup> EN 4 <sup>DE</sup> HBM-CAMPAGNES.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 86  |
| FIGUUR 17: AANTAL KOOLSTOF DEELTJES PER ML BLOED (LOG) IN FUNCTIE VAN DE BLOOTSTELLING AAN ZWARTE KOOLSTOF TER<br>HOOGTE VAN HET SCHOOLADRES, IN EEN PERIODE VAN 2 DAGEN (A), 7 DAGEN (B), 3 MAANDEN (C) EN 1 JAAR (D) VOOR DE<br>BLOEDAFNAME (N=86). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 120 |
| FIGUUR 18: URINAIRE KOOLSTOFLADING (LOG) IN FUNCTIE VAN HET AANTAL INWONERS PER VIERKANT METER (N=241). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 121 |
| FIGUUR 19: URINAIRE KOOLSTOFLADING EN GROENE RUIMTE IN EEN STRAAL VAN 50 M, VOOR TOTAAL GROEN (A), LAAG GROEN (B)<br>EN HOOG GROEN (C) RONDOM DE WONING EN HET SCHOOLADRES (N=239). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 121 |
| FIGUUR 20: DE VERANDERING IN REACTIETIJD (MS) OP BASIS VAN DE CONTINUOUS PERFORMANCE TEST VOOR EEN INTERKWARTIELE<br>STIJGING IN GROENE RUIMTE RONDOM DE WONING IN EEN STRAAL VAN 50 – 2000 M VAN DE DEELNEMERS (N = 251). EEN<br>ONDERVERDELING TUSSEN TOTAAL GROEN, HOOG GROEN (> 3M) EN LAAG GROEN (< 3M) WORDT GEMAAKT. DE GROENE<br>FOUTENBALKEN TONEN DE RESULTATEN ZONDER CORRECTIE VOOR KOOLSTOFLADING, DE GRIJZE FOUTENBALKEN TONEN DE<br>RESULTATEN WANNEER KOOLSTOFLADING IN REKENING WORDT GEBRACHT. X <sub>X</sub> = STATISTISCH SIGNIFICANT 95%<br>BETROUWBAARHEIDSINTERVAL. .... | 122 |
| FIGUUR 21: PROPOSED IDENTIFICATION CONFIDENCE LEVELS IN HIGH RESOLUTION MASS SPECTROMETRIC ANALYSIS. MS = MASS<br>SPECTROMETRY DATA; MS <sup>2</sup> = MASS SPECTROMETRY FRAGMENTATION DATA; LIBRARY MS <sup>2</sup> = FRAGMENTATION DATA MATCHING<br>LIBRARY DATA; RT = RETENTION TIME .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 142 |
| FIGUUR 22: DIAGRAM CONTAINING THE DIFFERENT STEPS, CUT-OFF VALUES AND CRITERIA USED IN THE SUSPECT SCREENING<br>WORKFLOW FOR THE DETECTION AND IDENTIFICATION OF CECs IN HUMAN URINE. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 143 |
| FIGUUR 23: OVERVIEW OF THE COMPOUND CLASSES WHICH WERE INCLUDED IN THE 77 COMPOUNDS DETECTED IN URINE SAMPLES.<br>.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 146 |
| FIGUUR 24: BOXPLOTS REPRESENTING THE NUMBER OF IDENTIFIED COMPOUNDS IN THE LOW AND HIGH EXPOSURE LOAD GROUPS. (A)<br>ONLY COMPOUNDS IDENTIFIED AT CONFIDENCE LEVEL 3 OR LOWER ARE CONSIDERED. (B) ALL COMPOUNDS REPORTED IN THIS<br>STUDY (I.E. CL 1-4) ARE CONSIDERED. *SIGNIFICANT DIFFERENCE BETWEEN MEAN VALUES (P<0.05); NS: NOT SIGNIFICANT.<br>.....                                                                                                                                                                                                                                     | 151 |
| FIGUUR 25: BOXPLOTS REPRESENTING THE NUMBER OF IDENTIFIED COMPOUNDS IN THE LOW AND HIGH EXPOSURE LOAD GROUPS.<br>EACH OF THE GROUPS WAS DIVIDED BASED ON GENDER. ONLY COMPOUNDS IDENTIFIED AT CL3 OR LOWER ARE CONSIDERED.<br>(**) SIGNIFICANT DIFFERENCE BETWEEN MEAN VALUES (P<0.01); NS: NOT SIGNIFICANT. ....                                                                                                                                                                                                                                                                               | 152 |
| FIGUUR 26: BOXPLOTS REPRESENTING THE ASSIGNED SCORES IN THE LOW AND HIGH EXPOSURE LOAD GROUPS. (A) EXPOSURE LOAD<br>GROUP ARE COMPARED WITHOUT DIFFERENTIATING BASED ON SEXES. (B) A DIFFERENTIATION BETWEEN SEXES IS MADE. (*)<br>SIGNIFICANT DIFFERENCE BETWEEN MEAN VALUES (P<0.05); NS: NOT SIGNIFICANT. ....                                                                                                                                                                                                                                                                               | 153 |

# SAMENVATTING

## Werkpakket 2

### Exploratieve analyse sociale context milieuatituden

Twee statistische analyses werden uitgevoerd om de invloed na te gaan van verschillende sociale contexten op de milieuatituden en het belang van groene ruimte bij 428 jongeren uit de FLEHS IV studie (2016-2020). De eerste analyse toont dat vooral de schoolcontext een invloed heeft op milieubezorgdheid (aan de hand van stellingen over een optimistische of pessimistische opvatting over het leefmilieu): jongeren uit het ASO zijn bezorgder dan andere jongeren. De analyse toont echter ook dat een 'MOS: duurzame scholen, straffe scholen' aanbod op school (voorheen bekend als milieuzorg op school, verder afgekort als MOS) vooral bij jongeren uit het BSO, TSO en KSO tot een verhoging van milieubezorgdheid leidt. MOS lijkt dus de onderwijksloof in termen van milieubezorgdheid te kunnen verkleinen. De tweede analyse toont dat de sociaal-economische context een invloed heeft op de reden die jongeren aangeven om groene ruimte belangrijk te vinden: voor jongeren met een lagere sociale positie is vooral het gezondheidsaspect belangrijk. Voor jongeren met een hogere sociale positie is vooral kijkgroen belangrijk. De hypothese is dat wie opgroeit in een groene leefomgeving, de gezondheidsimpact van die groene ruimte meer vanzelfsprekender acht en minder snel zal benoemen dan wie opgroeit in een stedelijke en weinig groene omgeving.

### Verkenning Citizen Science Opportuniteiten voor het Vlaamse HBM-programma

De populariteit van citizen science neemt jaar na jaar toe en doet een frisse wind door het wetenschappelijke landschap waaien. Citizen science biedt niet enkel technologische vernieuwing en nieuwe mogelijkheden om méér, snellere of andere data te verzamelen. Het staat ook voor een democratisering en modernisering van de wetenschap, dichtbij de burgers en met de mogelijkheid om betere kennis te genereren over complexe problemen, maar ook maatschappelijk draagvlak te creëren voor het oplossen ervan.

In dit deelrapport doen we verslag van een verkenning naar citizen science opportuniteiten voor het Vlaamse HBM-programma. Op basis van een selectieve literatuurverkenning, online zoekwerk, interviews met ervaringsdeskundigen in Vlaanderen en overleg binnen het eigen onderzoeksconsortium, gaan we na waar de kansen liggen voor een meer actieve deelnemersbetrokkenheid. Daarbij hebben we uiteraard ook aandacht voor de uitdagingen en randvoorwaarden. En tot slot formuleren we enkele scenario's voor de toekomst.

### Deelnemersevaluatie

Het gaat hier om een prospectieve evaluatie rond de digitale communicatie (report-back) van HBM-resultaten voor volgende FLEHS onderzoeken bij jongeren. Aan de hand van een demo-omgeving van de DERBI-tool, ontwikkeld eind 2021 met fictieve resultaten, werden in de loop van januari 2022 diverse online interviews afgenomen met leerkrachten uit het secundair onderwijs (ASO en BSO). Zij kennen de leefwereld en de vaardigheden van jongeren immers goed en kunnen mee een inschatting maken van hun gebruikerservaring alsook de educatieve mogelijkheden. De tool werd overwegend positief beoordeeld door de leerkrachten, en ze zien ook mogelijkheden om klassikaal rond het onderwerp te werken. Toch werden ook heel wat aanbevelingen voor verbetering geformuleerd, die kunnen zich toespitsen op vier terreinen: 1) Vereenvoudigen en verduidelijken, door meer in te zetten op concreet taalgebruik en een luchtige vormgeving.



2) Ondersteunen, door de website beter te structureren, bijvoorbeeld aan de hand van een instructiefilmpje of stappenplan, door communicatiekanalen op maat van jongeren te voorzien, en door de tool te koppelen aan een klasactiviteit zodat ondersteuning van een leerkracht mogelijk is. 3) Visualiseren, door meer te werken met iconen en kleuren. 4) Differentiëren, door bepaalde inhoud en boodschappen op te delen naar doelpubliek.

### **Werkpakket 3**

#### **SWOT-analyse HBM bij jongeren**

Een *SWOT-analyse* is een methode om sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen (*Strengths, Weaknesses, Opportunities & Threats*) van een project of proces te evalueren ten behoeve van de strategische planning. Het doel van deze analyse is om de ervaring van de vier eerdere Vlaamse Humane Biomonitoring Programma's (VHBP's) te vertalen naar een optimaal protocol voor dataverzameling en studie design in de toekomst. De SWOT-analyse wordt toegepast op de Vlaamse HBM bij jongeren voor verschillende deelaspecten, nl. *studieprotocol, rekrutering, veldwerk, data management & analyse, communicatie*.

Dankzij een lange historiek met voortschrijdende kennis en voortdurende bijsturing en dankzij de samenwerking van een multidisciplinair onderzoeksteam in nauw contact met de begeleidende overheden, bestaat er momenteel een *sterk basisprotocol om HBM in Vlaanderen uit te voeren*, zowel in de algemene bevolking als in hotspot gebieden. De sterke kernelementen worden in deze analyse in detail beschreven; het is belangrijk om deze maximaal te verankeren naar de toekomst toe. Toch zijn er inherent ook zwaktes en bedreigingen verbonden aan het onderzoek. Deze zijn vooral gerelateerd aan de complexiteit van het onderzoek, de rigide protocollen die nodig zijn om de kwaliteit te kunnen garanderen en de lange doorlooptijd van het gehele project. Om hierop in te spelen, kan in de toekomst stapsgewijs worden ingezet op *nieuwe, participatieve processen, zodanig dat het onderwerp en de studie toegankelijker worden voor een breder en divers publiek*. Een aantal concrete ideeën voor de toekomst worden uitgewerkt, o.m. meer tussentijds communiceren en gebruik van digitale tools en self-sampling technieken.

#### **Sentinel approach via arbeidsgeneeskunde**

We verkenden de mogelijkheden om in de toekomst via een sentinel surveillance van arbeidsgeneeskundige diensten bij een representatieve steekproef van de volwassenen bevolking in Vlaanderen de omgevingsblootstelling in kaart te brengen via humane biomonitoring. De doelgroep die we op deze manier bereiken is vooral de werkende bevolking van 25 tot 49 jaar. Om de praktische sampling mogelijk te maken en om optimaal te kunnen bijsturen in het selecteren van een representatieve Vlaamse volwassen steekproef stellen we voor om te werken via één van de 10 nationale externe diensten voor Preventie en Bescherming op het werk, zijnde van IDEWE. Zij beschikken over een goede infrastructuur om extra veldwerk toe te laten. Via het samenwerkingsverband met de KU Leuven is het mogelijk om de steekproef representatief te maken via vooraf gedefinieerde strata (regio, geslacht, leeftijd, SES), met als specifiek aandachtspunt het vermijden van clusters van beroepsblootstelling. Om de arbeidsartsen zo veel mogelijk te ontlasten wordt er voorgesteld om tijdens de consultaties extra veldwerkpersoneel te voorzien. Om de belasting voor de werknemer te beheersen dient de tijd tot een minimum te worden beperkt, wat toelaat om urine en/of bloed te collecteren en vragenlijsten af te nemen. Koppeling met medische en administratieve gegevens uit het dossier van de arbeidsgeneesheer is mogelijk. Deze methodiek werd via een focusgesprek afgetoetst bij IDEWE-medewerkers en werd aan de hand van een concrete case (sampling van PFAS in serum) praktisch uitgewerkt.





## Werkpakket 4

### WP4.1 Ruimtegebruik en gezondheid

De rol van luchtvervuiling, gemeten als interne koolstof concentraties, in het verband tussen het residentiële ruimtegebruik en cognitie bij FLEHS IV jongeren:

Resultaten van FLEHS IV toonden aan dat meer groene ruimte rondom de woning en school geassocieerd is met een betere selectieve en aanhoudende oplettendheid in adolescenten. In de huidige Milieu en Gezondheid 2021 campagne bouwen we verder op de resultaten van FLEHS IV met betrekking tot het ruimtegebruik van de adolescenten in verband met cognitie.

Ruimtegebruik, verstedelijkingsgraad en gemodelleerde luchtvervuiling werden reeds bepaald. De metingen van urinaire koolstof werden uitgebreid naar 251 deelnemers en aanvullend werd ook de koolstoflading in bloed in een subset van deze deelnemers gemeten. We konden een associatie aantonen tussen groene ruimte rondom de woning en een verbetering in cognitie, waarbij meer totaal groen in een straal van 50 – 2000 meter rondom de woning resulteert in een betere reactiesnelheid tijdens de Continuous Performance Test. Op basis van de koolstoflading aanwezig in de urine van de jongeren, konden we aantonen dat dit verband onafhankelijk is van de verkeersgerelateerde luchtvervuiling. Daarnaast was de koolstoflading in bloed positief geassocieerd met de omgevingsblootstelling aan zwarte koolstof op korte- en lange termijn, geschat op basis van geïnterpoleerde modellen.

De biologische stress respons in relatie tot de urinaire koolstoflading: In FLEHS IV zagen we bij jongeren een significant verband tussen blootstelling aan luchtvervuilende stoffen en biologische stress, gemeten als haar cortisol concentraties (HCC). Om dit verband verder uit te diepen, onderzochten we associaties tussen de urinaire koolstoflading en HCC. We zagen een randsignificant positief verband tussen de urinaire koolstoflading en HCC bij 210 FLEHS IV jongeren. Onderzoek in een grotere onderzoekspopulatie is aangewezen om dit verband te bevestigen.

*Serum cytokine gehalten in relatie tot ruimtegebruik en potentieel immunotoxische blootstellingsmerkers:* Naast een toename van biologische stress zagen we bij de FLEHS IV jongeren een significant positief verband tussen blootstelling aan luchtvervuilende stoffen en inflammatoire immuunmerkers, de leukocyten. Om de immuunrespons in relatie tot ruimtegebruik en chemische blootstelling beter in te kunnen schatten, werd in het project MG2021 een panel van 9 inflammatoire cytokines gemeten en geassocieerd met externe en interne blootstellingsparameters. We zagen een significant impact van ruimtegebruik en blootstelling aan alomtegenwoordige vervuilende stoffen (e.g. benzeen, polycyclische aromatische koolwaterstoffen, perfluorverbindingen) op de cytokinegehalten in serum. De bevindingen rond biologische stress en immuniteit bij FLEHS IV jongeren in relatie tot ruimtegebruik en chemische blootstelling in dit project sluiten aan bij de bevindingen in FLEHS IV en onderbouwen mee de wetenschappelijke kennis omtrent milieublootstelling en gezondheid bij jongeren.

### WP4.2 Het inwendig exposoom

*Opkomende chemicaliën:* Target studies uitgevoerd door ondermeer FLEHS zijn belangrijk voor het kwantificeren van gekende humane contaminanten, maar deze studies zijn niet in staat opkomende, nieuwe contaminanten te detecteren. Om deze humane contaminanten, en het inwendig exposoom, in kaart te brengen werd een suspect screening methode op basis van vloeistofchromatografie en hoge-resolutie massaspectrometrie ontwikkeld. In dit onderzoek zijn er 83 urinestalen van adolescenten uit FLEHS IV geselecteerd voor de gelijktijdige screening van meer dan 20.000 organische componenten.



De stalen werden geselecteerd om 2 groepen te bekomen, 1 met een hoog en 1 met een laag blootstellingsprofiel, dat werd bepaald in de target studies in FLEHS IV. De geselecteerde componenten behoren tot de weekmakers, organofosfaat vlamvertragers, de synthetische antioxidanten, pesticiden, de persistente en mobiele chemicaliën en de PFAS. Van deze componenten werden ook hun metabolieten voorspeld en toegevoegd aan de suspect lijst. Als resultaat zijn in deze studie 77 componenten geïdentificeerd waarvan het grote merendeel bestaat uit de berekende metabolieten. Verschillende chemische toxicanten werden voor de eerste keer gedetecteerd in urine o.a. trifluoracetaat zuur (Confidence Level 1), een zeer laag gewicht PFAS, 4-aminophenol (CL 3), een metaboliet van paracetamol (acetaminophen), en glucuronide-Irganox 1135 (CL 3), een metaboliet van een synthetische antioxidant. Deze en andere gedetecteerde chemicaliën kunnen in toekomstige studies kwantitatief bestudeerd worden om zo de blootstelling in de Vlaamse populatie te onderzoeken.

*Metalen en metalloïden:* In FLEHS IV werd Cd, Tl, I in urine en Cd, Pb, Tl, Cu, Zn en Mn in bloed van 610 adolescenten gemeten. In het Project MG2021 werden een reeks bijkomende metalen (Ni, Cr, V, Sb, Co, Cu, Zn, Mo, Li, Al, Ti, Pt, Ag, Hf, U, Bi, W, Ba, Ce, U) gemeten in bloed en urine van 84 geselecteerde adolescenten uit FLEHS IV. Daarvoor werd eerst de analysemethode op punt gesteld en gevalideerd. Detectielimieten, accuraatheid en precisie werd bepaald voor de nieuwe elementen. Een aantal van deze elementen werden reeds in de adolescenten van FLEHS II en III gemeten. Hierdoor konden er tijdstrends onderzocht worden. De bekomen concentraties werden ook vergeleken met HBM-programma's in het buitenland. Daarnaast werden associaties onderzocht tussen de gemeten elementen en determinanten van blootstelling alsook relaties tussen de gemeten elementen en gezondheidseffecten en dit zowel voor de 610 adolescenten als de nieuwe elementen en geselecteerde adolescenten. De vergelijking van de concentraties aan metalen gemeten in de adolescenten van FLEHS IV in vergelijking tot de adolescenten van FLEHS II en III toont een duidelijk dalend trend in concentraties voor een aantal elementen (waaronder Cd, Pb, Ni, Cr, Sb). De waargenomen concentraties zijn toch nog hoger dan waarden gemeten voor adolescenten in andere biomonitoringsstudies zoals deze in de VS hetgeen wijst op een hogere blootstelling. De concentraties van nieuwe elementen kunnen dienen als referentie voor verdere biomonitoringstudies in Vlaanderen. Er werden talrijke associaties tussen de metalen en gezondheidseffecten waargenomen. De waargenomen associaties zijn consistent met gekende biologische activiteit van metalen en de rol van metalen in de inductie van kanker, neurologische en nier aandoeningen.



## INLEIDING

De vierde cyclus van het Vlaamse Humane-Biomonitoringsprogramma door het FLEHS-consortium (Flemish Environment and Health Study) in opdracht van VPO, het Vlaams Planbureau voor Omgeving van het Departement Omgeving, werd eind 2020 afgerond. Aan de 4<sup>e</sup> FLEHS-cyclus (2016-2020) namen 610 jongeren (14-15 jaar), verspreid over Vlaanderen, deel. De jongeren gaven urine-, bloed- en een haarstalen. De jongeren en hun ouders vulden vragenlijsten in over hun omgeving, hun levensstijl en gezondheidstoestand. Nieuwe inzichten die in FLEHS IV werden verkregen werden met relevante actoren besproken en werden vertaald in kansen voor omgevingsbeleid en voor bijkomend, verdiepend, wetenschappelijk onderzoek. Sinds 2017 maakt het FLEHS-consortium ook deel uit van het Europese HBM4EU programma, Science and Policy for a Healthy Future. Het HBM4EU-programma loopt af in de zomer van 2022. Een voortzetting en uitbreiding van HBM4EU, het Europees partnerschap 'Chemical Risk Assessment' PARC, wordt momenteel voorbereid voor opstart in het voorjaar van 2022 (<https://www.efsa.europa.eu/en/funding-calls/european-partnership-assessment-risks-chemicals-parc>) en een looptijd van 7 jaar. PARC zal chemische risicoanalyses in Europa ondersteunen, met ook aandacht voor 'environmental risk assessment' en kadert in de Europese Green Deal en de 'non-toxic Environment Strategy'. Deelname vanuit Vlaanderen aan dit Europese partnerschap kan, net als bij HBM4EU, een hefboom betekenen voor de beleidsonderbouwende onderzoeksactiviteiten in Vlaanderen, zowel op financieel als op inhoudelijk wetenschappelijk gebied.

Het werkprogramma van het Project Milieu en Gezondheid 2021 (MG 2021) van het FLEHS-consortium werd inhoudelijk maximaal op de voorbereidingen van een nieuw Vlaams onderzoeksprogramma en van het Europese PARC programma afgestemd, met als doel het toekomstig HBM-onderzoek te stroomlijnen en een meerwaarde voor het Vlaamse omgevingsbeleid te bieden. Het consortium 2021, bestaande uit onderzoekers van de vijf Vlaamse universiteiten (UAntwerpen, UGent, UHasselt, VUB, KULeuven) en de onderzoeksinstituten VITO en PIH is internationaal erkend, dezelfde partners zijn vertegenwoordigd in het project MG 2021. De partners in het onderzoeksconsortium zijn nauw betrokken bij HBM4EU en PARC. Als co-coördinator van HBM4EU, leider van de pijler "Science -Policy Interface" en lid van het managementcomité van HBM4EU, heeft VITO een sturende rol in het project. VITO neemt de leiding op van twee werkpakketten (WP5: Vertaling van wetenschappelijke resultaten naar beleid, WP10: Databeheer en data-analyse) en VITO leidt ook de taak rond afstemming van HBM-studies op Europees niveau (T8.1). UAntwerpen-Sociale Wetenschappen/IMDO leidt de ontwikkeling van dialoog met beleids- en maatschappelijke stakeholders en het opstellen van een actieplan voor het gebruik van HBM-gegevens voor beleid, maatregelen of verder onderzoek (T5.5), het toxicologisch centrum van UAntwerpen (UAntwerpen-TOX) is betrokken bij WP9: ontwikkeling van nieuwe methoden, kwaliteitsborging, de analytische fase en in WP16: opkomende chemicaliën, methodeontwikkeling en harmonisatie. UAntwerpen-TOX leidt ook de taak om nieuwe HBM-gegevens te genereren voor opkomende omgevingspolluenten. PIH is betrokken bij de Vlaamse bijdrage aan de HBM4EU gecoördineerde studies (T8.1), KULeuven neemt deel aan studies rond beroepsblootstelling (T8.5) en de statistische analyse van de gegenereerde data (T10.3 en T10.4), UHasselt heeft bijgedragen aan WP14 over effect biomerkers. Ook wordt sinds 2021 een deel van de coördinatietaken uit WP1 ondersteund door G. Schoeters via UAntwerpen (Samenwerkingsovereenkomst VITO-Antwerpen dd 17/12/2020). De subsidiërende dienst VPO (K. Van Campenhout) is in HBM4EU medevoorzitter van de bestuursraad waarin de programmabeheerders zetelen (Governing board) en is tevens taakleider (T6.5) om indicatoren en criteria te ontwikkelen om de prestaties en impact van HBM4EU te beoordelen. Op die manier draagt VPO bij aan een toekomstvisie voor een duurzaam HBM-programma in Vlaanderen en in Europa.



In dit Vlaamse en Europese onderzoekskader werden de concrete doelstelling van de partners in het Project MG 2021 opgedeeld in verschillende werkpakketten:

**Werkpakket 1 (WP1)** omvat de coördinatie van het project, met een efficiënte samenwerking tussen de partners van het consortium met aandacht voor ethische- en privacyaspecten. Tijdens het project wordt de tijdige bezorging van wetenschappelijke, administratieve en financiële rapporten aan de subsidiërende dienst verzorgd, de verspreiding van de resultaten en bevindingen van de werkpakketten door middel van rapporten en publicaties opgevolgd, het gebruik van de resultaten in kader van beleidsondersteuning gefaciliteerd. Daarnaast worden de partners maximaal betrokken bij de aanvraagdossiers voor data-uitwisseling in de context van HBM4EU en ook bij de voorbereiding van de toekomstige Vlaamse biomonitoring en PARC. Partners in WP1 zijn UAntwerpen onderzoeksgroep CRESC, VITO en PIH.

**Werkpakket 2 (WP2)** heeft als doelstelling om verder te bouwen op de inhoudelijke resultaten van de FLEHS IV resultaten. Enerzijds op de bevindingen van de transversale onderzoeksthema's uit de voorbije campagne, maar toegespitst op de meer sociale, maatschappelijke en beleidsrelevante aspecten. Anderzijds beoogt dit WP het pad te effenen voor innovatieve vormen van samenwerking tussen wetenschap, samenleving en beleid, complementair aan de reeds bestaande faseplanwerking van de FLEHS-campagnes. Allereerst worden in een exploratieve analyse de socio-economische verschillen en sociale context van milieurelevant gedrag geanalyseerd, met name met betrekking tot de attitude-gedrag kloof en met betrekking tot de differentiële groenbeleving. Ten tweede wordt de haalbaarheid nagegaan van op burgerwetenschap gebaseerde vormen van humane biomonitoring die geschikt zijn voor volgende campagnes, bij voorkeur wellicht op maat van adolescenten en hun ouders. Actieve vormen van burgerwetenschap sluiten goed aan bij een coöperatieve en deliberatieve aanpak die kenmerkend is voor het onderzoeksopzet van dit consortium. Ten derde wordt verder ingezet op de evaluatie en optimalisatie van het studiedesign en de communicatiestrategie door het deelnemersperspectief te bevragen voor de groep jongeren. Dergelijke inzichten zijn waardevol voor toekomstige HBM-studies in Europees verband. Partners in WP2 zijn UAntwerpen CRESC, en de andere partners van het project (VITO, PIH, UHasselt, KULeuven, VUB, UAntwerpen).

**Werkpakket 3 (WP3)** beoogt de ervaring van de voorgaande FLEHS-cycli te vertalen naar een optimaal onderzoeksprotocol in de toekomst op een manier die de continuïteit met het verleden maximaal garandeert, en tegelijkertijd gebruik maakt van nieuwe en kosten-efficiënte innovatieve trends. Hierbij wordt gedacht aan het gebruik van burgerwetenschap en de mogelijkheid om HBM te integreren in een sentinel-benadering binnen het systeem van arbeidsgeneeskunde. Er wordt een gedetailleerde SWOT-analyse uitgevoerd van het studieprotocol dat werd toegepast in FLEHS IV, met betrekking tot onderzoeksopzet, rekrutering, steekproeftrekking, veldwerk, vragenlijsten, datamanagement, data-analyse, biobank, communicatie en rapportering. Bijkomend wordt een 'Proof-of-Concept' ontworpen om de mogelijkheid te onderzoeken om in samenwerking met arbeidsgeneeskunde een sentinel surveillance op te zetten om, aanvullend op de doelgroep jongeren, humane biomonitoringsdata te verzamelen op een manier die aansluit bij de doelen en noden van het Vlaams humaan biomonitoringsprogramma, zoals bepaald door de Vlaamse overheid. De verkenningen kunnen vanuit Vlaanderen input leveren aan PARC. Partners in WP3 zijn PIH en KULeuven, met koppeling naar het werk van UA en VITO in WP2.



**Werkpakket 4 (WP4)** sluit aan op een meer holistische exposoom-benadering om componenten van omgeving en levensstijl die gezondheid beschermen en ziekte veroorzaken beter te begrijpen en te voorspellen. De component 'extern exposoom' verzamelt levensloopinformatie over de sociale en natuurlijke omgeving, over gedrag en levensstijl van een individu, en combineert dit met het 'interne exposoom', dat overeenkomstige biologische reacties verzamelt door middel van moleculaire methoden.

Om een vollediger beeld te krijgen van het interne exposoom, wordt een suspect en non-target screening gedaan naar opkomende chemicaliën in urine, worden metalen, metalloïden en koolstofbelasting geanalyseerd in urine en bloed en wordt de immuunrespons beter in kaart gebracht op basis van cytokine analyses in serum. Deze kennis draagt bij aan de ontwikkeling van exposoom-analyses in de Vlaamse en Europese context en kan de ontwikkeling van indicatoren voor ruimtelijke planning, beleid en gezondheidspromotie in Vlaanderen mee onderbouwen. Partners in WP4 zijn VITO, UHasselt, VUB en UAntwerpen-TOX.



# 1 WERKPAKKET 1 COORDINATIE

## 1.1 DOELSTELLINGEN

De doelstellingen van de coördinatie zijn een efficiënte samenwerking tussen de partners van het consortium enerzijds en afstemming met de subsidiërende dienst en stuurgroep anderzijds:

- overeenstemming van het programma met ethische- en privacyaspecten;
- tijdige bezorging van wetenschappelijke, administratieve en financiële rapporten aan de subsidiërende dienst;
- de verspreiding van de resultaten en output van de werkpakketten beheren door middel van publicaties en het gebruik van de resultaten in kader van beleidsondersteuning;
- zorgen voor een actieve betrokkenheid van de activiteiten en kennis van het Project Milieu en Gezondheid in HBM4EU en voorbereiden op de voortzetting ervan in het toekomstige beleidsondersteunende programma PARC van de EU inzake chemische risicobeoordeling.

## 1.2 PARTNERS

- UAntwerpen: institutioneel coördinator (I. Loots en G. Schoeters)
- VITO: inhoudelijk coördinator (V. Verheyen, G. Schoeters, E. Govarts,)
- PIH: woordvoerder en verantwoordelijk voor FLEHS begeleidingscommissie (V. Nelen)
- Promotors: UHasselt (T. Nawrot), UAntwerpen-TOX (A. Covaci), KULeuven (L. Godderis), UGent (S. Dehenauw), VUB (M. Leermakers)

## 1.3 VERSLAG VAN DE ACTIVITEITEN

Er werden in totaal 5 plenaire projectbijeenkomsten belegd tussen de partners: op 12/3, 3/5, 22/6, 27/9 en 17/11/2021. Gezien de aanhoudende Covid-maatregelen verliepen deze alle digitaal. De agenda's en verslagen daarvan zijn via de SharePoint van VITO beschikbaar gemaakt voor alle partners en de afvaardiging van de subsidiërende dienst. Op deze vergaderingen werden ook telkens waarnemers uitgenodigd vanwege de subsidiërende overheidsdienst zodat de afstemming efficiënt kon verlopen. Waar nodig werden meer specifieke punten van Dagelijks Bestuur afgesplitst van de inhoudelijke agenda.

Op elk van deze meetings werd verslag gedaan van de uitwisselingsopportunities met HBM4EU en vooral ook met het nieuwe PARC.

Kort na de opstartfase van het project werden 2 werkgroepen in het leven geroepen. Eén werkgroep zorgde voor de strategische en operationele afstemming rond de geplande 'Metingen', met name op 24/3, 21/5, 27/8/2021. De andere werkgroep 'SWOT, Sentinel-approach, Citizen science en link met PARC'. Deze laatste vergaderde op 25/5, 27/9 en 26/1/2022.

De Toezichtscommissie voor databeer, geleid door PIH, behandelde diverse aanvraagdossiers, vooral in het kader van de HBM4EU-werkpakketten die analyses van humane biomonitoring data voorzien. Deze Toezichtscommissie omvat naast de afvaardiging van de betrokken overheden bij de steunpunten van alle partners een afvaardiging, zodat alle partijen ook goed op de hoogte bleven van de valorisatie van data in de Europese context. Tevens bereidden VITO en PIH grondige revisies voor van de juridische basisdocumenten om de GDPR-alignering mogelijk te maken, zowel in de binnenlandse als internationale context. Hierover werd telkens ook advies gevraagd aan het Dagelijks bestuur.



De Stuurgroep vergaderde in 2021 op 11/5, 24/10 en 29/11 en in 2022 op 31/1. Telkens werden daartoe presentaties bezorgd en een week voorafgaand aan de laatste stuurgroep eveneens tekstonderdelen van het eindrapport.

Bijzondere inspanningen werden vanaf mid-2021 geleverd voor de aanlevering van de nodige documentatie voor de Parlementaire hoorzittingen en tevens voor de Parlementaire Onderzoekscommissie PFAS. Alle formele documenten voor alle 4 de steunpuntperiodes werden op een centrale plaats toegankelijk gemaakt, waarvoor we de verschillende helpende handen vanuit de partnerorganisaties en de subsidiërende dienst zeer dankbaar zijn. Tevens zijn G. Schoeters, I. Loots en N. Van Larebeke ingegaan op verschillende inhoudelijke toelichtingsmomenten voor deze commissies (met extra presentaties buiten het bestek van de subsidie-opdracht 2021), met name rond de aard en risico's van PFAS-chemicaliën voor de mens, het concept van humane biomonitoring, de Vlaamse FLEHS-campagnes en de PFAS-resultaten sedert de 2<sup>e</sup> FLEHS campagne. Ook werd in beperkte mate journalisten te woord gestaan.

Aangezien het project later dan de voorziene startdatum opstartte (met onder meer vertraging voor de uit te besteden labo-analyses, niet alle personeelsleden onmiddellijk in dienst konden worden genomen) en ook Covid en de PFOS-commissie voor extra werkbelasting zorgde, werd met de Stuurgroep afgesproken de bespreking van de resultaten te spreiden over de maanden december en januari en het finale rapport in te dienen eind februari 2022.

Diverse publicaties circuleerden onder groepen vanuit auteurs bij de partners en meerdere werden afgewerkt en aanvaard in 2021 (zie Tabel 1). Ook werden presentaties verzorgd op wetenschappelijke bijeenkomsten (zie Tabel 2).

Op 9/11/2021 verzorgde een afvaardiging van de partners een presentatie over het concept en resultaten van de voorbije HBM-campagnes voor Port of Antwerp en de Maatschappij Linkerscheldeoever.

*Tabel 1: Lijst publicaties 2021*

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Gys C, Bastiaensen M, Bruckers L, Colles A, Govarts E, Martin LR, Verheyen V, Koppen G, Morrens B, Den Hond E, De Decker A, Schoeters G, Covaci A. Determinants of exposure levels of bisphenols in Flemish adolescents. <i>Environ Res.</i> 2021 Feb;193:110567. doi: 10.1016/j.envres.2020.110567. Epub 2020 Dec 1. PMID: 33275923.                                                                                                                                                |
| 2 | Bastiaensen M, Gys C, Colles A, Verheyen V, Koppen G, Govarts E, Bruckers L, Morrens B, Loots I, De Decker A, Nelen V, Nawrot T, De Henauw S, Van Larebeke N, Schoeters G, Covaci A. Exposure levels, determinants and risk assessment of organophosphate flame retardants and plasticizers in adolescents (14-15 years) from the Flemish Environment and Health Study. <i>Environ Int.</i> 2021 Feb;147:106368. doi: 10.1016/j.envint.2020.106368. Epub 2021 Jan 6. PMID: 33421765. |
| 3 | Verheyen VJ, Remy S, Lambrechts N, Govarts E, Colles A, Poelmans L, Verachtert E, Lefebvre W, Monsieurs P, Vanpoucke C, Nielsen F, Van den Eeden L, Jacquemyn Y, Schoeters G. Residential exposure to air pollution and access to neighborhood greenspace in relation to hair cortisol concentrations during the second and third trimester of pregnancy. <i>Environ Health.</i> 2021 Feb 11;20(1):11. doi: 10.1186/s12940-021-00697-z. PMID: 33573648; PMCID: PMC7879652.           |
| 4 | Bastiaensen M, Gys C, Colles A, Malarvannan G, Verheyen V, Koppen G, Govarts E, Bruckers L, Morrens B, Franken C, Den Hond E, Schoeters G, Covaci A. Biomarkers of phthalates and alternative plasticizers in the Flemish Environment and Health Study (FLEHS IV): Time trends and exposure assessment. <i>Environ Pollut.</i> 2021 May 1;276:116724. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116724. Epub 2021 Feb 11. PMID: 33631684.                                                           |
| 5 | Vermeir G, Covaci A, Van Larebeke N, Schoeters G, Nelen V, Koppen G, Viaene M. Neurobehavioural and cognitive effects of prenatal exposure to organochlorine compounds in three year old children. <i>BMC Pediatr.</i> 2021 Feb 26;21(1):99. doi: 10.1186/s12887-021-02533-2. PMID: 33637059; PMCID: PMC7908674.                                                                                                                                                                     |



|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6  | Ottenbros I, Govarts E, Lebret E, Vermeulen R, Schoeters G, Vlaanderen J. Network Analysis to Identify Communities Among Multiple Exposure Biomarkers Measured at Birth in Three Flemish General Population Samples. <i>Front Public Health</i> . 2021 Feb 10;9:590038. doi: 10.3389/fpubh.2021.590038. PMID: 33643986; PMCID: PMC7902692.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 7  | Morrens B, Jonker H, Den Hond E, Coertjens D, Colles A, Schoeters G, Van Larebeke N, Nawrot T, Covaci A, Nelen V, Vandermoere F, Loots I. Participant Experiences in a Human Biomonitoring Study: Follow-Up Interviews with Participants of the Flemish Environment and Health Study. <i>Toxics</i> . 2021 Mar 28;9(4):69. doi: 10.3390/toxics9040069. PMID: 33800558; PMCID: PMC8066005.                                                                                                                                                                                                     |
| 8  | Caballero-Casero N, Castro G, Bastiaensen M, Gys C, van Larebeke N, Schoeters G, Covaci A. Identification of chemicals of emerging concern in urine of Flemish adolescents using a new suspect screening workflow for LC-QTOF-MS. <i>Chemosphere</i> . 2021 Oct;280:130683. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130683. Epub 2021 Apr 27. PMID: 33951581.                                                                                                                                                                                                                                         |
| 9  | Colles A, Coertjens D, Morrens B, Den Hond E, Paulussen M, Bruckers L, Govarts E, Covaci A, Koppen G, Croes K, Nelen V, Van Larebeke N, De Henauw S, Fierens T, Van Gestel G, Chovanova H, Mampaey M, Van Campenhout K, Loots I, Baeyens W, Schoeters G. Human Biomonitoring Data Enables Evidence-Informed Policy to Reduce Internal Exposure to Persistent Organic Compounds: A Case Study. <i>Int J Environ Res Public Health</i> . 2021 May 22;18(11):5559. doi: 10.3390/ijerph18115559. PMID: 34067438; PMCID: PMC8196998.                                                               |
| 10 | Verheyen VJ, Remy S, Bijmens EM, Colles A, Govarts E, Martin LR, Koppen G, Bruckers L, Nielsen F, Vos S, Morrens B, Coertjens D, De Decker A, Franken C, Den Hond E, Nelen V, Covaci A, Loots I, De Henauw S, van Larebeke N, Teughels C, Nawrot TS, Schoeters G. Long-term residential exposure to air pollution is associated with hair cortisol concentration and differential leucocyte count in Flemish adolescent boys. <i>Environ Res</i> . 2021 Oct;201:111595. doi: 10.1016/j.envres.2021.111595. Epub 2021 Jun 27. PMID: 34186082.                                                  |
| 11 | Buekers J, Verheyen V, Remy S, Covaci A, Colles A, Koppen G, Govarts E, Bruckers L, Leermakers M, St-Amand A, Schoeters G. Combined chemical exposure using exposure loads on human biomonitoring data of the 4th Flemish Environment and Health Study (FLEHS-4). <i>Int J Hyg Environ Health</i> . 2021 Sep;238:113849. doi: 10.1016/j.ijheh.2021.113849. Epub 2021 Sep 20. PMID: 34547602.                                                                                                                                                                                                  |
| 12 | Verheyen VJ, Remy S, Govarts E, Colles A, Rodriguez Martin L, Koppen G, Voorspoels S, Bruckers L, Bijmens EM, Vos S, Morrens B, Coertjens D, De Decker A, Franken C, Den Hond E, Nelen V, Covaci A, Loots I, De Henauw S, Van Larebeke N, Teughels C, Nawrot TS, Schoeters G. Urinary Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Metabolites Are Associated with Biomarkers of Chronic Endocrine Stress, Oxidative Stress, and Inflammation in Adolescents: FLEHS-4 (2016-2020). <i>Toxics</i> . 2021 Oct 1;9(10):245. doi: 10.3390/toxics9100245. PMID: 34678941; PMCID: PMC8537433.                    |
| 13 | Cosemans C, Van Larebeke N, Janssen BG, Martens DS, Baeyens W, Bruckers L, Den Hond E, Coertjens D, Nelen V, Schoeters G, Hoppe HW, Wolfs E, Smeets K, Nawrot TS, Plusquin M. Glyphosate and AMPA exposure in relation to markers of biological aging in an adult population-based study. <i>Int J Hyg Environ Health</i> . 2021 Dec 6;240:113895. doi: 10.1016/j.ijheh.2021.113895. Epub ahead of print. PMID: 34883335.                                                                                                                                                                     |
| 14 | Verheyen VJ, Remy S, Govarts E, Colles A, Koppen G, Martin LR, Nielsen F, Bruckers L, Bijmens EM, Vos S, Morrens B, Coertjens D, Loots I, De Decker A, Franken C, Den Hond E, Nelen V, De Henauw S, Covaci A, Van Larebeke N, Teughels C, Nawrot TS, Schoeters G. Determinants of Chronic Biological Stress, Measured as Hair Cortisol Concentration, in a General Population of Adolescents: From Individual and Household Characteristics to Neighborhood Urbanicity. <i>Front Public Health</i> . 2021 Nov 23;9:669022. doi: 10.3389/fpubh.2021.669022. PMID: 34888272; PMCID: PMC8650704. |
| 15 | Bijmens EM, Vos S, Verheyen VJ, Bruckers L, Covaci A, De Henauw S, Den Hond E, Loots I, Nelen V, Plusquin M, Schoeters G, Nawrot TS. Higher surrounding green space is associated with better attention in Flemish adolescents. <i>Environ Int</i> . 2022 Jan 15;159:107016. doi: 10.1016/j.envint.2021.107016. Epub 2021 Dec 9. PMID: 34896669.                                                                                                                                                                                                                                              |





Tabel 2: overzicht presentaties verzorgd op wetenschappelijke bijeenkomsten 2021

| Steunpunt Milieu en Gezondheid organiseerde twee Webinars i.v.m. FLEHS IV onderzoeksresultaten |                        |            |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FLEHS IV onderzoeksresultaten: thema ruimtegebruik                                             | webinar                | 20.01.2021 | Organisatie en moderatie 'Groene ruimte/ruimtegebruik en gezondheid'                                   |
| FLEHS IV onderzoeksresultaten: thema binnenmilieu                                              | webinar                | 26.01.2021 | Organisatie en moderatie 'Binnenhuismilieu en gezondheid'                                              |
| Voordrachten waarbij FLEHS gegevens vermeld werden                                             |                        |            |                                                                                                        |
| TOXICS webinar                                                                                 | Virtual                | 07.06.2021 | Social diversity and chemical exposure                                                                 |
| Nederlandse Vereniging voor Toxicologie (NVT)                                                  | Virtual                | 10.06.2021 | Keynote: Human biomonitoring: a step into the real world of human exposures                            |
| Commission Environment of the Flemish Parliament- PFAS hearing                                 | Virtual                | 29.06.2021 | Flemish Human Biomonitoring Program                                                                    |
| Flemish Parliament: PFAS investigation committee                                               | Brussels               | 02.07.2021 | Toxicology of PFAS and Flemish Human Biomonitoring Program                                             |
| FLUOROS Global 2021                                                                            | Brussels, Be           | 06.10.2021 | chair session Human exposure to PFASs, a threat for our health (Live)- Hosted by HBM4EU European Union |
| BLT- The Toxicological Society of Belgium and Luxembourg                                       | Echternach, Luxembourg | 08.10.2021 | Exposure of Flemish adolescents to PFAS: should we be concerned?                                       |
| Flemish Parliament: PFAS investigation committee                                               | Brussels               | 20.10.2021 | VITO Health & Biomonitoring                                                                            |
| Session Biobanking and Exposure Science at the Europe Biobank Week                             | Virtual                | 09.11.2021 | KeyNote:Human biomonitoring data to understand exposure and health risks from environmental chemicals  |
| HBM4EU-Workshop Aligned studies                                                                |                        | 24.11.2021 | Digitizing report-back of HBM results in Flanders (Belgium) - A feasibility study                      |

## 2 WERKPAKKET 2 INTERACTIE WETENSCHAP-BELEID

### 2.1 EXPLORATIEVE ANALYSE SOCIALE CONTEXT MILIEUATTITUDEN (IN FLEHS IV)

#### INVLOED VAN SOCIALE ACHTERGROND, GEZINSCONTEXT EN SCHOOLCONTEXT OP MILIEUATTITUDEN VAN JONGEREN

*Een exploratieve analyse o.b.v. data uit het Vlaamse Humane-biomonitoringsprogramma 2016-2020*

Rapport 2021

Robbe Geerts, Bert Morrens, Dries Coertjens, Frédéric Vandermoere, Ilse Loots  
UNIVERSITEIT ANTWERPEN, CRESC

#### 2.1.1 Samenvatting

Dit rapport beschrijft exploratieve analyses over de invloed van verschillende sociale contexten op milieuhoudingen van 428 jongeren uit de FLEHS IV studie (2016-2020). Via een stapsgewijze meervoudige regressie onderzochten we ten eerste welke invloed de sociale achtergrond, gezinscontext en schoolcontext hebben op de milieubezorgdheid van jongeren (gedefinieerd als een optimistische of pessimistische opvatting over het leefmilieu). Ten tweede analyseerden we of het belang dat jongeren hechten aan groene ruimte verbonden is aan milieubezorgdheid, en de verschillende sociale contexten.

De resultaten van de eerste analyse toonden dat vooral de *schoolcontext* een invloed heeft op de milieubezorgdheid van jongeren. We stelden vast dat jongeren uit het ASO bezorgder zijn dan jongeren uit het TSO/KSO en vooral het BSO. Ook de sociale achtergrond is belangrijk, maar de invloed lijkt vooral via de schoolkeuze te verlopen: jongeren uit een gezin met hoger opgeleide ouders of met een hoger inkomen zitten vaker in het ASO en vertonen daarom een hogere milieubezorgdheid. Deze bevinding bevestigt de gekende onderwijsongelijkheid in Vlaanderen. Onze analyses identificeerden echter ook een factor die deze ongelijkheid deels kan remediëren: we stelden vast dat een *MOS aanbod op school* vooral bij jongeren uit BSO, TSO en KSO tot een verhoging van milieubezorgdheid leidt. MOS lijkt dus de onderwijskloof in termen van milieubezorgdheid te kunnen verkleinen. Daarnaast vinden we dat MOS in combinatie met milieubewust gedrag binnen het gezin eveneens kan leiden tot een verhoogde milieubezorgdheid. Hoewel de invloed van beide afzonderlijk beperkt blijft, versterken ze elkaar waardoor de combinatie een positieve invloed kan hebben.

De tweede analyse rond groene ruimte toonde aan dat er slechts beperkte verschillen bestaan in *de mate* waarin jongeren groene ruimte belangrijk vinden naargelang de gezinscontext, schoolcontext, en sociale achtergrond. Die verschillen zijn er echter wél als jongeren *de reden* moeten aangeven waarom ze groene ruimte belangrijk vinden: voor jongeren met een lagere sociale positie is vooral het gezondheidsaspect belangrijk. Voor jongeren met een hogere sociale positie is vooral kijkgroen belangrijk. Ook deze bevinding bevestigt eerder onderzoek, en wijst op het belang van verschillende belevingskaders rond groene ruimte bij jongeren.

Op basis van deze exploratieve analyses kunnen ook enkele aanbevelingen geformuleerd worden voor toekomstig onderzoek en beleid: (i) verzamel bij deelnemende scholen bijkomende informatie over milieuzorg en duurzaamheid, aangezien de schoolcontext belangrijk blijkt om milieuhoudingen van jongeren te bestuderen. (ii) Investeer in attitude- en gedragsvragen die voldoende theoretisch onderbouwd zijn en die zowel bij ouders als jongere bevestigd worden. (iii) Wees waakzaam voor missing data bij schriftelijke vragenlijsten. De non-respons bij die vragen is niet enkel hoog, ze is ook sociaal ongelijk verdeeld waardoor jongeren met een zwakker sociaal profiel vaker uit de analyses vallen. (iv) Investeren in het aanbod 'MOS: duurzame scholen, straffe scholen' lijkt de potentie in zich te dragen om sociale ongelijkheid inzake milieubezorgdheid te milderen. (v) Het schoolbeleid moet voldoende aandacht hebben voor de uiteenlopende drijfveren die jongeren kennen bij groene ruimte. Een ongedifferentieerd aanpak van het belang of de meerwaarde van groene ruimte kan onbedoeld elitair doorwerken.

### 2.1.2 Inleiding

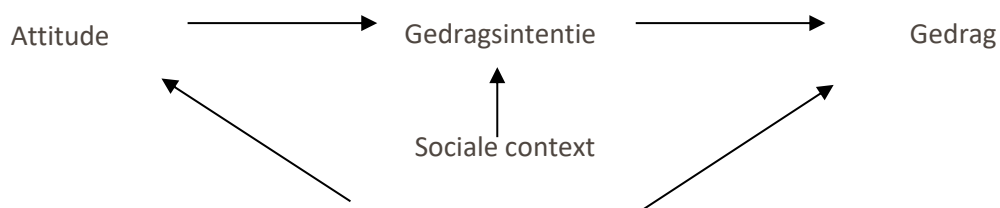
Een nieuw onderwerp binnen de vierde onderzoekscyclus van het Vlaamse humane-biomonitoringsprogramma (FLEHS IV-campagne 2016-2020) bij Vlaamse jongeren betrof eco-gedrag en de relatie met blootstelling aan milieupolluenten en gezondheid. Via schriftelijke vragenlijsten werden in het schooljaar 2017-2018 extra gegevens verzameld over het ecologisch gedrag en de milieuhoudingen van adolescenten en hun ouders. De gegevens werden geanalyseerd en gerapporteerd binnen twee FLEHS IV onderzoekstopics:

- 1) Aan de hand van een exploratieve factoranalyse werd nagegaan of er met de extra gegevens '**eco-profielen**' kunnen toegekend worden aan deelnemers met een vergelijkbaar milieuvriendelijk gedrag, en of er een verband was met de inwendige blootstelling aan chemische stoffen. De factoranalyse identificeerde vier gedragspatronen met betrekking tot 1) algemeen milieuvriendelijk gedrag en milieubewustzijn; 2) belang van minder vlees eten; 3) belang (en consumptie) van lokaal geteelde en streekgebonden voeding (belang korte keten) en 4) belang van beperkt en ecologisch productgebruik binnen- en buitenshuis. De resultaten toonden echter aan dat een hogere mate van ecologische gedrag (volgens de samengestelde profielen) niet rechtstreeks leidt tot een lagere blootstelling aan polluenten. Er werden namelijk verbanden in beide richtingen gevonden. Zo was bijvoorbeeld de blootstelling aan oude en nieuwere persistente stoffen zoals PCB's, gechlloreerde pesticiden en perfluor-verbindingen verhoogd bij een hogere score op factor 3 (lokale voeding), maar verlaagd bij een hogere score op factor 4 (ecologisch productgebruik) (Steunpunt Milieu en Gezondheid, 2020a: 53-59).
- 2) De vragenlijst bevatte een beperkte module rond **risicopercepties** en **milieuhoudingen**, overgenomen uit de Eurobarometer en de SCV-survey 'Sociaal-culturele verschuivingen in Vlaanderen'. De vragen peilden bij jongeren naar ongerustheid over milieu-onderwerpen, vertrouwen in informatiekanaalen en bezorgdheid over het milieu. Terwijl de peilingen naar de risicoperceptie vooral focussen op de prioritaire milieuthema's, peilen de vragen naar milieuhoudingen vooral naar milieubewustzijn en milieubezorgdheid en het feitelijke milieuvriendelijk handelen van de respondent. Uit de beschrijvende analyse bleek dat 2 op 3 jongeren vindt dat het leefmilieu in Vlaanderen sterk vervuild is en een bedreiging voor de gezondheid vormt. Meest ongerust zijn jongeren echter over mondiale problemen zoals de opwarming van de aarde en het uitsterven van planten en dieren. De informatie die wetenschappers en milieuorganisaties daarover verspreiden wordt door jongeren het meest vertrouwd. Ondanks de sterke problematisering van het leefmilieu, heeft slechts 1 op 6 jongeren ook een globaal milieubezorgde houding. Meisjes en leerlingen uit het ASO geven over het algemeen aan bezorgder te zijn dan jongens en leerlingen uit het BSO (Steunpunt Milieu en Gezondheid, 2020b, 239-244).



In dit rapport willen we de bevindingen uit bovenstaande onderzoekstopics verder uitdiepen. Bedoeling is in dit onderzoek verder te exploreren op welke manier milieubewust gedrag samenhangt met een milieubezorgde attitude, en vooral in hoeverre verschillende **sociale contexten** hier een invloed op hebben. Onze analyse vertrekt vanuit (kritiek op) de theorie van beredeneerd gedrag (Ajzen, Fishbein, 1980) die stelt dat gedrag deels bepaald wordt door achterliggende gedragsintenties die op hun beurt gestuurd worden vanuit attitudes, percepties over gedragscontrole en normatieve overtuigingen (sociale normen).

De sociale context werd in deze initiële sociaalpsychologische benadering dus sterk gereduceerd tot individuele kenmerken en kreeg net daarom heel wat kritiek vanuit de sociale wetenschappen. Sociologisch onderzoek naar milieuvriendelijk gedrag en gezondheidsgedrag benadrukt immers vooral het belang van een bredere focus op sociale context met inbegrip van sociale structuren, identiteiten en externe factoren van menselijk gedrag (Stets en Biga 2003; Frohlich et al. 2001; Kollmuss & Agyeman, 2003).



In dit rapport sluiten we aan bij deze meer sociologische benadering met focus op de sociale context waarin jongeren zich bevinden. We willen in de eerste plaats de invloed van verschillende sociale contexten conceptueel en analytisch ontrafelen in functie van milieuattitudes. Onze exploratieve analyse bestaat uit twee delen.

- Eerst focussen we op **milieubezorgdheid**. De onderzoeksvraag hier is welke invloed de sociale achtergrond (sociaal-economische status, op basis van opleiding en inkomen, en buitenlandse herkomst, op basis van geboortenationaliteit), de gezinscontext en de schoolcontext heeft op de milieubezorgdheid van jongeren.
- Vervolgens focussen we op een aantal vragen rond belang van **groene ruimte**. De onderzoeksvraag hier is in hoeverre het belang van groene ruimte bij jongeren verbonden is aan de milieubezorgdheid van jongeren, hun gezinscontext, schoolcontext, en sociale achtergrond.

### 2.1.3 Data en methodologie

#### 2.1.3.1 Referentiegroep Vlaamse jongeren

In het schooljaar 2017-2018 namen 428 jongeren uit het derde jaar van het secundair onderwijs deel aan een humane-biomonitoringsonderzoek, georganiseerd door het Steunpunt Milieu en Gezondheid (FLEHS IV-campagne). Deze jongeren waren toen 14 of 15 jaar oud. Bedoeling van het onderzoek was de inwendige blootstelling aan omgevingspolluenten te meten in het bloed, de urine en het haar van de jongeren en op basis daarvan Vlaamse referentiewaarden te berekenen. De staalname gebeurden door studieverpleegsters en vond plaats op school. Via schriftelijke vragenlijsten werd informatie bekomen over de gezondheidstoestand, en over persoons-, omgevings- en levensstijlkenmerken van de jongeren en hun gezin.

De jongeren werden via een gestratificeerd geclusterd multi-stage design gerekruteerd uit 20 scholen in de vijf Vlaamse provincies. Van de 1.546 leerlingen die werden uitgenodigd, gaven 522 jongeren en hun ouders toestemming (respons van 34%).



Omwille van afwezigheden of wegeringen op de dag van het onderzoek, en omwille van exclusiecriteria vielen een aantal van deze jongeren toch nog buiten de studie. In totaal werden 428 jongeren onderzocht als referentiegroep voor Vlaamse jongeren. Deze steekproef was representatief voor jongeren uit Vlaanderen, op basis van geslacht, onderwijsvorm en woonplaats (provincie)<sup>1</sup>.

De resultaten van het onderzoek humane biomonitoring werden in 2020 gecommuniceerd, zowel individueel aan de deelnemers als collectief aan stakeholders en het brede publiek (Steunpunt Milieu en Gezondheid, 2020b). De studie gebeurde in opdracht van het Departement Omgeving van de Vlaamse overheid.

### 2.1.3.2 Variabelen

Dit rapport beschrijft de exploratieve analyses die werden uitgevoerd op basis van de vragenlijstgegevens van 428 jongeren en hun ouders. De vragenlijst werd deels ingevuld door de ouders, deels door de ouders en de jongere samen en deels door de jongere alleen. De meerderheid van de gedragsvragen werd aan de ouders gesteld (rond voeding, milieugedrag, productgebruik, ...). De perceptie- en attitudevragen werden aan de jongeren gesteld. Vanuit methodologisch standpunt bemoeilijkt dit de combinatie van gedragsvragen en attitudevragen in één statistische analyse. Daarom werd beslist de analyses zo veel als mogelijk te richten op vragen die aan de jongeren zelf gesteld werden. Op die manier werden twee beloftevolle modellen uitgewerkt.

De afhankelijke variabele in de eerste analyse is de **milieubezorgdheid** van jongeren. In de vragenlijst werden in totaal acht stellingen voorgelegd aan jongeren, overgenomen uit de milieumodule van de SCV-survey (2010). Steeds konden jongeren antwoorden op een 5-punten schaal gaande van helemaal oneens tot helemaal eens. De gehele set van stellingen peilde naar een optimistische (onbezorgde) of een pessimistische (bezorgde) opvatting van het leefmilieu.

- Lucht, water en bodem in Vlaanderen zijn sterk vervuild
- De toestand van het milieu is een bedreiging voor mijn gezondheid
- Als individu kan je een bijdrage leveren aan de bescherming van het leefmilieu
- De meeste milieuproblemen in Vlaanderen worden overdreven.
- Ik maak me zelden zorgen over milieuvervuiling in Vlaanderen.
- Al dat praten over milieuvervuiling in Vlaanderen maakt de mensen ongeruster dan nodig.
- We maken ons tegenwoordig te veel zorgen over de toekomst van het milieu en te weinig over de prijzen en de werkgelegenheid.
- De mensen maken zich er te veel zorgen over dat de vooruitgang het milieu zal schaden.

Gelijkaardig aan voorgaande analyses op basis van deze items (Beyst, 2012), toonden onze exploratieve analyses aan dat vooral de 5 laatste items goed samen horen. Deze items hebben betrekking tot een milieu-optimistische houding. Op basis van deze 5 items werd een principale componentenanalyse uitgevoerd (PCA). De PCA toonde dat de items samengevoegd kunnen worden tot 1 schaal, met een verklaarde variantie van 45% en een cronbach alpha van 0.68. Tot slot werd de schaal omgedraaid, waardoor hoge scores een hoge mate van milieubezorgdheid aangeven.

De afhankelijke variabelen in de tweede analyse gaan over **groene ruimte**. Enerzijds gebruiken we de variabele die peilt naar het belang van groene ruimte: *Vind je groen in je woonomgeving belangrijk?* (nee; ja veel belang; ja maar niet veel). Deze variabele werd gehercodeerd naar 2 categorieën omdat een zeer beperkte groep jongeren 'nee' aanduidde.

---

<sup>1</sup> Voor meer info over de steekproeftrekking: zie het referentierapport: Steunpunt Milieu en Gezondheid, 2020 [www.milieu-en-gezondheid.be](http://www.milieu-en-gezondheid.be). Het rapport is te vinden als 'Resultaten jongerencampagne 2016-2020 - Deel 1 (februari 2020)'

In de analyses werd de groep die veel belang hecht aan groene ruimte ('ja veel belang') vergeleken met de groep die weinig belang hecht aan groene ruimte ('nee' of 'ja maar niet'). Anderzijds gebruiken we de variabele die doorvraagt naar de voornaamste redenen om groen belangrijk te vinden, op basis van een vast aantal antwoordmogelijkheden: Wat is de voornaamste reden waarom je groen ins je woonomgeving belangrijk vindt? (ruimte voor natuur; voor het uitzicht; voor de rust; sport en ontspanning; speelruimte kinderen; het is goed voor de gezondheid; ontmoetingsplaats; geen mening; andere).

De antwoordcategorieën werden vervolgens in drie groepen ingedeeld:

- Kijkgroen: ruimte voor natuur, voor het uitzicht, voor de rust.
- Gebruiksgroen: sport en ontspanning, speelruimte kinderen, ontmoetingsplaats.
- Gezondheid: het is goed voor de gezondheid.

Deze indeling is gebaseerd op beschrijvingen van natuurbeelden die vaak een tweedeling hanteren: enerzijds een arcadisch natuurbeeld (het vredige rurale landschap of het wildernis-natuurbeeld) en anderzijds een meer functioneel natuurbeeld (de natuur heeft nut voor de mens en moet onderhouden en verzorgd worden) (Buijs et al. 2006). Bogner en Wiseman (2006) benoemden deze twee dimensies als een preservatief milieuwereldbeeld (gericht op behoud van groen dat intrinsiek waardevol is en daarom beschermd moet worden) en een utilitair milieuwereldbeeld (groene ruimte is er om door de mens gebruikt te worden).

'Gezondheid' werd in deze literatuur niet als aparte categorie benoemd. In de Steunpunt bevraging werd het echter wel apart opgenomen, daarom kozen we ervoor het ook in onze analyse als een derde categorie te bekijken.

De onafhankelijke variabelen (zie bijlage) bestaan uit vier verschillende categorieën:

1. **Persoonskenmerken:** geslacht en leeftijd.
2. **Sociale achtergrond:** opleidingsniveau van de ouders; equivalent gezinsinkomen (in kwartielen); rondkomen met inkomen; eigenaarschap van de woning; buitenlandse herkomst van de jongere (geboortenationaliteit); thuistaal.
3. **Gezinscontext:** inschatting van milieuvriendelijk gedrag in het gezin; gezinsgrootte
4. **Schoolcontext:** schooltype van de jongere; MOS aanbod op school.

### 2.1.3.3 Statistische analyse

De statistische analyses gebeurden via SPSS, en bestonden uit twee delen. Ten eerste werd onderzocht welke invloed de sociale achtergrond, de gezinscontext en de schoolcontext heeft op de milieubezorgdheid van jongeren. Dit gebeurde aan de hand van een stapsgewijze meervoudige regressie. Dit wil zeggen dat verklaringsgronden stap voor stap werden toegevoegd aan de analyse. Eerst onderzochten we de rol van persoonskenmerken. Vervolgens werd respectievelijk de sociale achtergrond, de gezinscontext en de schoolcontext in rekening gebracht. Tot slot werd onderzocht of er sprake is van interactie-effecten. Ten tweede werd onderzocht in hoeverre het belang en gebruik van groene ruimte bij jongeren verbonden is aan de milieubezorgdheid van jongeren, hun gezinscontext, schoolcontext, en sociale achtergrond. Enerzijds werden jongeren gevraagd of ze groene ruimte belangrijk vinden (ja of nee/niet veel). Dit werd geanalyseerd aan de hand van een logistische regressie. Anderzijds werden jongeren gevraagd waarom ze groene ruimte belangrijk vinden (groen om naar te kijken, om te gebruiken en groen voor gezondheid). Dit werd geanalyseerd aan de hand van een multinomiale logistische regressie.



## 2.1.4 Resultaten

### 2.1.4.1 Beschrijving steekproef jongeren

Tabel 3 toont de belangrijkste karakteristieken van de steekproef (n=428).

Tabel 3: Karakteristieken steekproef

| % (n)                                        |              |
|----------------------------------------------|--------------|
| <b>Geslacht</b>                              |              |
| Meisjes                                      | 53,5% (299)  |
| Jongens                                      | 46,5% (199)  |
| <b>Leeftijd</b>                              |              |
| 12-14,5                                      | 23,36% (100) |
| 14,5-15,5                                    | 68,22% (292) |
| >15,5                                        | 8,41% (36)   |
| <b>Opleiding ouders</b>                      |              |
| Lager secundair                              | 6,19% (26)   |
| Hoger secundair                              | 33,33% (140) |
| Hoger onderwijs                              | 60,48% (254) |
| <b>Rondkomen inkomen</b>                     |              |
| Zeer tot eerder moeilijk                     | 28,81% (121) |
| Eerder gemakkelijk                           | 31,67% (133) |
| Gemakkelijk tot zeer gemakkelijk             | 39,52% (166) |
| <b>Eigenaar woning</b>                       |              |
| Nee                                          | 18,76% (79)  |
| Ja                                           | 81,24% (342) |
| <b>Buitenlandse herkomst (nationaliteit)</b> |              |
| Belgische                                    | 81,50% (348) |
| EU                                           | 8,43% (36)   |
| Niet-EU                                      | 10,07% (43)  |
| <b>Thuis taal</b>                            |              |
| Uitsluitend Nederlands                       | 86,62% (369) |
| Nederlands en een andere taal                | 10,33% (44)  |
| Geen Nederlands                              | 3,05% (13)   |
| <b>Milieuedrag gezin</b>                     |              |
| Niet milieuvriendelijk                       | 55,24% (232) |
| Milieuvriendelijk                            | 44,76% (188) |
| <b>Aantal gezinsleden</b>                    |              |
| 2-3                                          | 17,69% (75)  |
| 4-5                                          | 65,09% (276) |
| >5                                           | 17,22% (73)  |
| <b>Schooltype</b>                            |              |
| ASO                                          | 50,47% (216) |
| TSO en KSO                                   | 31,07% (133) |
| BSO                                          | 18,46% (79)  |
| <b>MOS aanbod op school</b>                  |              |
| Nee                                          | 76,4% (327)  |
| Ja                                           | 23,6% (101)  |

### 2.1.4.2 Milieubezorgdheid

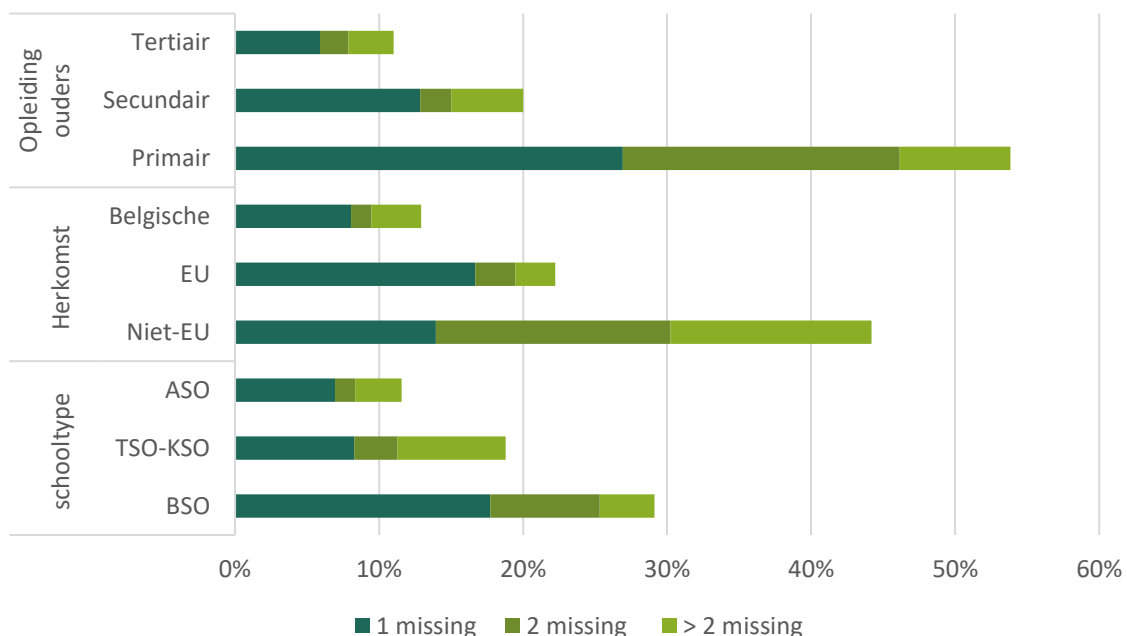
#### Inleiding

Jongeren werd gevraagd of ze het helemaal oneens, eerder oneens, niet eens en niet oneens, eerder eens of helemaal eens zijn met volgende stellingen. Uit de resultaten blijkt dat heel wat jongeren een relatief onbezorgde houding hebben ten aanzien van milieuproblemen.

Toch is er nooit een meerderheid van de jongeren die akkoord gaat (eens of helemaal eens) met de milieuo-optimistische stellingen.

- De meeste milieuproblemen in Vlaanderen worden overdreven (26,6% eens of helemaal eens).
- Ik maak me zelden zorgen over milieuvervuiling in Vlaanderen (39,4% eens of helemaal eens).
- Al dat praten over milieuvervuiling in Vlaanderen maakt de mensen ongeruster dan nodig (44,7% eens of helemaal eens).
- We maken ons tegenwoordig te veel zorgen over de toekomst van het milieu en te weinig over de prijzen en de werkgelegenheid (30% eens of helemaal eens).
- De mensen maken zich er te veel zorgen over dat de vooruitgang het milieu zal schaden (33,2% eens of helemaal eens).

De items omtrent milieubezorgdheid kenden echter een hoge non-respons. 156 jongeren vulden minstens een van de items niet in of duidde de categorie 'weet ik niet' aan. Bijgevolg konden slechts 272 jongeren bij de analyses betrokken worden. Wanneer we de item non-respons voor de vijf stellingen rond milieubezorgdheid stratificeren volgens sociale parameters, dan valt een hoger percentage op voor jongeren uit het BSO en jongeren met lager opgeleide ouders (zie figuur 1). De non-respons is dus niet enkel hoog, ze is ook sociaal ongelijk verdeeld waardoor jongeren met een lagere sociaal-economische status (SES) (lager opgeleide ouders, lager gezinsinkomen) vaker uit de analyses vallen. We komen hier in hoofdstuk 4 op terug in termen van aanbevelingen voor toekomstig onderzoek.



Figuur 1: Non-respons voor vijf stellingen over milieubezorgdheid, volgens sociale parameters (%)



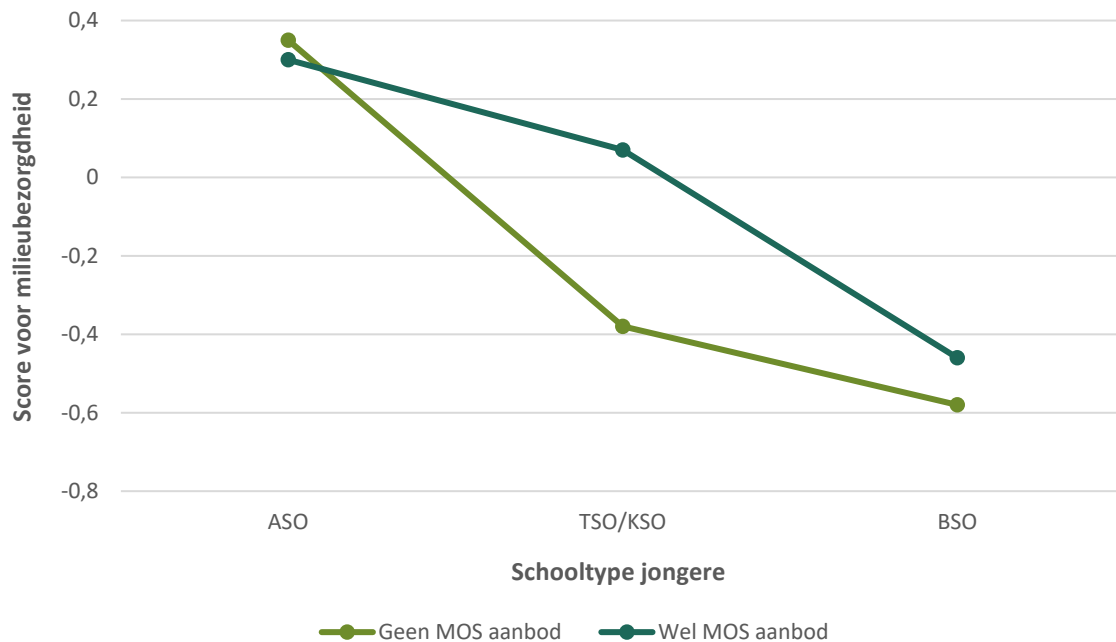
## Regressie analyse

Tabel 4 toont de resultaten van de multivariate regressieanalyse waarbij in vijf modellen stapsgewijs variabelen toegevoegd worden die een invloed kunnen hebben op de milieubezorgdheid van jongeren. Met deze modellen konden we 28,6% van de verschillen in milieubezorgdheid bij jongeren verklaren. Model 1 bevat persoonskenmerken gender en leeftijd die geen significante invloed hebben op milieubezorgdheid. Indicatoren van sociale achtergrond hebben wel een invloed (model 2): jongeren met lager opgeleide ouders en met een lager gezinsinkomen zijn minder milieubezorgd dan jongeren met hoger opgeleide ouders en met een hoger gezinsinkomen. De invloed van buitenlandse herkomst is minder eenduidig. Jongeren met een buitenlandse herkomst binnen de EU zijn significant minder milieubezorgd dan jongeren uit België. Maar dit geldt niet voor jongeren met een herkomst buiten de EU. In model 3 blijken de indicatoren uit de gezinscontext weinig invloed te hebben. Het milieugedrag in het gezin is wel randsignificant geassocieerd met milieubezorgdheid ( $p=0.074$ ): meer milieuvriendelijk gedrag in het gezin hangt samen met meer milieubezorgdheid van jongeren. Model 4 toont dat de schoolcontext wel een invloed heeft: jongeren uit het ASO zijn opvallend vaker milieubezorgd dan jongeren uit het BSO (het verschil met TSO/KSO is echter niet significant). Opvallend is verder dat in model 4 de significante associaties met indicatoren van sociale achtergrond (bijna) allemaal verdwijnen door toevoeging van het schooltype van de jongere. De aanwezigheid van een MOS aanbod op school heeft als aparte variabele in model 4 geen significante invloed op de milieubezorgdheid bij jongeren maar is wel significant als interactie-effect met schooltype en met milieugedrag in model 5. Enerzijds zorgt de combinatie van een MOS aanbod op school en milieuvriendelijk gedrag in het huishouden voor meer milieubezorgdheid bij jongeren. Anderzijds zorgt MOS op school ervoor dat de verschillen tussen ASO enerzijds en BSO/TSO/KSO minder groot zijn, of anders gesteld: MOS op school lijkt de onderwijkskloof in termen van milieubezorgdheid te kunnen verkleinen.

Tabel 4: Multivariate regressiemodellen rond milieubezorgdheid

|                                               | Model 1     |      | Model 2     |      | Model 3     |      | Model 4     |      | Model 5     |      |
|-----------------------------------------------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|
|                                               | Std $\beta$ | Sig. | Std $\beta$ | Sig. | Std $\beta$ | Sig. | Std $\beta$ | Sig. | Std $\beta$ | Sig. |
| <b>Geslacht (meisje)</b>                      | -,009       | ,895 | ,037        | ,573 | ,038        | ,567 | ,033        | ,596 | ,000        | ,995 |
| <b>Leeftijd</b>                               |             |      |             |      |             |      |             |      |             |      |
| 12-14,5                                       | ,073        | ,568 | -,018       | ,884 | ,005        | ,969 | -,060       | ,620 | -,131       | ,274 |
| 14,5-15,5                                     | -,012       | ,926 | -,046       | ,713 | -,019       | ,876 | -,073       | ,544 | -,117       | ,320 |
| >15,5                                         | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. |
| <b>Opleiding ouders</b>                       |             |      |             |      |             |      |             |      |             |      |
| Lager sec. onderwijs                          |             |      | -,152       | ,024 | -,152       | ,023 | -,098       | ,133 | -,122       | ,057 |
| Hoger sec. onderwijs                          |             |      | -,151       | ,032 | -,118       | ,107 | ,012        | ,871 | ,024        | ,748 |
| Tertiair onderwijs                            |             |      | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. |
| <b>Eq. inkomen gezin</b>                      |             |      |             |      |             |      |             |      |             |      |
| 0-1250                                        |             |      | -,151       | ,058 | -,189       | ,020 | -,163       | ,039 | -,179       | ,020 |
| 1250-1600                                     |             |      | -,194       | ,013 | -,218       | ,006 | -,191       | ,012 | -,195       | ,009 |
| 1600-2000                                     |             |      | -,141       | ,052 | -,152       | ,038 | -,105       | ,139 | -,104       | ,135 |
| >2000                                         |             |      | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. |
| <b>Buitenlandse herkomst</b>                  |             |      |             |      |             |      |             |      |             |      |
| Niet-EU                                       |             |      | ,108        | ,111 | ,096        | ,155 | ,081        | ,213 | ,108        | ,088 |
| EU (excl. België)                             |             |      | -,133       | ,045 | -,135       | ,042 | -,070       | ,285 | -,074       | ,246 |
| België                                        |             |      | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. | Ref.        | Ref. |
| <b>Milieugedrag gezin (milieuvriendelijk)</b> |             |      |             |      | ,116        | ,073 | ,117        | ,061 | ,016        | ,815 |

|                             | Model 1              |      | Model 2     |       | Model 3     |       | Model 4      |      | Model 5      |      |
|-----------------------------|----------------------|------|-------------|-------|-------------|-------|--------------|------|--------------|------|
|                             | Std $\beta$          | Sig. | Std $\beta$ | Sig.  | Std $\beta$ | Sig.  | Std $\beta$  | Sig. | Std $\beta$  | Sig. |
| <b>Huishoudgrootte</b>      |                      |      |             |       |             |       |              |      |              |      |
| 2-3                         |                      |      |             |       | -,062       | ,505  | -,085        | ,346 | -,078        | ,371 |
| 4-5                         |                      |      |             |       | -,143       | ,123  | <b>-,175</b> | ,050 | -,150        | ,085 |
| >5                          |                      |      |             |       | Ref.        | Ref.  | Ref.         | Ref. | Ref.         | Ref. |
| <b>School type</b>          |                      |      |             |       |             |       |              |      |              |      |
| ASO                         |                      |      |             |       |             |       | <b>,400</b>  | ,000 | <b>,496</b>  | ,000 |
| TSO en KSO                  |                      |      |             |       |             |       | ,103         | ,292 | ,136         | ,154 |
| BSO                         |                      |      |             |       |             |       | Ref.         | Ref. | Ref.         | Ref. |
| <b>MOS (ja)</b>             |                      |      |             |       |             |       | ,062         | ,325 | ,022         | ,827 |
| <b>MOS_milieugedrag_INT</b> |                      |      |             |       |             |       |              |      | <b>,309</b>  | ,001 |
| <b>MOS_ASO_INT</b>          |                      |      |             |       |             |       |              |      | <b>-,227</b> | ,014 |
| <b>Model informatie</b>     |                      |      |             |       |             |       |              |      |              |      |
|                             | <b>R<sup>2</sup></b> | 0,7% | 13%         | 15,4% | 23,2%       | 28,6% |              |      |              |      |



Figuur 2: Milieubezorgdheid naar schooltype, voor leerlingen met en zonder MOS aanbod op school

Het interactie-effect van MOS aanbod en schooltype op de milieubezorgdheid van jongeren wordt in figuur 2 op een visuele manier voorgesteld. De figuur toont duidelijk een hogere score voor milieubezorgdheid bij leerlingen uit het ASO, maar deze score is niet afhankelijk van een beschikbaar MOS aanbod op school (oranje en groene lijn liggen dicht bij elkaar). Voor leerlingen uit het TSO/KSO en BSO heeft een MOS aanbod op school echter wél een invloed op de milieubezorgdheid. In scholen met MOS aanbod zijn de leerlingen milieubezorgder (groene lijn ligt hoger dan oranje lijn).

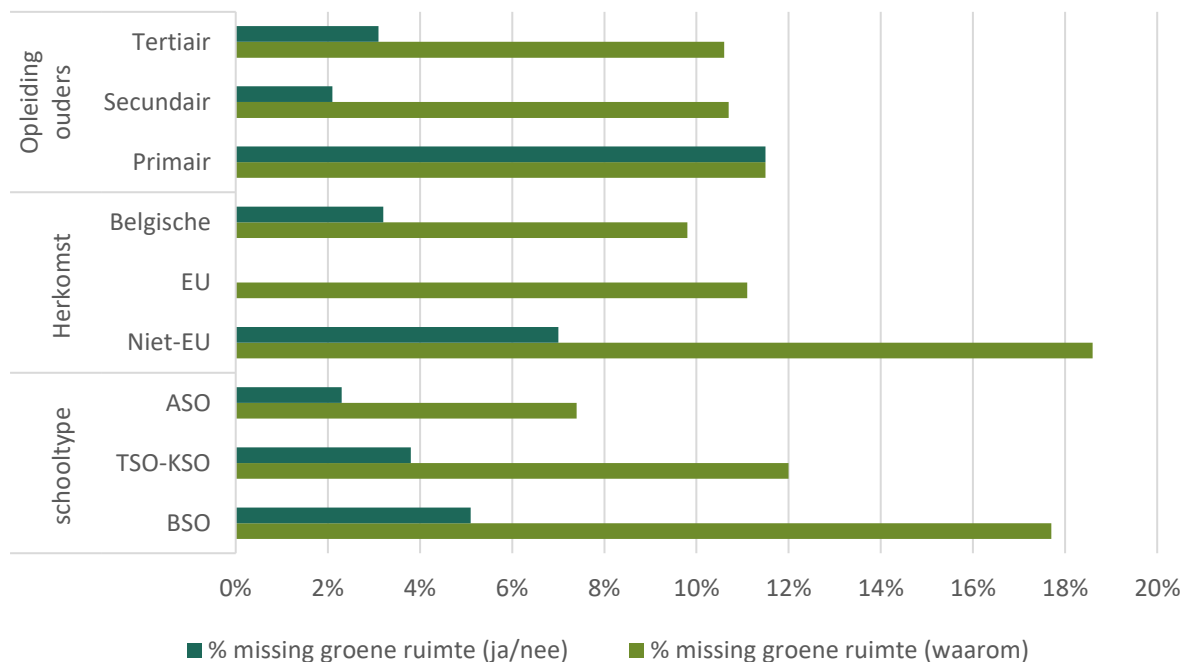
### 2.1.4.3 Groene ruimte

#### Inleiding

In deze analyse bekijken we twee indicatoren: het belang dat jongeren aan groene ruimte hechten, en de voornaamste reden waarom ze groene ruimte belangrijk vinden. In totaal vindt de helft van de jongeren groene ruimte in de woonomgeving belangrijk en de helft niet (zie Tabel 8 in bijlage).

Jongeren uit een gezin met een lagere SES (lager opgeleide ouders, lager gezinsinkomen, geen huiseigenaar) en zonder milieuvriendelijk gedrag vinden groene ruimte significant minder belangrijk dan jongeren uit een gezin met een hogere SES en uit een gezin dat milieuvriendelijk gedrag stelt (bivariate associaties, tabel 9 in bijlage).

Jongeren konden in een tweede vraag de voornaamste reden aangeven waarom ze groene ruimte belangrijk vinden. 63% verwijst naar het belang van 'kijkgroen' (ruimte voor natuur, voor het uitzicht, voor de rust). 22% verwijst veeleer naar 'gebruiksgroen' (sport en ontspanning, speelruimte kinderen, ontmoetingsplaats). 15% van de jongeren duidt aan dat groene ruimte vooral belangrijk is omdat het goed is voor de 'gezondheid' (tabel 10 in bijlage). Dit onderscheid is enkel significant verschillend voor opleidingsniveau van de ouders en schooltype van de jongere (bivariate associaties, tabel 10 in bijlage): jongeren met lager opgeleide ouders en uit het BSO geven opvallend vaker aan dat groene ruimte belangrijk is voor de gezondheid.



Figuur 3: Non-respons voor vragen rond groene ruimte, volgens sociale parameters (%)

Indien we de non-respons op de twee vragen stratificeren naar sociale parameters (figuur3), dan valt dezelfde sociale gradiënt op als in de eerste analyse: de vragenlijsten van jongeren uit het BSO, van jongeren met een migratieachtergrond buiten de EU en met lager opgeleide ouders bevatten meer missings dan de vragenlijsten van jongeren uit het ASO, zonder migratieachtergrond en met hoger opgeleide ouders.



## Regressie analyse

Tabel 5 toont aan dat er slechts beperkte verschillen bestaan in de mate waarin jongeren groene ruimte belangrijk vinden naargelang de gezinscontext, schoolcontext, en sociale achtergrond.

Tabel 5: Multivariate regressiemodellen rond belang van groene ruimte

| Belang groene ruimte (ref. = niet belangrijk) | Belangrijk   |      |
|-----------------------------------------------|--------------|------|
|                                               | Exp (B)      | Sig. |
| <b>Geslacht</b> (meisje)                      | 1,184        | ,571 |
| <b>Leeftijd</b>                               |              |      |
| 12-14,5                                       | 2,152        | ,222 |
| 14,5-15,5                                     | 1,490        | ,496 |
| >15,5                                         | Ref.         | Ref. |
| <b>Opleiding ouders</b>                       |              |      |
| Lager secundair onderwijs                     | ,370         | ,280 |
| Hoger secundair onderwijs                     | ,671         | ,284 |
| Tertiair onderwijs                            | Ref.         | Ref. |
| <b>Eq. inkomen gezin</b>                      |              |      |
| 0-1250                                        | ,962         | ,929 |
| 1250-1600                                     | 1,308        | ,524 |
| 1600-2000                                     | ,799         | ,583 |
| >2000                                         | Ref.         | Ref. |
| <b>Buitenlandse herkomst</b>                  |              |      |
| Niet-EU                                       | ,538         | ,246 |
| EU (excl. België)                             | ,816         | ,716 |
| België                                        | Ref.         | Ref. |
| <b>Milieugedrag gezin</b> (milieuvriendelijk) | 1,420        | ,236 |
| <b>School type</b>                            |              |      |
| ASO                                           | ,605         | ,333 |
| TSO en KSO                                    | ,351         | ,036 |
| BSO                                           | Ref.         | Ref. |
| <b>MOS</b> (ja)                               | ,910         | ,799 |
| <b>Milieubezorgdheid</b> (bezorgd)            | <b>1,699</b> | ,001 |
| <b>Constante</b>                              | 1,219        | ,792 |
| <b>Model informatie</b>                       |              |      |
| Nagelkerke R <sup>2</sup>                     | 17,2%        |      |

Enkel leerlingen TSO/KSO hebben een kleinere kans om aan te geven dat ze groene ruimte belangrijk vinden, in vergelijking met andere leerlingen. De mate van milieubezorgdheid bij jongeren heeft daarentegen wel een invloed. Hoe bezorgder jongeren zijn om het milieu, hoe waarschijnlijker het is dat ze groene ruimte belangrijk vinden. De sociale achtergrond lijkt meer te spelen wanneer we jongeren vragen waarom ze groene ruimte belangrijk vinden (Tabel 6).

Tabel 6: Multivariate regressiemodellen rond reden van belang van groene ruimte

| Belang groene ruimte (ref. = gezondheid) | Kijkgroen |      | Gebruiksgroen |      |
|------------------------------------------|-----------|------|---------------|------|
|                                          | Exp (B)   | Sig. | Exp (B)       | Sig. |
| <b>Geslacht</b> (meisje)                 | 1,567     | ,345 | 1,460         | ,491 |
| <b>Leeftijd</b>                          |           |      |               |      |
| 12-14,5                                  | ,084      | ,079 | ,177          | ,271 |
| 14,5-15,5                                | ,196      | ,234 | ,275          | ,399 |
| >15,5                                    | Ref.      | Ref. | Ref.          | Ref. |

| Belang groene ruimte (ref. = gezondheid)      | Kijkgroen   |      | Gebruiksgroen |      |
|-----------------------------------------------|-------------|------|---------------|------|
|                                               | Exp (B)     | Sig. | Exp (B)       | Sig. |
| <b>Opleiding ouders</b>                       |             |      |               |      |
| Lager secundair onderwijs                     | <b>,042</b> | ,004 | ,133          | ,099 |
| Hoger secundair onderwijs                     | ,931        | ,904 | 1,246         | ,753 |
| Tertiair onderwijs                            | Ref.        | Ref. | Ref.          | Ref. |
| <b>Eq. inkomen gezin</b>                      |             |      |               |      |
| 0-1250                                        | ,359        | ,136 | ,397          | ,258 |
| 1250-1600                                     | <b>,243</b> | ,045 | ,233          | ,080 |
| 1600-2000                                     | ,760        | ,733 | 1,864         | ,469 |
| >2000                                         | Ref.        | Ref. | Ref.          | Ref. |
| <b>Buitenlandse herkomst</b>                  |             |      |               |      |
| Niet-EU                                       | ,720        | ,659 | ,480          | ,465 |
| EU (excl. België)                             | 1,147       | ,879 | ,282          | ,354 |
| België                                        | Ref.        | Ref. | Ref.          | Ref. |
| <b>Milieugedrag gezin (milieuvriendelijk)</b> | 1,153       | ,768 | 1,111         | ,850 |
| <b>School type</b>                            |             |      |               |      |
| ASO                                           | 2,472       | ,255 | 4,325         | ,125 |
| TSO en KSO                                    | 3,119       | ,144 | 4,060         | ,136 |
| BSO                                           | Ref.        | Ref. | Ref.          | Ref. |
| <b>MOS (ja)</b>                               | 1,782       | ,369 | 2,277         | ,261 |
| <b>Milieubezorgdheid (bezorgd)</b>            | <b>,504</b> | ,012 | <b>,408</b>   | ,004 |
| <b>Constante</b>                              |             |      |               |      |
|                                               |             | ,039 |               | ,558 |
| <b>Model informatie</b>                       |             |      |               |      |
| Nagelkerke R <sup>2</sup>                     | 21,9%       |      |               |      |

Jongeren waarvan de ouders laaggeschoold zijn, vinden gezondheid belangrijker dan kijkgroen, in vergelijking met jongeren waarvan de ouders hoger geschoold zijn. Met andere woorden, terwijl jongeren met laaggeschoolde ouders geneigd zijn gezondheid belangrijk te vinden, zijn jongeren met hooggeschoolde ouders eerder geneigd kijkgroen belangrijk te vinden. Hetzelfde geldt voor jongeren waarvan hun ouders tussen de 1250-1600 euro verdienen. Zij geven ook eerder aan gezondheid belangrijk te vinden, in vergelijking met jongeren waarvan hun ouders meer dan 2000 euro verdienen. De gezinscontext en schoolcontext van de jongeren blijkt niet van belang. Wederom speelt de mate van milieubezorgdheid van de jongeren wel een rol. Hoe bezorgder ze zijn om het milieu, hoe kleiner de kans dat ze kijkgroen of gebruiksgroen aangeven als belangrijk. Milieubezorgde jongeren vinden de gezondheidsfuncties van groene ruimte blijkbaar belangrijker.

### 2.1.5 Conclusie en aanbevelingen

In dit rapport werden de exploratieve analyses beschreven over de invloed van verschillende sociale contexten op milieuattituden van 428 jongeren uit de FLEHS IV studie (2016-2020). Twee statistische analyses werden uitgevoerd via stapsgewijze meervoudige regressie: ten eerste onderzochten we welke invloed de sociale achtergrond, gezinscontext en schoolcontext hebben op de milieubezorgdheid van jongeren. Ten tweede analyseerden we of het belang dat jongeren hechten aan groene ruimte verbonden is aan milieubezorgdheid, en de verschillende sociale contexten. De resultaten toonden dat vooral de schoolcontext een invloed heeft op milieubezorgdheid: jongeren uit het ASO zijn bezorgder dan andere jongeren. Persoonskenmerken (geslacht en leeftijd) en de gezinscontext (gezinsgrootte en milieuvriendelijk gedrag in het gezin) oefenden in onze analyse minder invloed uit op de milieubezorgdheid.

De sociale achtergrond (opleiding en inkomen van de ouders) bleek wel bepalend, maar de invloed verliep voornamelijk indirect via het schooltype: jongeren uit een gezin met hoger opgeleide ouders of met een hoger inkomen zitten vaker in het ASO en vertonen daarom een hogere milieubezorgdheid. Deze bevinding ondersteunt de hypothese van de reproductie van sociale ongelijkheid door het onderwijs: via de keuze voor het schooltype geven ouders hun sociale positie door aan hun kinderen waardoor sociale ongelijkheid gereproduceerd wordt vanuit het gezin.

Onze analyses identificeerden echter ook een factor die deze ongelijkheid deels kan remediëren: we stelden vast dat een MOS aanbod op school vooral bij jongeren uit BSO, TSO en KSO tot een verhoging van milieubezorgdheid leidt. MOS lijkt dus de onderwijskloof in termen van milieubezorgdheid te kunnen verkleinen. Daarnaast bleek ook een MOS aanbod op school in tandem met milieugedrag in het gezin tot een verhoogde milieubezorgdheid te leiden.

De tweede analyse rond groene ruimte toonde aan dat er slechts beperkte verschillen bestaan in *de mate* waarin jongeren groene ruimte belangrijk vinden naargelang de gezinscontext, schoolcontext, en sociale achtergrond. Die verschillen zijn er echter wél als jongeren *de reden* moeten aangeven waarom ze groene ruimte belangrijk vinden: voor jongeren met een lagere sociale positie is vooral het gezondheidsaspect belangrijk. Voor jongeren met een hogere sociale positie is vooral kijkgroen belangrijk. Ook deze bevinding bevestigt eerder onderzoek, en wijst op het belang van verschillende belevingskaders rond groene ruimte bij jongeren. De hypothese is dat voor wie opgroeit in een groene leefomgeving, de gezondheidsimpact van die groene ruimte meer vanzelfsprekend wordt geacht en minder snel zal benoemd worden dan voor wie opgroeit in een stedelijke en weinig groene omgeving.

Op basis van deze exploratieve analyses kunnen ook enkele aanbevelingen geformuleerd worden voor toekomstig onderzoek en beleid:

- Verzamel bij deelnemende scholen bijkomende informatie over milieuzorg en duurzaamheid, aangezien de schoolcontext belangrijk blijkt om milieuattituden van jongeren te bestuderen.
- Investeer in attitude- en gedragsvragen die voldoende theoretisch onderbouwd zijn en die zowel bij ouders als de jongere zelf bevestigd worden. Op die manier kunnen bredere onderzoeksvragen rond (milieubewust)gedrag bestudeerd worden.
- Wees waakzaam voor missing data bij schriftelijke vragenlijsten. De non-respons bij die vragen is niet enkel hoog, ze is ook sociaal ongelijk verdeeld waardoor jongeren met een zwakker sociaal profiel vaker uit de analyses vallen. Het collecteren van data via een face-to-face interview – zoals gebeurt bij de SCV-survey, de Belgische gezondheidsenquête en internationale biomonitoringstudies – kan een oplossing zijn om de hoge non-respons te vermijden.
- Investeren in het aanbod ‘MOS: duurzame scholen, straffe scholen’ lijkt zich - op basis van deze statistische verkenning - te lonen in functie van ‘environmental justice’. De inhoud van de leerstof of activiteiten lijkt de potentie in zich te dragen om sociale ongelijkheid inzake milieubezorgdheid te milderen.
- In het schoolbeleid en in de onderwijsactiviteiten rond duurzame ontwikkeling en milieu is voldoende aandacht nodig voor de uiteenlopende drijfveren die jongeren hebben bij groene ruimte. Een ongedifferentieerd aanpakken van het belang of de meerwaarde van groene ruimte kan onbedoeld elitair doorwerken (natuurbeelden die vooral samenhangen met de hogere sociaal-economische klasse).



## 2.1.6 Referenties

- Ajzen, I., & Fishbein, M. (1980), *Understanding attitudes and predicting social behavior*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Beyst, V. (2006), *Handelen naar geweten? Een analyse van het verband tussen milieubesef en milieuvriendelijk gedrag in Vlaanderen*, Stativaria 39.
- Beyst, V. (2012), *Opstellen van een indicatorenset over de perceptie, houdingen en gedragingen van Vlamingen met betrekking tot het milieu*, SVR – Methoden en technieken 2012/3.
- Bogner F.X. & M. Wiseman (2006), Adolescents' attitudes towards nature and environment: Quantifying the 2-MEV model, *The Environmentalist*, 26, 247–254.
- Buijs, A.E., F. Langers & S. de Vries (2006), *Een andere kijk op groen; Beleving van natuur en landschap in Nederland door allochtonen en jongeren*, Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 24. 130 blz.
- Frohlich, K.L., Corin, E., Potvin, L. (2001), A theoretical proposal for the relationship between context and disease, *Sociology of Health & Illness*, 23:6, 776-797.
- Kollmuss, A. & Agyeman, J. (2002), Mind the Gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior?, *Environmental Education Research*, 8: 3, 239-260.
- Stets, J.E. & Biga C.F., (2003), Bringing Identity Theory into Environmental Sociology, *Sociological Theory*, 21:4, 398-423.
- Steunpunt Milieu en Gezondheid (2020a), *Vlaams Humane Biomonitoringsprogramma 2016-2020, Referentiewaarden bij Jongeren*, [www.milieu-en-gezondheid.be](http://www.milieu-en-gezondheid.be).
- Steunpunt Milieu en Gezondheid (2020b), *Vlaams Humane Biomonitoringsprogramma 2016-2020, Resultatenrapport Jongerencampagne Deel II*, [www.milieu-en-gezondheid.be](http://www.milieu-en-gezondheid.be).

## 2.1.7 Bijlagen

Tabel 7: Milieubezorgdheid volgens persoonskenmerken, indicatoren van sociale achtergrond, gezinscontext en schoolcontext

| Milieubezorgdheid Gemiddelde per groep |                                                                                                                                            |             |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Gender                                 | Man: 0,01<br>Vrouw: -0,01                                                                                                                  | t=0,19      |
| Leeftijd                               | 13,5-14,5: 0,14<br>14,5-15,5: -0,06<br>>15,5: -0,02                                                                                        | F=1,03      |
| Hoogste opleidingsniveau ouders        | Lager secundair onderwijs: -0,35<br>Hoger secundair onderwijs: -0,26<br>Tertiair onderwijs: 0,18                                           | F=6,52**    |
| Equivalent inkomen gezin               | 0-1250 euro: -0,22<br>1251-1600 euro: -0,22<br>1601-2000 euro: -0,05<br>>2000 euro: 0,37                                                   | F=5,38**    |
| Rondkomen inkomen                      | Zeer tot eerder moeilijk: -0,17<br>Eerder gemakkelijk: -0,01<br>Gemakkelijk tot zeer gemakkelijk: 0,14                                     | F=2,05      |
| Eigenaar woning                        | Nee: -0,22<br>Ja: 0,06                                                                                                                     | t=-1,87+    |
| Buitenlandse herkomst                  | Belgisch: 0,02<br>EU: -0,45<br>Niet-EU: 0,18                                                                                               | F= 2,77+    |
| Thuis taal                             | Uitsluitend Nederlands: -0,02<br>Nederlands en iets anders: 0,26<br>Geen Nederlands: -0,38                                                 | F=1,67      |
| Milieuedrag gezin (O_H02)              | Helemaal niet milieuvriendelijk-noch milieuvriendelijk,<br>noch milieuvriendelijk: -0,12<br>Milieuvriendelijk-heel milieuvriendelijk: 0,14 | t=-2,11*    |
| Aantal gezinsleden                     | 2-3: -0,09<br>4-5: -0,01<br>>5: 0,14                                                                                                       | F= 0,65     |
| Schooltype                             | ASO: 0,34<br>TSO en KSO: -0,28<br>BSO: -0,54                                                                                               | F= 20,71*** |
| MOS aanbod                             | Nee: -0,00<br>Ja: 0,01                                                                                                                     | t=-0,10     |

Significatie: \*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ ; +  $p < 0,1$



Tabel 8: Belang van groene ruimte in de woonomgeving, volgens persoonskenmerken, indicatoren van sociale achtergrond, gezinscontext en schoolcontext (%)

|                                        | Weinig belang     | Veel belang |
|----------------------------------------|-------------------|-------------|
| <b>Totaal</b>                          | <b>50%</b>        | <b>50%</b>  |
| <b>Gender</b>                          | $X^2=0,79$        |             |
| Man                                    | 47,64%            | 52,36%      |
| Vrouw                                  | 52,02%            | 47,98%      |
| <b>Leeftijd</b>                        | $X^2=4,74+$       |             |
| 13,5-14,5                              | 45,13%            | 54,87%      |
| 14,5-15,5                              | 50%               | 50%         |
| >15,5                                  | 66,67%            | 33,33%      |
| <b>Hoogste opleidingsniveau ouders</b> | $X^2=9,80^{**}$   |             |
| Lager secundair onderwijs              | 60,87%            | 39,13%      |
| Hoger secundair onderwijs              | 59,12%            | 40,88%      |
| Tertiair onderwijs                     | 43,50%            | 56,50%      |
| <b>Equivalent inkomen gezin</b>        | $X^2=8,47^*$      |             |
| 0-1250                                 | 61,11%            | 38,89%      |
| 1251-1600                              | 48,61%            | 51,39%      |
| 1601-2000                              | 55,07%            | 44,93%      |
| >2000                                  | 41,67%            | 58,33%      |
| <b>Rondkomen inkomen</b>               | $X^2=5,07+$       |             |
| Zeer tot eerder moeilijk               | 58,62%            | 41,38%      |
| Eerder gemakkelijk                     | 45,31%            | 54,69%      |
| Gemakkelijk tot zeer gemakkelijk       | 47,24%            | 52,76%      |
| <b>Eigenaar woning</b>                 | $X^2=6,46^*$      |             |
| Nee                                    | 63,16%            | 36,84%      |
| Ja                                     | 47,01%            | 52,99%      |
| <b>Buitenlandse herkomst</b>           | $X^2=3,18$        |             |
| Belgische                              | 48,07%            | 51,93%      |
| EU                                     | 61,11%            | 38,89%      |
| Niet-EU                                | 57,50%            | 42,50%      |
| <b>Thuis taal</b>                      | $X^2=1,53$        |             |
| Uitsluitend Nederlands                 | 49,17%            | 50,83%      |
| Nederlands en iets anders              | 52,38%            | 47,62%      |
| Geen Nederlands                        | 66,67%            | 33,33%      |
| <b>Milieugedrag gezin (O_H02)</b>      | $X^2=12,11^{***}$ |             |
| Niet milieuvriendelijk                 | 58,11%            | 41,89%      |
| Milieuvriendelijk                      | 40,76%            | 59,24%      |
| <b>Aantal gezinsleden</b>              | $X^2=4,35$        |             |
| 2-3                                    | 59,46%            | 40,54%      |
| 4-5                                    | 46,44%            | 53,56%      |
| >5                                     | 53,52%            | 46,48%      |
| <b>Schooltype</b>                      | $X^2=11,84^{**}$  |             |
| ASO                                    | 41,71%            | 58,29%      |
| TSO en KSO                             | 58,59%            | 41,41%      |
| BSO                                    | 58,67%            | 41,33%      |

Significatie: \*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ ; +  $p < 0,1$

Tabel 9: Appreciatie groene ruimte in woonomgeving

|                                        | Kijkgroen        | Gebruiksgroen | Gezondheid    |
|----------------------------------------|------------------|---------------|---------------|
| <b>Totaal</b>                          | <b>63,09%</b>    | <b>21,73%</b> | <b>15,18%</b> |
| <b>Gender</b>                          | $X^2=0,84$       |               |               |
| Man                                    | 60,67%           | 23,03%        | 16,29%        |
| Vrouw                                  | 65,20%           | 20,59%        | 14,22%        |
| <b>Leeftijd</b>                        | $X^2=6,64$       |               |               |
| 13,5-14,5                              | 54,21%           | 27,10%        | 18,69%        |
| 14,5-15,5                              | 65,99%           | 20,65%        | 13,36%        |
| >15,5                                  | 71,43%           | 10,71%        | 17,86%        |
| <b>Hoogste opleidingsniveau ouders</b> | $X^2=14,33^{**}$ |               |               |
| Lager secundair onderwijs              | 39,13%           | 21,74%        | 39,13%        |
| Hoger secundair onderwijs              | 58,40%           | 24,80%        | 16,80%        |
| Tertiair onderwijs                     | 67,40%           | 20,70%        | 11,89%        |
| <b>Equivalent inkomen gezin</b>        | $X^2=11,82^{+}$  |               |               |
| 0-1250                                 | 52,44%           | 24,39%        | 23,17%        |
| 1251-1600                              | 68,25%           | 14,29%        | 17,46%        |
| 1601-2000                              | 62,12%           | 27,27%        | 10,61%        |
| >2000                                  | 70,27%           | 18,92%        | 10,81%        |
| <b>Rondkomen inkomen</b>               | $X^2=6,83$       |               |               |
| Zeer tot eerder moeilijk               | 55,14%           | 25,23%        | 19,63%        |
| Eerder gemakkelijk                     | 71,55%           | 16,38%        | 12,07%        |
| Gemakkelijk tot zeer gemakkelijk       | 62,50%           | 23,03%        | 14,47%        |
| <b>Eigenaar woning</b>                 | $X^2=2,45$       |               |               |
| Nee                                    | 71,01%           | 17,39%        | 11,59%        |
| Ja                                     | 60,67%           | 22,90%        | 16,13%        |
| <b>Buitenlandse herkomst</b>           | $X^2=3,97$       |               |               |
| Belgische                              | 64,01%           | 22,29%        | 18,69%        |
| EU                                     | 62,50%           | 18,75%        | 18,75%        |
| Niet-EU                                | 54,29%           | 20%           |               |
| <b>Thuis taal</b>                      | $X^2=7,06$       |               |               |
| Uitsluitend Nederlands                 | 64,07%           | 22,24%        | 13,47%        |
| Nederlands en iets anders              | 54,05%           | 16,22%        | 29,73%        |
| Geen Nederlands                        | 63,64%           | 18,18%        | 18,18%        |
| <b>Milieugedrag gezin (O_H02)</b>      | $X^2=0,62$       |               |               |
| Niet milieuvriendelijk                 | 63,24%           | 20,59%        | 16,18%        |
| Milieuvriendelijk                      | 62,57%           | 23,39%        | 14,04%        |
| <b>Aantal gezinsleden</b>              | $X^2=0,71$       |               |               |
| 2-3                                    | 66,18%           | 19,12%        | 14,71%        |
| 4-5                                    | 62,06%           | 22,92%        | 15,02%        |
| >5                                     | 63,33%           | 20%           | 16,67%        |
| <b>Schooltype</b>                      | $X^2=10,12^{*}$  |               |               |
| ASO                                    | 64,50%           | 22,50%        | 13%           |
| TSO en KSO                             | 64,10%           | 23,93%        | 11,97%        |
| BSO                                    | 56,92%           | 15,38%        | 27,69%        |

Significatie: \*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ ; +  $p < 0,1$

Tabel 10: Onafhankelijke variabelen gebruikt in regressiemodellen

|                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gender</b>                                                                        |
| Man                                                                                  |
| Vrouw                                                                                |
| <b>Leeftijd</b>                                                                      |
| 13,5-14,5                                                                            |
| 14,5-15,5                                                                            |
| >15,5                                                                                |
| <b>Hoogste opleidingsniveau ouders</b>                                               |
| Lager secundair onderwijs                                                            |
| Hoger secundair onderwijs                                                            |
| Tertiair onderwijs                                                                   |
| <b>Equivalent inkomen gezin</b>                                                      |
| 0-1250                                                                               |
| 1251-1600                                                                            |
| 1601-2000                                                                            |
| >2000                                                                                |
| <b>Buitenlandse geboortenationaliteit jongere en/of ouders</b>                       |
| Belgisch                                                                             |
| EU                                                                                   |
| Niet-EU                                                                              |
| <b>Over het algemeen gesproken, hoe zou jij het gedrag van je gezin beschrijven:</b> |
| Helemaal niet milieuvriendelijk                                                      |
| Niet milieuvriendelijk                                                               |
| Noch milieuvriendelijk, noch milieuvriendelijk                                       |
| Milieuvriendelijk                                                                    |
| Heel milieuvriendelijk                                                               |
| <b>Aantal gezinsleden</b>                                                            |
| 2-3                                                                                  |
| 4-5                                                                                  |
| >5                                                                                   |
| <b>Schooltype</b>                                                                    |
| ASO                                                                                  |
| TSO en KSO                                                                           |
| BSO                                                                                  |
| <b>MOS aanbod</b>                                                                    |
| Nee                                                                                  |
| Ja                                                                                   |

## 2.2 VERKENNING CITIZEN SCIENCE OPPORTUNITEITEN VOOR HET VLAAMSE HBM-PROGRAMMA



Rapport 2021

Dries Coertjens, Carmen Franken, Bert Morrens, Elly den Hond, Ilona Gabaret, Ann Colles, Veerle Verheyen, Gudrun Koppen, Eva Govarts, Liese Gilles, Ilse Loots

UAntwerpen (CRESC), PIH, VITO



### 2.2.1 Samenvatting

De populariteit van citizen science neemt jaar na jaar toe en doet een frisse wind door het wetenschappelijke landschap waaien. Citizen science biedt niet enkel technologische vernieuwing en nieuwe mogelijkheden om méér, snellere of andere data te verzamelen. Het staat ook voor een democratisering en modernisering van de wetenschap, dichtbij de burgers en met de mogelijkheid om betere kennis te genereren over complexe problemen, maar ook maatschappelijk draagvlak te creëren voor het oplossen ervan.

In dit rapport doen we verslag van een verkenning naar citizen science opportuniteiten voor het Vlaamse HBM-programma. Op basis van een selectieve literatuurverkenning, online zoekwerk, enkele interviews met ervaringsdeskundigen in Vlaanderen en overleg binnen het eigen onderzoeksconsortium, proberen we na te gaan waar de kansen liggen voor een meer actieve deelnemersbetrokkenheid. Daarbij hebben we uiteraard ook aandacht voor de uitdagingen en randvoorwaarden. En tot slot formuleren we enkele scenario's voor de toekomst.

Geïllustreerd met bestaande goede praktijken en beloftevolle ontwikkelingen zien we citizen science opportuniteiten op minstens drie fronten: met name: **self-sampling** (deelnemers die zelf stalen nemen – humane of omgevingsstalen), **zelf meten** (het gaat dan vooral over verklarende factoren voor interne blootstelling, maar ook gezondheidsparameters en beleving) en **participatie** (het creëren van een meer actieve betrokkenheid van deelnemers bij het onderzoek).

Belangrijke uitdagingen zijn er echter op het vlak van: i) de continuïteit van het Vlaamse HBM-programma, ii) datakwaliteit, iii) representativiteit, iv) jongeren als doelgroep, v) databescherming, privacy en het delen van data, en vi) communicatie.

In conclusie formuleren we vier type-scenario's voor de toekomst, die veeleer complementair dan wederzijds exclusief zijn. Met name: i) een autonoom citizen science project met als voornaamste doel maatschappelijk debat op gang te brengen, ii) gerichte dataverzameling in functie van specifieke onderzoeksvragen, iii) een educatief project als aanbod aan geïnteresseerde scholen of gericht op een specifieke kwetsbare doelgroep en iv) een ambitieus 'exposoom project' met als doel een unieke en zo uitgebreid mogelijke dataset te ontwikkelen over de impact van onze omgeving op de gezondheid.



## Inhoudsopgave deelrapport citizen science verkenning

**Nota:** onderstaande inhoudsopgave is een printscreen uit het autonome deelrapport. De nummering en paginanummers komen niet overeen met de nummering in dit document.

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SAMENVATTING</b> .....                                        | <b>2</b>  |
| <b>INHOUDSOPGAVE</b> .....                                       | <b>3</b>  |
| <b>1. INLEIDING</b> .....                                        | <b>4</b>  |
| <b>2. WAT IS CITIZEN SCIENCE?</b> .....                          | <b>6</b>  |
| 2.1. TWEE (HISTORISCHE) STREKKINGEN .....                        | 7         |
| 2.2. GROTE DIVERSITEIT AAN CITIZEN SCIENCE PROJECTEN .....       | 8         |
| 2.3. WAAROM CITIZEN SCIENCE? .....                               | 9         |
| 2.4. CITIZEN SCIENCE EN HET THEMA GEZONDHEID .....               | 11        |
| <b>3. IS HET VLAAMSE HBM-PROGRAMMA CITIZEN SCIENCE?</b> .....    | <b>13</b> |
| <b>4. AANPAK VAN DE VERKENNING</b> .....                         | <b>15</b> |
| <b>5. OPPORTUNITEITEN / GOEDE PRAKTIJKEN</b> .....               | <b>17</b> |
| 5.1. SELF-SAMPLING/ZELF STALEN NEMEN .....                       | 17        |
| 5.2. ZELF METEN/INSCHATTEN .....                                 | 20        |
| 5.3. ACTIEVE DEELNEMERSPARTICIPATIE .....                        | 25        |
| <b>6. UITDAGINGEN</b> .....                                      | <b>29</b> |
| 6.1. CONTINUÏTEIT VAN HET VLAAMSE HBM-PROGRAMMA .....            | 29        |
| 6.2. DATAKWALITEIT .....                                         | 29        |
| 6.3. REPRESENTATIVITEIT EN INCLUSIVITEIT .....                   | 30        |
| 6.4. JONGEREN ALS DOELGROEP .....                                | 31        |
| 6.5. DATABESCHERMING, PRIVACY EN DATASHARING .....               | 32        |
| 6.6. COMMUNICATIE / STORYTELLING .....                           | 33        |
| 6.7. LOGISTIEK EN DATAGOVERNANCE .....                           | 34        |
| <b>7. OPTIES/SCENARIO'S VOOR HET VLAAMSE HBM-PROGRAMMA</b> ..... | <b>35</b> |
| <b>REFERENTIES</b> .....                                         | <b>40</b> |

### 2.2.2 Inleiding

De populariteit van ‘**citizen science**’ (of burgerwetenschap) is de laatste jaren sterk toegenomen. Enkele recente en succesvolle citizen science projecten zoals Airbezen en CurieuzeNeuzen, beide met een focus op luchtkwaliteit, hebben de term ook in Vlaanderen een brede bekendheid gegeven. Maar ook rond heel wat andere onderwerpen zijn de voorbije jaren citizen science projecten ontstaan (zie [www.iedereenwetenschapper.be](http://www.iedereenwetenschapper.be) voor een uitgebreid overzicht). Meer recent in de gezondheidssfeer kreeg het ISALA-project veel belangstelling, mede dankzij een originele insteek en een goed uitgedachte communicatiestrategie.

Citizen science is dan ook een beloftevolle onderzoeksmethode, onder meer om wetenschap dichter bij de burgers te brengen, maatschappelijke impact te genereren en beleidsverandering te ondersteunen. Maar uiteraard ook om nieuwe kennis te genereren en vele helpende handen en de soms frisse kijk van burgers in te zetten voor wetenschappelijk onderzoek. Overheden op diverse beleidsniveaus zijn daarom mee op de kar gesprongen en maken budgetten vrij om citizen science te ondersteunen. In Vlaanderen werd in 2017 een Vlaams expertisecentrum voor citizen science opgericht (Scivil) en worden sindsdien regelmatig oproepen gelanceerd voor projectfinanciering door het Departement Wetenschapsbeleid en Innovatie (EWI). Op Europees niveau werd citizen science opgenomen als onderdeel van de ‘Open Science Strategie’ van de Europese Commissie (European Commission, 2016).

Ook vele bestaande initiatieven of onderzoeksmethoden, vaak met een lange voorgeschiedenis, zoals bijvoorbeeld vogelteldagen georganiseerd door natuurorganisaties of participatief (actie)onderzoek in de sociale wetenschappen, herkennen zich (geheel of gedeeltelijk) in deze citizen science beweging. Of ze vinden er inspiratie in om de betrokkenheid van burgers bij het eigen onderzoek te vergroten. Zo ook het Steunpunt Milieu en Gezondheid, een interdisciplinair onderzoekconsortium dat sinds 2001 verantwoordelijk is voor het **Vlaamse Humane-biomonitoringsprogramma**, in opdracht van de Vlaamse overheid.

‘**Humane biomonitoring**’ (HBM) staat voor ‘meten in de mens’. Met periodieke meetcampagnes worden grote groepen burgers getest op de aanwezigheid van milieuvervuilende stoffen in o.a. bloed-, urine- en haarstalen. Deze gegevens worden vervolgens in verband gebracht met mogelijke gezondheidseffecten, kenmerken van de leefomgeving en relevante leef- en voedingsgewoonten. Hoewel HBM uiteraard onmogelijk is zonder deelname van vrijwillige burgers, beperkt de rol van deze burgers zich toch vaak tot het laten afnemen van lichaamsstalen en gezondheidsparameters en het invullen van uitgebreide vragenlijsten.

In het kader van deze onderzoekcampagnes werd sedert 2000 weliswaar een unieke ervaring opgebouwd met het terugkoppelen van individuele meetwaarden aan deelnemers (naast de algemene onderzoeksresultaten) en eveneens met deliberatieve procedures ter interpretatie van de groepsresultaten met belanghebbenden uit zowel de publieke als de private sfeer (fasenplanwerking). Een meer actieve betrokkenheid van deelnemers zelf bleef tot op heden beperkt tot enkele kleinere initiatieven en haalbaarheidsprojecten.

In dit rapport doen we verslag van een verkenning naar **toekomstige citizen science opportuniteiten voor het Vlaamse HBM-programma**. Op basis van een selectieve literatuurverkenning, online zoekwerk, enkele interviews met ervaringsdeskundigen in Vlaanderen en overleg binnen het Steunpunt-consortium zelf, proberen we na te gaan waar de kansen liggen voor een meer actieve deelnemersbetrokkenheid. Daarbij hebben we uiteraard ook aandacht voor de uitdagingen en randvoorwaarden. Tot slot formuleren we enkele opties of scenario’s voor de toekomst.



Het kan daarbij gaan over suggesties tot aanpassing of versterking van de algemene onderzoeksopzet uit het verleden, wat we de ‘HBM-kern’ noemen, die vooral in functie van de continuïteit en vergelijkbaarheid van de ‘Vlaamse referentiecampaagnes’ doorheen de tijd belangrijk is om te behouden. Maar evengoed kan het gaan over ‘geënte’ of aanvullende initiatieven die de uitgebreide HBM-ervaring in Vlaanderen verder kunnen verrijken. We hebben daarbij zowel aandacht voor nieuwe technologieën en meetmethoden die door de deelnemers zelf kunnen worden toegepast (uitbesteding van de dataverzameling), als voor interactieve werkvormen die ook de kritische reflectie en inzichten van de burgers zelf trachten te versterken (samenwerking en deliberatie).

Vooraleer in te gaan op de opportuniteiten, uitdagingen en opties voor de toekomst, bespreken we eerst wat we verstaan onder citizen science, of we de Vlaamse HBM-campaagnes reeds kunnen zien als een vorm van citizen science en hoe we deze verkenning hebben aangepakt.

### 2.2.3 Wat is Citizen Science?

**“Citizen science: Scientific work undertaken by members of the general public, often in collaboration with or under the direction of professional scientists and scientific institutions.”**

(Oxford English Dictionary, 2014)

Parallel met de toegenomen populariteit van citizen science, is de voorbije jaren ook fel gediscussieerd over wat wél en wat niet citizen science is. En wat de kwaliteitseisen zijn die gewaarborgd moeten worden in functie van de professionalisering en de legitimiteit van het vakgebied (Robinson et al., 2018; Heigl et al., 2020; Eitzel et al., 2017). Enerzijds zijn er daarbij voorstanders van een zo breed mogelijke definitie, om niemand uit te sluiten in een domein dat nog in volle ontwikkeling is. Anderzijds zijn er duidelijke pogingen om af te lijnen en te bepalen aan welke voorwaarden kwaliteitsvolle citizen science moet voldoen (zoals de ‘10 Principles of Citizen Science’, zie kader)

Een brede basisdefinitie waar vaak naar wordt verwezen, is die uit de Oxford English Dictionary (OED) (zie kader). Deze definitie, die overigens maar vrij recent werd opgenomen in de OED (2014), stelt dat het in wezen gaat over burgers die aan wetenschap doen. Een gelijkaardige definitie vinden we terug in ‘*Citizen Science – Hoe burgers de wetenschap uitdagen*’ van Gijssels, Huyse en Van Hoyweghen (2019) en ook voor Scivil, het Vlaamse expertisecentrum voor citizen science, is de cruciale vraag: “*Gaat het om projecten of initiatieven waarin burgers taken uitvoeren die anders of doorgaans door professionele wetenschappers zouden worden uitgevoerd?*” (J. Van Laer, persoonlijke communicatie, 28 oktober 2021).

Het kan daarbij gaan over uiteenlopende taken, die geheel of gedeeltelijk door de burgerwetenschappers worden uitgevoerd. Vaak gaat het over dataverzameling, maar evengoed kunnen burgers (helpen bij) het formuleren van onderzoeksvragen, het uitwerken van een onderzoeksplan, het analyseren en interpreteren van de onderzoeksgegevens, communiceren over het onderzoek, of mee nadenken over doorwerking van de resultaten naar het beleid en de praktijk. De definitie uit de OED wordt vooral geprezen omwille van de openheid die ze biedt voor uiteenlopende projecten en types activiteiten (Haklay, 2014). De voornaamste kritiek is echter dat ze vooral focust op het instrumentele (burgers die helpen bij wetenschappelijk onderzoek) en geen rekenschap biedt van een tweede (historische) strekking die citizen science vooral ziet als een democratisering van de wetenschap. Wetenschap is er niet enkel door, maar ook vóór de burgers, gericht op diens noden en bezorgdheden (Eitzel et al., 2017; Cooper & Lewenstein, 2016). Zie ook volgende paragraaf.





### 2.2.3.1 Twee (historische) strekkingen

Hoewel burgerbetrokkenheid bij onderzoek een veel langere geschiedenis kent (zie bv. een historische verkenning in Gijssels, Huyse & Van Hoyweghen, 2019), worden de historische wortels van de term citizen science doorgaans teruggebracht tot twee auteurs, die de term ongeveer gelijktijdig maar onafhankelijk van elkaar gingen gebruiken (Haklay et al., 2021).

Een eerste auteur is de Britse milieusocioloog **Alan Irwin**, die in 1995 een boek uitbracht met de titel *'Citizen Science: a Study of People, Expertise and Sustainable Development'*. In dit werk hield Irwin een pleidooi om de wetenschap (terug) meer in lijn te brengen met de noden en bezorgdheden van burgers en de samenleving, i.t.t. bijvoorbeeld economische of militaire belangen. In dat opzicht zag hij het noodzakelijk om burgers actiever te betrekken bij de wetenschap en ook de lokale en contextuele kennis en ervaring van burgers beter te benutten in het proces van kennisproductie. Deze vorm van citizen science wordt ook wel *'participatory citizen science'* of *'democratic citizen science'* genoemd (Cooper & Lewenstein, 2016) en heeft veel overeenkomsten met concepten als (community based) participatory research, actieonderzoek, of popular epidemiology, waarbij de onderzoeksagenda in belangrijke mate gedreven wordt door participatieve actie.

Een tweede historische strekking gaat terug tot de Amerikaanse bioloog **Rick Bonney**, die de term sinds 1996 gebruikte om activiteiten te beschrijven van het Cornell Lab of Ornithology, waarbij grote groepen vrijwillige burgers eigen natuurobservaties delen met wetenschappers, zoals bijvoorbeeld vogeltellingen of observaties van soorten. Deze vorm van citizen science wordt ook wel *'contributory citizen science'* of *'participatieve datacollectie'* genoemd (Cooper & Lewenstein, 2016). Of ook *'crowdsourcing'*, hoewel die term pas sinds 2006 zijn intrede deed (Eitzel et al., 2017). Mede dankzij het internet en mobiele technologie, en dankzij media-aandacht voor dit type grootschalige projecten, is deze vorm van citizen science snel het dominante beeld geworden.

Beide historische strekkingen klinken ook vandaag nog sterk door in de wetenschappelijke literatuur en discussies over citizen science. Niet zozeer als een zwart/wit onderscheid, maar als twee visies op citizen science, die elkaar aanvullen.



Figuur 4: Twee 'grondleggers' van de term citizen science (Bonney, 2016; Irwin, 2015)



### 2.2.3.2 Grote diversiteit aan citizen science projecten

Intussen is de diversiteit aan citizen science projecten enorm toegenomen, zowel in Vlaanderen als internationaal. Burgers helpen bij het meten van luchtkwaliteit en geluidsoverlast, brengen de leefbaarheid van hun straat in kaart, digitaliseren oude archieven, classificeren ruimtebeelden, planten soja in hun tuin of geven wekelijks informatie over hun gezondheidstoestand om de verspreiding van infecties in kaart te brengen (zie [www.iedereenwetenschapper.be](http://www.iedereenwetenschapper.be) voor een uitgebreid overzicht).

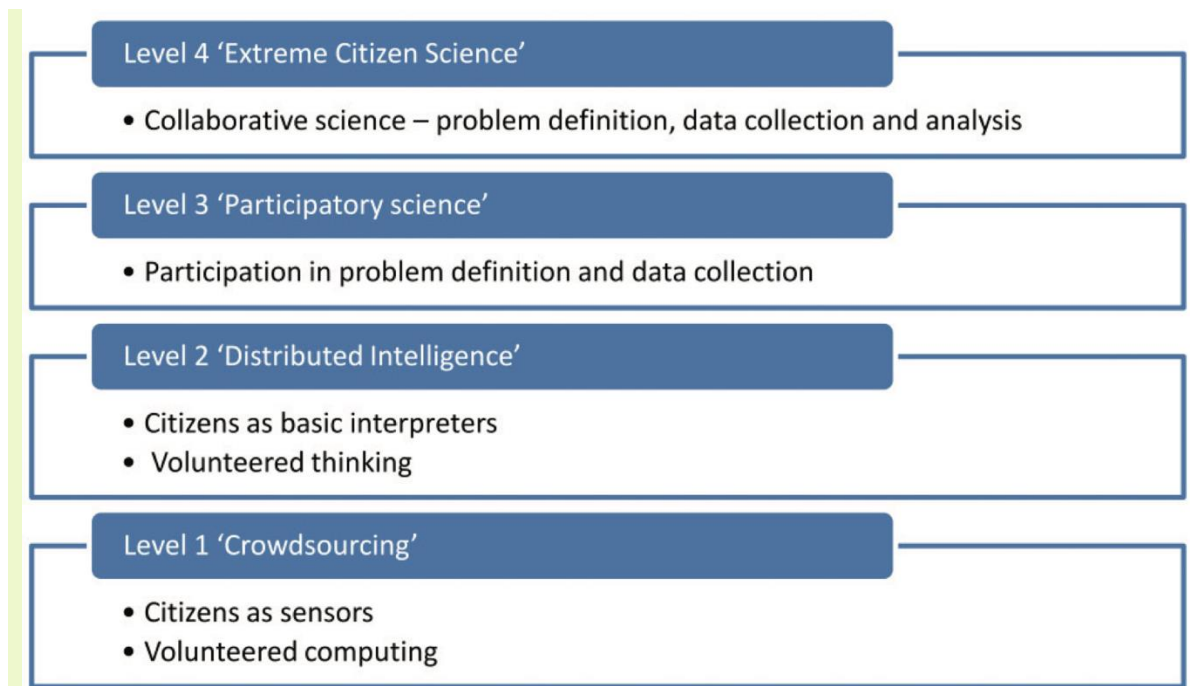
De grote meerderheid van de citizen science projecten werden geïnitieerd door wetenschappers, waarbij burgers helpen bij de dataverzameling (contributory projects). En vaak gaat het over projecten rond biodiversiteit, ecologie of milieu (Hecker, Garbe & Bonn, 2018; EC, 2013; Roy et al., 2012; Bonney et al., 2009). Maar ook in andere vakgebieden neemt de populariteit van citizen science toe. En soms nemen burgers zelf het initiatief (ook wel *'bottom-up'* of *'grassroot citizen science'* genoemd). Deze initiatieven worden echter niet altijd expliciet als dusdanig bestempeld en worden ook minder vaak beschreven in de wetenschappelijke literatuur. Het recente initiatief in Zwijndrecht waarbij burgers zelf bloedstalen laten analyseren op de aanwezigheid van PFAS zouden we bijvoorbeeld kunnen bestempelen als *'grassroot citizen science'*. Ook het Airbezen project – in zekere zin de voorganger van CurieuzeNeuzen – wordt vaak aangehaald als een initiatief dat van onderuit werd bedacht, door burgers samen met wetenschappers, in het kader van 'Stadslab 2050' in Antwerpen.

#### Citizen science typologieën

De voorbije jaren werden verschillende reviewartikels en typologieën gepubliceerd in een poging om overzicht te creëren in de snel evoluerende wereld van citizen science. Sommige publicaties maken een onderscheid naar omvang, onderwerp of doelstelling van citizen science projecten (EC, 2013).

Verder wordt vaak onderscheid gemaakt op basis van de initiatiefnemer. Een gekende driedeling is die tussen: **'contributory project'** (top-down, geïnitieerd door wetenschappers of overheden), **'community-driven'** (waarbij burgers het initiatief nemen) en **'co-created'** (waarbij het initiatief een resultaat is van samenwerking tussen burgers en wetenschappers) (Bonney et al., 2009; Roy et al., 2012; Shirk et al., 2012).

De best gekende typologie is wellicht die van Muki Haklay (University College London), waarin onderscheid wordt gemaakt op basis van het participatieniveau van citizen science projecten, zie Figuur 5 (Haklay, 2013). De auteur benadrukt daarbij nadrukkelijk het belang van de verschillende types citizen science, zonder normatieve insteek: méér participatie is niet noodzakelijk beter dan minder participatie. De verschillende types zijn complementair aan elkaar en spreken vaak ook een ander doelpubliek aan.



Figuur 5: participatory levels of citizen science (Haklay, 2013)

#### 2.2.4 Waarom Citizen Science?

“Wetenschap heeft altijd nood aan een verfrissende, nieuwe manier van denken. Citizen Science is zo’n nieuwe manier”

Uit: Citizen Science - Hoe burgers de wetenschap uitdagen (Gijssels, Huyse & Van Hoyweghen, 2019)

Ook de redenen om aan citizen science te doen zijn divers en de balans tussen **wetenschappelijke, educatieve, maatschappelijke** en **beleidsdoelstellingen** varieert tussen projecten (Kieslinger et al, 2018).

Sommige projecten zijn vooral uit op het verzamelen van grote hoeveelheden data, in de tijd of in de ruimte. Andere projecten zijn veeleer gericht op sensibilisering, educatie of maatschappelijk debat. Of ze willen beroep doen op de kennis en ervaringsdeskundigheid van burgers om nieuwe inzichten te genereren en de maatschappelijke relevantie van het onderzoek te vergroten. Zeker in een lokale context, of wanneer het gaat over (de invloed van) gedrag en levensstijl is de kennis van burgers vaak cruciaal.

Ook de burgers zelf zijn steeds meer vragende partij om betrokken te worden bij wetenschappelijk onderzoek. Ze stellen zich vragen over allerhande onderwerpen, willen de regie over het eigen leven en de eigen gezondheid mee in handen nemen, of zien het als een maatschappelijk of sociaal engagement om bij te dragen tot wetenschappelijk onderzoek (Gijssels, Huyse & Van Hoyweghen, 2019).

Verder wordt citizen science vaak in verband gebracht met het vergroten van de wetenschappelijke geletterdheid van burgers en inzicht in de werking van wetenschappelijk onderzoek, het herstellen van vertrouwen in de wetenschap, maatschappelijke impact van onderzoek en het stimuleren van beleidsverandering. Maar deze impacts zijn in de praktijk maar weinig onderzocht (Hecker, Garbe & Bonn, 2018b).



Waar enerzijds de ambities en verwachtingen ten aanzien van citizen science groot zijn, bestaat er anderzijds ook bezorgdheid over een té instrumentele insteek (waarbij burgers enkel worden ingezet als gratis arbeidskracht) en zelfs misbruik van de (persoonlijke) gegevens van burgerwetenschappers. Verschillende auteurs roepen daarom op om voldoende aandacht te besteden aan de **meerwaarde(n) voor, en verwachtingen van de burgers zelf**. Bv. door het onderzoek voldoende actiegericht te maken, of tijdig overleg met beleidsmakers te organiseren met het oog op beleidsdoorwerking (Hecker et al., 2018b; Nascimento et al., 2018). Als burgers zich engageren voor onderzoek, willen ze immers dat er achteraf iets gebeurt met de bevindingen.

Deze – en andere – bezorgdheden liggen mee aan de basis van de ‘10 principles of citizen science’ van de European Citizen Science Association (zie kader) en vinden o.a. hun neerslag in principe 3: dat zowel wetenschappers als burgers baat moeten hebben bij hun deelname. Maar ook in principe 4: dat burgerwetenschappers idealiter – indien zij dat wensen – kunnen bijdragen aan verschillende fasen van het onderzoek. Op die manier vergroot immers de kans dat de bezorgdheden en verwachtingen van de burgers doorheen het hele onderzoeksproces worden meegenomen (Haklay, 2018). Of ook interdisciplinaire samenwerking in citizen science projecten, met samenwerking tussen sociale- en exacte wetenschappen, wordt gesuggereerd om voldoende reflexiviteit te organiseren rond o.a. ethische overwegingen (Mahr et al., 2018).

#### **10 principles of Citizen Science (ECSA, 2015)**

Met het oog op het bevorderen van excellentie in citizen science onderzoek, werden – in het kader van de **European Citizen Science Association (ECSA)** en na een uitgebreid consultatieproces bij ECSA leden – 10 universele principes geformuleerd door een panel van internationale experts uit diverse vakgebieden. Deze principes zijn beschikbaar in 26 talen. Voor een meer uitgebreide omschrijving zie Robinson et al., 2018.

1. **Citizen science projecten betrekken burgers actief bij wetenschappelijk onderzoek dat nieuwe kennis of inzichten oplevert.** *Burgers kunnen fungeren als: bijdragers, medewerkers of projectleiders en hebben een betekenisvolle rol in het project.*
2. **Citizen science projecten leiden tot een echt wetenschappelijk resultaat.** *Bijvoorbeeld het beantwoorden van een onderzoeksvraag of het informeren over maatregelen voor natuurbehoud, over beleidsbeslissingen of over het milieubeleid.*
3. **Zowel de professionele wetenschappers als de burgerwetenschappers hebben baat bij hun deelname.** *Voordelen kunnen zijn: de publicatie van onderzoeksresultaten, mogelijkheden om bij te leren, persoonlijk plezier, voordelen op sociaal vlak, tevredenheid dat men bijdraagt aan wetenschappelijk bewijs voor bv. lokale, nationale en internationale kwesties en, daardoor, mogelijk het beleid kan beïnvloeden.*
4. **Burgerwetenschappers kunnen, als ze dat willen, deelnemen aan verschillende fasen van het wetenschappelijk proces.** *Dit kan onder meer het formuleren van de onderzoeksvraag zijn, het uitwerken van de methode, het verzamelen en analyseren van data en het communiceren over de resultaten*
5. **Burgerwetenschappers krijgen feedback vanuit en over het project.** *Bijvoorbeeld hoe hun gegevens worden gebruikt, wat de onderzoekresultaten zijn en de eventuele gevolgen voor beleid of maatschappij.*



6. **Burgerwetenschap wordt beschouwd als een onderzoeksaanpak zoals elke andere, met beperkingen en risico's op fouten, waar rekening mee moet worden gehouden en waarvoor moet worden gecontroleerd.**

*In tegenstelling tot de traditionele onderzoeksaanpak biedt citizen science kansen op een grotere betrokkenheid van het publiek bij de wetenschap en op de democratisering van de wetenschap.*

7. **Data en metadata van citizen science-projecten worden openbaar ter beschikking gesteld en indien mogelijk worden de resultaten open access gepubliceerd.** *Het delen van data gebeurt tijdens of na het project, tenzij dit omwille van de veiligheid of de privacy niet kan.*

8. **Burgerwetenschappers krijgen erkenning in de projectresultaten en publicaties.**

9. **Citizen science programma's worden geëvalueerd op hun wetenschappelijke output, kwaliteit van de data, ervaring van de deelnemers en op hun bredere impact op de maatschappij of het beleid.**

10. **De projectleiders van citizen science-projecten houden rekening met juridische en ethische kwesties aangaande copyrights, intellectuele eigendom, overeenkomsten voor het delen van data, vertrouwelijkheid, erkenningen en de milieueffecten van alle activiteiten.**

### 2.2.5 Citizen Science en het thema Gezondheid

Hoewel gezondheid op het eerste zicht een ideaal onderwerp lijkt voor citizen science, omdat het dicht aanleunt bij de persoonlijke levenssfeer en er een grote maatschappelijke interesse is in alles wat met gezondheid te maken heeft, blijkt uit de praktijk dat er relatief weinig voorbeelden te vinden zijn van citizen science projecten in de medische- en gezondheidssfeer (ECSA, n.d.; Den Broeder, 2017) en in de milieu-epidemiologie (Froeling et al., 2021). Anderzijds kent burgerparticipatie wel een lange traditie in die onderzoeksgebieden, met o.a. gekende praktijken als *'patient and public involvement in research'* (PPI), *'community based participatory research'* (CBPR), *'popular epidemiology'*, *'participatory health-impact assessment'*, enz. Maar die ervaring vertaalt zich voorlopig niet in het aanbod citizen science projecten.

Ook bij Scivil merkt men enerzijds een grote belangstelling vanuit het gezondheidsonderzoek voor citizen science, maar stelt men tevens vast dat heel wat projectideeën en voorstellen niet tot in de uitvoeringsfase geraken (J. Van Laer, persoonlijke communicatie, 28 oktober 2021). Enerzijds heeft dat wellicht een historische oorzaak. Citizen science is nu eenmaal ontstaan en tot ontwikkeling gekomen in andere vakgebieden (zoals ecologie, milieuonderzoek en astrologie). Anderzijds lijken er toch ook enkele drempels te bestaan die sterker spelen in het gezondheidsonderzoek.

Volgens de werkgroep *'Citizen Science for Health'* van het ECSA, opgericht in 2020 met als doel citizen science te promoten in het gezondheidsonderzoek, zijn er vier belangrijke drempels (ECSA, 2020), met name:

- Strengere **ethische voorwaarden** en *'consent mechanismen'*, gebaseerd op het klassieke model van de klinische of bio-ethiek (zie hierover ook Wiggins & Wilbanks, 2019).
- Burgers zijn in gezondheidsonderzoek behalve potentiële burgerwetenschappers meestal ook de **'research subjects'** (het onderwerp van het onderzoek), waardoor het onderscheid tussen klassiek gezondheidsonderzoek en citizen science gezondheidsonderzoek vervaagt en sneller de vraag wordt gesteld of de bijdrage van de burgers in het onderzoek wel voldoende is om te gelden als citizen science.



- De **datakwaliteit** staat sneller ter discussie, enerzijds omdat het belang van kwalitatieve gezondheidsinformatie hoog wordt ingeschat (het gaat immers over mensenlevens), maar ook door het risico op selectiebias doordat het doelpubliek van citizen science meestal niet representatief is voor de samenleving.
- En tot slot, een complexere stakeholderdynamiek en een grotere **terughoudendheid vanuit gezondheidsinstellingen** om citizen science te omarmen in vergelijking met andere vakgebieden. Wellicht ten gevolge van tradities in dit vakgebied en een klassieke kijk op de klinische ethiek, waarbij de focus sterk ligt op het beschermen van de privacy en het niet onnodig ongerust maken van burgers met medische informatie waarover nog veel onzekerheid bestaat.

Enkele van deze drempels komen ook later nog aan bod in hoofdstuk 2.2.9 (uitdagingen).

## 2.2.6 Is het Vlaamse HBM-programma citizen science?

Het is duidelijk dat er verschillende opvattingen en definities bestaan over citizen science, en sommige projecten die expliciet als dusdanig worden benoemd, zijn niet per sé méér citizen science dan de manier waarop de Vlaamse HBM-campagnes in het verleden werden opgezet. Er zijn diverse elementen in het Vlaamse HBM-programma die beantwoorden aan de citizen science criteria van ECSA (zie punt 2.3), maar daarnaast is er nog veel potentieel om de burgerbetrokkenheid uit te breiden.

### Welke elementen aligneren met citizen science?

- In elk geval is HBM-onderzoek niet mogelijk zonder deelname van vrijwillige burgers die een staal doneren en vragenlijsten beantwoorden. Burgerparticipatie is in dat opzicht essentieel.
- Deelname aan HBM-onderzoek is meer dan enkel het doneren van stalen. Deelnemers worden ondergedompeld in een onderwerp dat – in de meeste gevallen – nieuw voor hen is. Niet iedereen is er zich immers van bewust dat we in het dagelijkse leven worden blootgesteld aan heel wat chemische stoffen, en dat die chemische stoffen meetbaar zijn in ons lichaam. Deelnemers krijgen een introductie op het onderwerp, niet alleen met een brief en informatiefolder maar meestal ook tijdens een persoonlijke toelichting door een veldwerker, bv. in de klas of in de materniteit. Na toestemming voor deelname, volgt het veldwerk, dat ongeveer een uurtje duurt. Verschillende stalen en tests worden afgenomen (ademstaal, computertest, ...). En uitgebreide vragenlijsten moeten worden ingevuld. Op het einde van het onderzoek ontvangen de deelnemers (indien zij dat wensen) de eigen, individuele meetwaarden, voorzien van de nodige toelichting. Tegelijk krijgen ze tips om blootstelling te verminderen (handelingsperspectief), de mogelijkheid om individueel met een studiearts te spreken, en informatie over de conclusies en de beleidsdoorwerking van het onderzoek. Wellicht geven deelnemers dus meer betekenis aan hun deelname dan we zouden denken. Ze worden getriggerd om na te denken over het onderwerp en krijgen informatie om de eigen blootstelling aan chemische stoffen te beperken. Dit blijkt ook uit enkele evaluatiestudies (Morrens et al., 2021; Coertjens et al., 2015; Franken et al., 2020).
- In de vragenlijst wordt ook de perceptie en de beleving van de deelnemers zelf bevraagd, en in enkele (weliswaar beperkte) gevallen werden focusgesprekken georganiseerd met deelnemers in functie van de beleidsvertaling van onderzoeksresultaten. Tevens werden voor verschillende meetcampagnes extra inspanningen opgezet voor het betrekken van sociaal kwetsbare doelgroepen bij het onderzoek (o.a. via een buddysysteem in een geboortecampagne en ambassadeurs in scholen voor een jongerencampagne) (Morrens et al., 2017).



- In de recentste HBM-campagne (FLEHS IV, 2017-2018) werden enkele optionele citizen science elementen toegevoegd aan het onderzoek.  
Met name het meten van de luchtkwaliteit aan het slaapkamerraam, conform de meetmethoden van de CurieuzeNeuzen en Airbezen studies (met name NO<sub>2</sub> en magnetische fractie van fijn stof). En het nemen van foto's van het uitzicht op groen vanuit de woning. Ook in aanvullende onderzoeksprojecten na eerdere meetcampagnes werden door deelnemers milieustalen verzameld en bewaard (o.a. stofstalen, groenten, eieren).

### Waar kan verder op worden ingezet?

Het onderzoeksopzet, zoals dat doorheen de verschillende meetcampagnes gegroeid en verder geëvolueerd is voor de Vlaamse referentie biomonitoring, blijft toch vooral een top-down project waarin de individuele deelnemers in tegenstelling tot diverse stakeholders veeleer passief betrokken worden. Het zijn de wetenschappers, in samenspraak met de overheid en maatschappelijke stakeholders, die bepalen wat de onderzoeksvragen zijn, en het onderzoeksdesign en de instructies voor deelname bepalen. De deelnemers volgen de instructie op. Ook de interpretatie en communicatie van de resultaten is veeleer eenrichtingsverkeer.

In de humane biomonitoring in aandachtsgebieden was er doorgaans meer ruimte voor overleg van bij de start van de meetcampagne, tot en met de verdere interpretatie van de groepsresultaten voor beleidsvertaling. Ook daar ging het echter vooral over intermediaire groepen (lokale overlegplatforms, lokale besturen, artsen, bedrijven ...) die werden aangesproken voor overleg dan wel individuele deelnemers.

Dat is niet noodzakelijk anders in veel andere citizen science projecten die enkel inzetten op dataverzameling (crowdsourcing). Maar toch stellen verschillende auteurs dat het louter afstaan van lichaamsstalen en het invullen van vragenlijsten niet volstaat als citizen science (Robinson et al., 2018; Heigl et al., 2020; Eitzel et al., 2017). Overigens benoemden de onderzoekers van het Steunpunt Milieu en Gezondheid hun werk tot op heden ook niet als citizen science.

Om toch meer in die richting op te schuiven, kan enerzijds worden bekeken hoe de deelnemers zelf actiever kunnen **deelnemen aan de wetenschappelijke taken**, zoals het afbakenen van het onderzoek (Waar liggen de deelnemers van wakker? Welke vragen stellen zij zich?), het meten of in kaart brengen van relevante zaken die kunnen helpen bij het beantwoorden van onderzoeksvragen, of mee nadenken over de interpretatie van de onderzoeksresultaten.

Maar daarnaast is ook de **communicatie en de interactie met deelnemers** een belangrijk onderdeel van veel citizen science projecten: Hoe wordt het onderzoek in de markt gezet? Hoe worden deelnemers betrokken in dat verhaal? Zijn er voldoende gelegenheden voor interactie tussen burgers en de wetenschappers? Wordt een 'community' gevormd rond het onderzoek? En is de communicatie voldoende gedifferentieerd om een breed publiek aan te spreken? Deze elementen worden in dit rapport verder onderzocht.

## 2.2.7 Aanpak van de verkenning

In dit rapport doen we verslag van een verkenning naar **toekomstige citizen science opportuniteiten voor het Vlaamse HBM-programma**. Deze verkenning werd uitgevoerd in drie stappen.

### 2.2.7.1 Selectieve literatuurverkenning en online zoekwerk

De voorbije jaren werd enorm veel gepubliceerd over citizen science, zowel in Vlaanderen als internationaal. In 2016 werd specifiek een nieuw Journal opgericht: 'Citizen Science: Theory and Practice' (Bonney et al., 2016). Het heeft uitdrukkelijk als missie om te rapporteren over de praktijken van citizen science, en niet zozeer de inhoudelijke resultaten.



Ook in de ‘grijze literatuur’ (online en in de media) is veel informatie beschikbaar, over specifieke projecten of op overzicht-websites (zoals [www.iedereenwetenschapper.be](http://www.iedereenwetenschapper.be)).

Er is tevens een bloeiende internationale gemeenschap actief rond citizen science, in verschillende associaties die relatief recent werden opgericht (zoals ECSA in Europa, CSA in Noord-Amerika, verschillende nationale associaties en Scivil in Vlaanderen). In deze associaties zijn zowel wetenschappers als beleidsmakers, stakeholders en burgerwetenschappers actief en worden frequent Webinars, (online) workshops en werkgroepen georganiseerd, en ook handleidingen gepubliceerd.

In een selectieve verkenning van deze informatie werd enerzijds gezocht naar goede voorbeelden, inspiratie en opportuniteiten voor het Vlaamse HBM-programma. Anderzijds werd een overzicht gemaakt van de voornaamste uitdagingen en mogelijke knelpunten.

#### 2.2.7.2 Verkennende gesprekken met ervaringsdeskundigen in Vlaanderen

Eerste inzichten uit de literatuur en het online zoekwerk in functie van de Vlaamse HBM werden vervolgens besproken in enkele verkennende gesprekken met relevante betrokkenen en ervaringsdeskundigen in Vlaanderen. Behalve overleg met de **Werkgroep Citizen Science** binnen het project Milieu en Gezondheid zelf, werden in de tweede helft van 2021 gesprekken gevoerd met:

- **Karen Van Campenhout, Caroline Teughels, Maja Mampaey en Hans Reynders** (Vlaams Planbureau voor Omgeving en opdrachtgever project Milieu en Gezondheid).
- **Celien Van Gorp** (Vlaamse Milieumaatschappij, coördinator project Zuivere Lucht) en **Raf Verbruggen** (Stad Antwerpen, organisator Living Labs project Zuivere Lucht).
- **Sam De Craemer** (VIB/KULeuven, werkte voordien voor Curieuzeneuzen/UAntwerpen en het Steunpunt Milieu en Gezondheid)
- **Jef Van Laer en Annelies Duerinckx** (Scivil)

Verder werd ook deelgenomen aan enkele **Scivil workshops** (10/05/2021 en 30/11/2021) en een meeting van de **ECSA werkgroep Citizen Science for Health** (11/11/2021).

#### 2.2.7.3 Concrete scenario's/opties voor het Vlaamse HBM-programma

Op basis van de voorgaande stappen werden enkele concrete opties voor het Vlaamse HBM-programma geformuleerd en voorgelegd ter bespreking binnen het project Milieu en Gezondheid (Dagelijks Bestuur en Stuurgroep).

#### 2.2.7.4 Inhoudelijke afbakening

In deze verkenning werd specifiek toegespitst op opportuniteiten en uitdagingen voor het Vlaamse HBM-programma. Er werd dus telkens nagedacht over de relevantie voor de eigen onderzoekspraktijk en historiek, zoals die zich sinds 2001 ontwikkelde in (tot nu toe) vier opeenvolgende meetcampagnes (FLEHS I, II, III en IV). Uniek daarbij is enerzijds de positionering op het snijvlak tussen milieu en gezondheid, alsook het interdisciplinaire en transdisciplinaire karakter van het onderzoek, dat ook niet-wetenschappelijke kennis of expertise betreft.

### 2.2.8 Opportuniteiten / Goede praktijken

Op basis van bestaande goede praktijken en beloftevolle ontwikkelingen voor de toekomst zien we citizen science opportuniteiten voor het Vlaamse HBM-programma op minstens drie fronten: met name: **self-sampling** (deelnemers die zelf stalen nemen – humane of omgevingsstalen), **zelf meten** (het gaat dan vooral over verklarende factoren voor interne blootstelling, maar ook gezondheidsparameters en beleving) en **participatie** (het creëren van een meer actieve betrokkenheid van deelnemers bij het onderzoek). Verder gaan er recent ook stemmen op om burgers meer zeggenschap te geven in het beheer van de eigen gezondheidsdata (ook ex-post, na afloop van het onderzoek). Daarover vermelden we enkele ontwikkelingen onder punt 5.3 over participatie.





In dit hoofdstuk geven we een breed overzicht van diverse opportuniteiten. Sommige opportuniteiten zullen combineerbaar zijn met de HBM-campagnes zoals die in het verleden werden opgezet, terwijl andere opportuniteiten een meer structurele aanpassing van de HBM-aanpak zouden vragen. We formuleren enkele meer concrete opties of scenario's voor de toekomst van het Vlaamse HBM-programma.

### 2.2.8.1 Self-sampling/zelf stalen nemen

#### *Humane stalen*

In het Vlaamse HBM-programma worden verschillende humane stalen afgenomen door een gespecialiseerd team van veldwerkers (PIH, provincie Antwerpen), met name **bloed**, **urine**<sup>2</sup>, **haar**, **moedermelk**<sup>2</sup>, **uitgeademde lucht** en uitzonderlijk ook **nagels**. Sommige van die stalen zouden in principe door de deelnemers zelf verzameld kunnen worden, zonder tussenkomst van de veldwerkers. Dit heeft als potentieel voordeel dat een grotere hoeveelheid stalen verzameld kan worden op een kortere tijd en op een arbeidsefficiënte manier. De totale hoeveelheid bloed die nodig is voor de analyse-behoefte van het Vlaamse HBM-programma kan onmogelijk worden afgenomen zonder tussenkomst van een verpleegkundige of een arts, en voor sommige metingen moet de staalafname gebeuren in gecontroleerde en gespecialiseerde omstandigheden om risico op contaminatie van de stalen te vermijden. Maar voor een beperkte set aan metingen is self-sampling eventueel wel een optie. Voor het Vlaams Darmflora Project wordt aan deelnemers gevraagd om zelf een stoelgangstaal te nemen en op te sturen. Deelnemers worden daarnaast ook gevraagd om een bezoek te brengen aan de huisarts voor een bloedafname, het invullen van een medische vragenlijst en het afnemen van enkele parameters zoals buikomtrek en bloeddruk.

Een voorbeeld van een dergelijk HBM-project is de '**Detox Me Action Kit**' van het Silent Spring Institute (VS), in dit onderzoek werden tien chemische stoffen gemeten in een self-sampling urinestaal<sup>2</sup> (zie kader). Ook het recente **ISALA project** (UAntwerpen) en het Vlaams Darmflora Project (VIB-KULeuven) kunnen inspiratie bieden. In het ISALA project verzamelden duizenden vrouwen '**swaps**' van de huid, vagina en/of speeksel met als doel het vrouwelijke microbiom beter in kaart te brengen. Aanvankelijk werden 200 deelnemers gezocht, maar door een massale respons (meer dan 5000 geïnteresseerden) werd het onderzoek uitgebreid. Uiteindelijk werden bij 3332 vrouwen swaps verzameld via self-sampling kits die verstuurd werden met de post. Voor het Vlaams Darmflora Project wordt aan deelnemers gevraagd om zelf een stoelgangstaal te nemen en op te sturen. Deelnemers worden daarnaast ook gevraagd om een bezoek te brengen aan de huisarts voor een bloedafname, het invullen van een medische vragenlijst en het afnemen van enkele parameters zoals buikomtrek en bloeddruk.

Verder zijn er ook commerciële initiatieven die gebruik maken van self-sampling. Zoals **Letsgetchecked.com** (US/UK), waar tegen betaling meer dan 30 verschillende '**home health tests**' worden aangeboden. Voor sommige van die testen moet zelf een bloed- of urinestaal worden afgenomen. Ook DNA-onderzoek maakt gebruik van self-sampling speekselswaps, zoals het citizen science project '**de GEN-iale stamboom**' (KULeuven), of commerciële '**direct-to-consumer health information platforms**' zoals **23AndMe**, dat intussen honderdduizenden DNA-stalen verzamelde in ruil voor afstammings- en gezondheidsinformatie.

---

<sup>2</sup> Het afnemen van een urinestaal of een staal moedermelk gebeurt natuurlijk meestal door de deelnemers zelf en valt dus onder de noemer 'self-sampling'. De mate waarin self-sampling aanzien wordt als citizen science is dus mede afhankelijk van het bredere project en het bredere verhaal waarbinnen het kadert. Het toont opnieuw aan dat het onderscheid tussen wat wél en wat niet citizen science is, vaak moeilijk te maken is (zie hierover ook hoofdstuk 2.4 en hoofdstuk 3). Toch bestaat er ook consensus over enkele principes waaraan citizen science projecten idealiter voldoen (zie 10 principles of Citizen Science)

Tot slot wordt ook geëxperimenteerd met methoden zoals de ‘**dried blood spot**’, waarbij enkele drupjes bloed op een kaartje volstaan voor chemische analyse (Barr et al., 2021), met innovatieve **microfluidics chips** voor sampling van bloed (zie kader), of ‘**Volumetric Absorptive Microsampling**’ (VAMS®), die bv. wordt gebruikt voor het meten van mycotoxins in bloed (Vidal et al., 2021). Of burgers organiseren zelf een **bloedafname via de eigen huisarts**, zoals recent gebeurde in Zwijndrecht n.a.v. ongerustheid over PFAS-blootstelling.

### Detox Me Action Kit (SSI, VS)

Voor dit HBM-onderzoek werd gebruik gemaakt van een **self-sampling urinestaal**. 800 burgers lieten hun urinestaal analyseren op de aanwezigheid van tien veelvoorkomende chemische stoffen in alledaagse huishoudproducten. De deelnemers ontvingen hun persoonlijke resultaten via een smartphone app die ook informatie geeft over hoe men blootstelling aan deze stoffen kan verminderen.

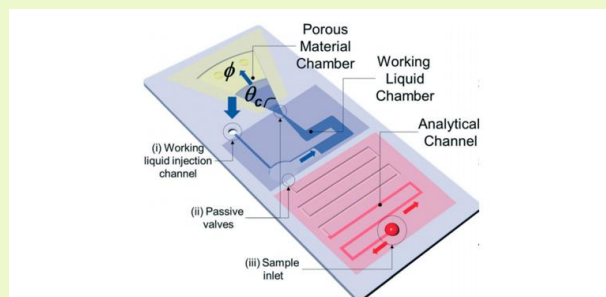
Dit onderzoek werd opgezet door het Silent Spring Institute (SSI), een non-profit onderzoeksinstituut in de VS. Deelname aan deze studie was betalend (\$399 per action kit), desondanks vond het SSI in een mum van tijd 800 geïnteresseerde deelnemers. Voor de selectie van biomerkers werd gezocht naar stoffen die met éénzelfde analysemethode gemeten konden worden, om kosten en analysetijd te besparen.



Figuur 6: Detox Me Action Kit (Silent Spring Institute) - <https://www.silentspring.org/detoxmeactionkit/>

### ‘Lab-on-a-chip’ technologie (VITO)

Momenteel wordt ook volop geëxperimenteerd met nieuwe technologieën voor sampling en analyse. O.a. door VITO wordt onderzocht of ‘**microfluidics chips**’ een meerwaarde kunnen bieden in HBM-onderzoek. Deze technologie zou het mogelijk kunnen maken om milieupolluenten te meten in enkele druppels bloed gecollecteerd op een chip (bv. met een vingerprik). Het bloed wordt vervolgens ‘binnengezogen’ in de chip, waar meteen enkele extractiestappen plaatsvinden. De chip moet wel nog naar een labo voor analyse, maar het maakt de staalafname en analyse een stuk eenvoudiger. Deze technologie zou o.a. kunnen worden toegepast om PFAS te meten (Mao & Wang, 2015).



Figuur 7: SIMPLE technology integrated in microfluidic chips and its working principle (Kokalj et al., 2014)

### 2.2.8.2 Milieu- of omgevingsstalen

Ook milieu- of omgevingsstalen kunnen in sommige gevallen door burgers zelf verzameld worden. Denk aan een **bodemstaal** (zie bv. CurieuzeNeuzen in de tuin), **waterstalen** (oppervlaktewater, putwater, drinkwater) of **groenten** uit de moestuin. Of voor huisstof kunnen metingen worden uitgevoerd in een stofzuigerzak. Voor de meeste van deze staalafnames zijn uitgewerkte protocollen beschikbaar. In HBM-onderzoek kunnen analyses van milieustalen helpen om interne blootstelling te verklaren, of eventueel ex-ante worden ingezet voor de selectie van de uiteindelijke steekproef voor HBM-onderzoek.

Zeker voor studies met deelnemers verspreid over een grotere regio kan self-sampling verplaatsingskosten voor veldwerkers uitsparen. Nog meer in het geval van milieu- of omgevingsstalen, aangezien de veldwerkers daarvoor vaak op elk thuisadres moeten langsgaan. Voor sommige stoffen (bv. PFAS) is er echter een risico op contaminatie (bv. via kledij, cosmetica, materialen die gebruikt worden voor de staalafname).

Ook de passieve samplers die gebruikt worden in studies als CurieuzeNeuzen (de 'NO2 buisjes') zijn een vorm van self-sampling. De effectieve meting wordt immers uitgevoerd in een labo. En ook voor andere milieupolluenten zijn dergelijke passieve samplers in ontwikkeling, o.a. voor PAK's, vlamvertragers, pesticiden, ftalaten, enz. Reeds verschillende experimenten werden uitgevoerd met dergelijke passieve samplers op draagbare voorwerpen zoals siliconen polsbandjes om de externe blootstelling aan milieupolluenten via de lucht of huidcontact op een dynamische manier in kaart te brengen (Wang et al., 2020). Deze technieken worden beschouwd als een potentieel belangrijke innovatie in functie van milieugezondheids- en exposoom onderzoek (Fuentes et al., 2022).

### 2.2.8.3 Zelf meten/inschatten

De **chemische analyses** van de humane stalen (bloed, urine, ...) kunnen in de meeste gevallen niet worden uitbesteed aan burgers. De meeste analyses moeten worden uitgevoerd in gecontroleerde omstandigheden in een labo. Voor heel wat merkers gaat het bovendien over gespecialiseerde labo's en erkenningen of keurmerken voor metingen. Op dat vlak is er dus anderzijds nog potentieel voor innovatie. Denk aan enkele standaard klinische metingen die wel al door burgers zelf kunnen worden uitgevoerd, zoals strips om bloedsuiker te meten of een zwangerschapstest.

Burgerwetenschappers kunnen wel helpen bij het meten of in kaart brengen van verschillende factoren die relevant zijn voor het **verklaren van de gemeten blootstellingsmerkers**, en bij het meten of in kaart brengen van **gezondheidsgegevens** (bv. via vragenlijsten, gezondheidsapps of het dragen van wearables). Ook de subjectieve **beleving** van de eigen leefomgeving, levensstijl, mentaal welbevinden en gezondheid kunnen relevant zijn voor onderzoek en op dat vlak zijn uiteraard de deelnemers zelf de grootste experts.



Tabel 11: Wat kunnen burgers zelf meten?

| Zelf meten of in kaart brengen van...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Voorbeelden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Luchtkwaliteit</b></p> <p>Wellicht de best gekende meting die wordt uitgevoerd in diverse citizen science projecten. Intussen zijn er verschillende technologieën beschikbaar: passieve NO<sub>2</sub> samplers (eenmalige meting, analyse in labo), actieve optische sensoren voor fijn stof (continue, real-time meting, met display of online dashboard), draagbare sensoren (voor dynamische metingen, bv. fietsroutes), biologische samplers (bv. aardbeiplantjes, voor meting magnetische fractie van fijn stof), ...</p> <p>De meeste van deze technologieën zijn vrij beschikbaar op de markt, zowel 'ready-to-use' en soms ook in zelfbouw. Verschillende optische sensoren voor het meten van fijn stof, ozon en NO<sub>2</sub> werden getest en vergeleken in het VAQUUMS project (VMM e.a.).</p>  | <p><a href="#">CurieuzeNeuzen</a><br/> <a href="#">Airbezen</a><br/> <a href="#">Luchtpijp</a> (zelfbouw)<br/> <a href="#">Zuivere Lucht</a><br/> <a href="#">VAQUUMS</a><br/> <a href="#">Air Quality Egg</a> (educatief)</p> <p>...</p> <p><i>Nota: in projecten als CurieuzeNeuzen en Airbezen worden de effectieve metingen uitgevoerd in een labo. Eigenlijk gaat het hier dus ook over 'self-sampling' methoden, en niet zelf meten.</i></p> |
| <p><b>Geluidsoverlast</b></p> <p>Het meten van geluid is mogelijk met behulp van decibelmeter (ook beschikbaar in zelfbouw) of met smartphone apps. Goede kalibratie van de meetapparatuur is echter aanbevolen.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p><a href="#">Klankentappers / Hackable City of Things</a><br/> <a href="#">Making Sense project</a> (o.a. Plaça del Sol, case study Barcelona)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p><b>Geur</b></p> <p>Geuroverlast is niet objectief meetbaar en ook afhankelijk van subjectieve beleving. Toch zijn er enkele citizen science projecten die hiermee aan de slag gaan via subjectieve rapportering.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p><a href="#">D-NOSES</a><br/> <a href="#">Royal Docks Noise Mapping</a></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <p><b>Water</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p><a href="#">WaterSNIP</a></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p><b>Binnenmilieu</b></p> <p>In opdracht van het Vlaamse Planbureau voor Omgeving werd een '<a href="#">indoor sensorbox</a>' ontwikkeld. Deze meet fijn stof, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, TVOS, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid en kunnen (voorlopig in beperkt aantal) ter beschikking worden gesteld voor onderzoek. Verschillende andere sensorboxen zijn beschikbaar op de markt.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p><a href="#">Indoor sensorbox</a><br/> <a href="#">Woonmeter</a><br/> <a href="#">LUCIR</a> (Harley et al, 2021)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

| Zelf meten of in kaart brengen van...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Voorbeelden                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Andere voorbeelden, maar niet citizen science:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> meters in opmars sinds corona (als maat voor goede ventilatie)</li> <li>- <a href="#">Woonmeter</a> (luchtvochtigheid, ifv sensibilisering kwetsbare doelgroepen over belang van ventileren. Door lokale besturen en sociale huisvestingsmaatschappijen</li> </ul>                                                                                                                     |                                                                                                                                                             |
| <p><b>Bodem en biodiversiteit</b></p> <p>Protocollen voor self-sampling van een bodemstaal zijn beschikbaar. Metingen worden in de meeste gevallen echter uitgevoerd in een professioneel labo.</p> <p>Verder zijn er heel wat citizen science projecten rond biodiversiteit. In Vlaanderen is het bijvoorbeeld Mijn Tuinlab, en het project '<a href="#">Meetnetten</a>' brengt prioritaire plant- en diersoorten in Vlaanderen in kaart (door o.a. Natuurpunt, in opdracht van INBO en ANB). Deze gegevens worden gebruikt voor het opvolgen van Europese natuurdoelstellingen.</p> | <p><a href="#">CurieuzeNeuzen in de Tuin</a><br/> <a href="#">Mijn Tuinlab</a><br/> <a href="#">Meetnetten</a><br/> <a href="#">Tekennet</a></p> <p>...</p> |
| <p><b>(Groene) ruimte</b></p> <p>Verskillende methoden voor 'participatieve mapping', 'community maps', enz. zijn beschikbaar. O.a. met behulp van een smartphone-camera en geo-software kunnen burgers hun omgeving zelf in kaart brengen en beoordelen.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p><a href="#">Mapping for Change</a></p> <p>...</p>                                                                                                        |
| <p><b>Verkeer</b></p> <p>Verkeerstellingen kunnen manueel of automatisch worden uitgevoerd. Dit gebeurt vaak in combinatie met luchtmetingen. De verkeerstellingen van het project Straatvinken worden gebruikt om de 'modal-shift' doelstellingen van de Stad Antwerpen op te volgen.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p><a href="#">Telraam</a><br/> <a href="#">Straatvinken</a></p> <p>...</p>                                                                                 |
| <p><b>Straling (bv. gamma- of elektromagnetische straling)</b></p> <p>In het project Safecast worden metingen van radioactiviteit met geigertellers online op kaart ter beschikking gesteld (cases o.a. in Harrisburg en Fukushima). In sommige regio's zoals Fukushima worden deze gegevens gebruikt door burgers als alternatief voor officiële veiligheidsperimeters van de overheid.</p> <p>Technologie voor het meten van elektromagnetische straling (o.a. voor telefonie) is beschikbaar, maar tevens nog in volle ontwikkeling.</p>                                           | <p><a href="#">Safecast</a></p> <p>...</p>                                                                                                                  |



| Zelf meten of in kaart brengen van...                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Voorbeelden                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Voeding</b><br>Bv. met behulp van voedingsapp's zoals FoodProfiler.                                                                                                                                                                                                                                                            | <a href="#">FoodProfiler</a>                                                            |
| <b>Gezondheid</b><br>Heel wat e-health en m-Health toepassingen zijn reeds beschikbaar, o.a. in de vorm van wearables die fysiologische signalen meten (stress, hartslag, huidgeleiding) en gezondheidsapps. Het effectieve gebruik van deze toepassingen in o.a. de mentale gezondheidszorg is echter nog in volle ontwikkeling. | <a href="#">10 000 stappen (Gezond Leven)</a><br><a href="#">Mindstretch app</a><br>... |
| <b>Persoonlijke leefomgeving en levenssfeer</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <a href="#">Straat-o-sfeer</a>                                                          |

Deze verschillende metingen zouden kunnen worden uitgevoerd door burgerwetenschappers in het kader van het Vlaamse HBM-programma, in functie van specifieke onderzoeksvragen. In sommige gevallen kunnen de burgerwetenschappers er ook voor kiezen om de eigen meetwaarden (bijkomend en optioneel) te delen in publieke netwerken of platformen, in functie van andere doeleinden. Zoals [sensor.community](#) (in dit internationale netwerk worden o.a. PM<sub>10</sub>-; PM<sub>2,5</sub>- en geluidsmetingen gedeeld en publiek beschikbaar gesteld). Een Vlaamse afgeleide daarvan werd ontwikkeld door de Vlaams Milieumaatschappij (VMM) op: <https://www.samenvoorzuiverelucht.eu/dataportaal/>. Op dit portaal worden naast meetresultaten van burgersensoren ook de meetwaarden van de officiële meetposten van VMM weergegeven. Een ander voorbeeld is [OpenStreetMap.org](#) voor kaartgegevens.

Behalve het meten van allerhande zaken is ook steeds de vraag welke **data-infrastructuur** nodig is om de gegevens te verzamelen, samen te voegen in een database en indien gewenst terug ter beschikking te stellen aan de deelnemers zelf (bv. in een dataportaal). Zeker voor continue metingen is dat een hele uitdaging (zie ook hoofdstuk 2.2.9). Voor meer institutionele initiatiefnemers is het voordeel vaak de 'low-cost sensing'.

#### 2.2.8.4 Actieve deelnemersparticipatie

Een derde citizen science front voor het Vlaamse HBM-programma is actieve deelnemers-participatie die verder gaat dan enkel dataverzameling. Volgens vele experts een essentieel onderdeel om de potentiële meerwaarden van citizen science – voor de wetenschap, de burgers, de samenleving en het beleid – meer ten volle te kunnen benutten (zie hoofdstuk 2.2.3).

Op die manier kunnen ook de **kritische reflectie** en **inzichten van burgers** zelf worden aangesproken (bijvoorbeeld voor het formuleren van relevante onderzoeksvragen, of interpretatie van meetgegevens in functie van de eigen leefwereld en sociale context), of kunnen burgers **op andere manieren bijdragen aan het onderzoek**, zoals (helpen bij) het rekruteren van deelnemers, communicatie of het bedenken en opzetten van actie in navolging van de resultaten. Actieve deelnemersparticipatie in citizen science kan echter vele vormen aannemen, van 'micro-engagement' tot 'deep engagement over time' (Haklay, 2018).

Eenzijds kan vanuit het onderzoeksproces zelf openheid gecreëerd worden voor burger-participatie. In de context van citizen science wordt dergelijk participatief onderzoek vaak benoemd als '**citizen labs**' of '**living labs**'. Zo werden bijvoorbeeld in het kader van het [project Zuivere Lucht](#) living labs georganiseerd in Antwerpse lagere scholen (zie kader).



Een ander voorbeeld is het TOPFIT Citizenlab van de Universiteit Twente, waarin burgers, wetenschappers en ontwikkelaars samen aan oplossingen werken in de sfeer van gezondheid en maatschappelijk welzijn (zie o.a. het 'Citizenlab Grip Op Diabetes'). Een derde voorbeeld is het Making Sense project, waarin verschillende participatieve cases en een toolkit werden ontwikkeld rond technologieën voor 'participatory sensing' (vooral met focus op luchtkwaliteit, geluidsoverlast en stedelijke omgeving), met tevens aandacht voor de 'sensemaking'/beleving van de burgers zelf en het ontwerpen van actie.

### Project Zuivere Lucht – Living labs in Antwerpse scholen

In dit project, gecoördineerd door de Vlaamse Milieumaatschappij, werden verschillende lokale experimenten rond luchtkwaliteit opgezet, in scholen en kinderopvang. De focus lag daarbij enerzijds op het meten (en ook zuiveren) van de luchtkwaliteit, maar ook op bewustwording, participatie en het uitwerken van acties.

In samenwerking met de stad Antwerpen werden enkele living labs opgezet in Antwerpse scholen. Sommige klassen experimenteerden met zelfbouw-technologie voor fijnstof-meters, in andere scholen werden verkeerstellingen en luchtmetingen uitgevoerd aan de schoolpoort, werd de lucht in klaslokalen gemonitord, of werden fietsroutes in kaart gebracht met meetfietsen. Het 'samen meten' werd als aanleiding gebruikt om het thema bespreekbaar te maken op school en acties te ontwerpen, zoals een Schoolstraat, een buitenklas, verluchten van de klaslokalen en schooluitstappen met de step i.p.v. de bus. De ervaringen werden gebundeld in een [filmpje op www.samenvoorzuiverelucht.eu](http://www.samenvoorzuiverelucht.eu)



Figuur 8: Living labs rond luchtkwaliteit in Antwerpse scholen ([www.samenvoorzuiverelucht.eu](http://www.samenvoorzuiverelucht.eu))

Een ander type participatieve citizen science ontstaat van onderuit, waar burgers zelf het initiatief nemen. Enkele voorbeelden zijn i) het oorspronkelijke CurieuzeNeuzen, dat ontstond in de schoot van de burgerbeweging Ringland in Antwerpen, ii) het Brusselse Mijn lucht, mijn school van enkele middenveldorganisaties en burgerbewegingen, of iii) het recente initiatief van enkele Zwijndrechtse burgers om zelf bloedstalen te laten analyseren op de aanwezigheid van PFOS. Deze projecten hebben meestal een duidelijke activistische insteek.

Een ander type-voorbeeld zijn patiëntengroeperingen die persoonlijke gezondheidsdata en eigen ervaringen delen en ter beschikking stellen aan de wetenschap, zoals het internationale PatientsLikeMe (opgericht in 2004, met intussen meer dan 800.000 leden wereldwijd die informatie delen over meer dan 2.900 gezondheidscondities), of het Nederlandse Mijn data / Onze Gezondheid, die ijveren voor een coöperatief beheer van gezondheidsgegevens. Op die manier zouden burgers, via een burgercoöperatie, meer zeggenschap kunnen krijgen over het beheer van hun gegevens in hun persoonlijke medische dossiers, maar dus ook impulsen geven voor wetenschappelijk onderzoek. En gelijkaardige initiatieven bestaan ook in Vlaanderen, met o.a. het We-Are-Health project (een partnerschap tussen VITO, Domus Medica, Zorgnet Icuuro, de Koning Boudewijnstichting en het Vlaams patiëntenplatform).



Dit doet tevens denken aan een Italiaanse case (Fondazione Bioteca di Sarroch), waar burgers het beheer over een biobank zelf in handen kregen (met hun eigen reststalen uit een lokaal HBM-onderzoek)(Biggeri & Tallacchini, 2018).

Deze bottom-up citizen science initiatieven raken sterk aan onderzoekstradities als ‘*Community-based participatory research*’ en ‘*popular epidemiology*’, waarin geëngageerde wetenschappers samen met lokale gemeenschappen onderzoek voeren, vaak in de context van milieuactivisme en ‘*environmental justice*’ cases (Brown, 1997; Leung, Yen & Minkler, 2004). Een voorbeeld daarvan is het LUCIR-project met jongeren uit een Amerikaanse latinogemeenschap (zie kader).

Het aantal burgers dat actief wordt betrokken in participatieve projecten is meestal veel kleiner dan het aantal burgers dat bereikt wordt met grootschalige crowdsourcing projecten. Maar beide kunnen uiteraard ook gecombineerd worden in eenzelfde project en elkaar versterken. Haklay (2018) wijst verder op het feit dat de sociale diversiteit van actief participerende burgers gemiddeld gezien nog schever verdeeld is dan deelname aan crowdsourcing projecten. Tenzij actief op zoek gegaan wordt naar specifieke doelgroepen en daarvoor de nodige inspanningen worden gedaan. Zie ook hoofdstuk 2.2.9.1 over inclusiviteit.

### LUCIR study – ‘Youth Participatory Action Research’

In de ‘*Lifting Up Communities with Interventions and Research*’ (LUCIR) Study ontwikkelden een groep jongeren een rugzakje met meetapparatuur waarmee tientallen vluchtige stoffen gemeten konden worden die o.a. voorkomen in schoonmaakproducten. Met dat rugzakje werden verschillend experimenten uitgevoerd, zoals een vergelijking tussen een half uurtje schoonmaken met conventionele- versus ecologische schoonmaakproducten. De jongeren stonden tevens in voor de interpretatie en communicatie van de onderzoeksresultaten en formuleerden aanbevelingen voor het beleid, de industrie en retailsector.



Figuur 9: leden van de CHAMACOS Youth Council meten blootstelling aan chemische stoffen in schoonmaakproducten – LUCIR study (afbeelding van: Nicole, 2021)



Het onderzoek werd ondersteund door wetenschappers van het 'Center for Environmental Research and Children's Health' (UC Berkeley, California), maar werd volledig bedacht en uitgevoerd door jongeren actief in een lokale jeugdraad in Salinas (CA), een landelijke gemeenschap in de VS.

*"Youth Council members identified exposure to cleaning product chemicals as an important environmental health concern because of the large number of Latina women working as cleaners and because of the cultural importance of house cleaning in their families and community."* (Harley et al, 2021)

Het onderzoek wordt omschreven als een voorbeeld van 'Youth Participatory Action Research', een variant van het bekendere 'Community Based Participatory Research', en heeft expliciet als doel om jongeren in maatschappelijk kwetsbare posities de kennis en vaardigheden in handen te geven om de eigen leefomstandigheden te verbeteren door individuele en collectieve actie ('youth empowerment') (Harley et al, 2021; Nicole, 2021).

## 2.2.9 Uitdagingen

Behalve opportuniteiten zijn er uiteraard ook uitdagingen verbonden aan citizen science, en specifiek voor deze verkenning eventueel ook risico's bij een aanpassing van de bestaande HBM-onderzoeksopzet uit het verleden. In dit hoofdstuk bespreken we de voornaamste uitdagingen.

### 2.2.9.1 Continuïteit van het Vlaamse HBM-programma

Sinds 2001 werden vier cycli van het Vlaamse HBM-programma uitgevoerd, en dus groeit er een zekere 'padafhankelijkheid' in het programma. In de eerste plaats zijn er kwaliteitscriteria en procedures voor goede praktijk waaraan minimaal voldaan moet worden. Verder is er de eigen opgebouwde routine en ervaring in Vlaanderen, in de hele onderzoekscyclus. Tot slot zijn er elementen die bewaard moeten worden in functie van het sociaal kapitaal ervan zoals het opvolgen van tijdstrends voor chemische blootstelling en uitwisseling met internationale initiatieven. Eventuele aanpassingen aan het onderzoeksdesign, bv. de doelgroep, biomerkerselectie, methoden voor rekrutering, sampling, analyse, enz., moeten dus steeds goed overwogen worden. Dit maakt dat een volledige ommezwaai naar een grootschalig citizen science programma wellicht niet aan de orde is.

Tegelijk vormt die 'harde HBM-kern' ook uitdagingen voor geënte of aanvullende citizen science elementen, zoals:

- De lange doorlooptijd van het onderzoek (doorgaans 2 á 3 jaar tussen rekrutering en communicatie van de resultaten) maakt het moeilijk om deelnemers tussendoor geëngageerd te houden.
- De gerichte rekruteringsaanpak beperkt het aantal potentieel geïnteresseerden voor bijkomende onderzoeksvragen (i.t.t. een 'open call').
- Het grote aantal biomerkers zorgt voor extra complexiteit in het veldwerk, de analyse en de communicatie.

Bij geënte initiatieven is het dus wellicht aan te bevelen om een zekere onafhankelijkheid of 'ontkoppeling' te voorzien van de HBM-kern, minimaal in de planning en de communicatie.

### 2.2.9.2 Datakwaliteit

Datakwaliteit en erkenning van de wetenschappelijke meerwaarde van citizen science data is één van de meest bediscussieerde thema's in de citizen science literatuur, o.a. door potentiële bias, onnauwkeurigheid of belangenconflicten (Guerrini et al, 2018; Brenton, 2020). Niet onbegrijpelijk, want het bereiken van een wetenschappelijk resultaat is wat citizen science onderscheidt van louter educatieve projecten of andere vormen van burgerparticipatie (Robinson et al., 2018).



Belangrijke maatregelen om de datakwaliteit te verbeteren zijn goede kalibratie van meetapparatuur, gebruik van zuivere recipiënten, duidelijke instructies en ondersteuning, opleiding waar nodig, en kwaliteitscontrole van de dataset (EC, 2013).

Anderzijds geldt ook voor conventioneel wetenschappelijk onderzoek dat aandacht voor datakwaliteit noodzakelijk is en dat indien nodig maatregelen moeten worden genomen om die datakwaliteit te bewaken. In dat opzicht stelt principe 6 van ECSA's 10 principes of citizen science, dat *“Burgerwetenschap wordt beschouwd als een onderzoeksaanpak zoals elke andere, met beperkingen en risico's op fouten, waar rekening mee moet worden gehouden en waarvoor moet worden gecontroleerd”*.

Belangrijker is echter de **'fitness for use'** (Brenton, 2020) en het goed documenteren van de oorspronkelijke doelstelling en meetmethoden in de metadata, zodat ook achteraf nog kan worden ingeschat voor welk hergebruik de data in aanmerking komen (Williams et al., 2018). Feit is wel dat citizen science data, o.a. door twijfel over de kwaliteit, niet of slechts zelden worden gebruikt voor formele wetenschappelijke of wettelijke doeleinden (zoals het toetsen van normoverschrijding, uitdrukkelijke surveillance of beleidsevaluatie) (ibid.; De Craemer; 2020).



Figuur 10: kalibratie decibelometers, zelfbouw (links) en smartphone app (rechts) (RIVM)

### 2.2.9.3 Representativiteit en inclusiviteit

Hoewel citizen science vaak geassocieerd wordt met het openstellen van de wetenschap voor (alle) burgers, blijkt uit de praktijk dat citizen science – net als de wetenschap in het algemeen – kampt met een participatieprobleem. Gemiddeld gezien zijn het vooral hoger-opgeleiden, autochtonen en oudere leeftijdsgroepen die participeren in citizen science projecten (Haklay, 2018; Soleri et al., 2016). En die scheve vertegenwoordiging is vaak nog groter bij taken of projecten die een meer intensieve betrokkenheid vragen (Haklay, 2018). Dit vormt enerzijds een probleem voor de representativiteit van het onderzoek, wat zeker in het geval van gezondheidsonderzoek vragen doet rijzen over de kwaliteit van de bevindingen. Anderzijds leidt het ertoe dat de individuele en maatschappelijke voordelen van burgerwetenschap ongelijk terecht komen in de samenleving en op die manier bestaande ongelijkheden bestendigen.

Een participatieve (citizen science) aanpak heeft anderzijds ook de potentie om doelgroepen aan te spreken die doorgaans ondervetegenwoordigd blijven in onderzoek. Oprechte aandacht voor de noden en bezorgdheden van de doelgroep zelf en flexibiliteit in het onderzoeksdesign zijn daarbij essentieel. In de wetenschappelijke literatuur zijn verschillende goede voorbeelden beschreven (zie o.a. Peltota & Arpin, 2018; Wallerstein et al., 2017; Den Broeder et al., 2017b), maar ook in de context van het Vlaamse HBM-programma werd reeds relevante ervaring opgebouwd (Morrens et al., 2017; Morrens et al., 2018). Eigen aan deze voorbeelden is echter dat ze telkens gericht zijn op een specifieke (sociaal kwetsbare of ondervetegenwoordigde) doelgroep.



Elke doelgroep vraagt immers vaak om een aangepaste aanpak. Een (citizen science) project dat wil inzetten op een brede representativiteit zal in zijn communicatie dus aandacht moeten hebben voor een diversiteit aan publieken, waarvoor gerichte communicatie- en rekruteringsinitiatieven moeten worden opgezet (Soleri et al., 2016).

#### 2.2.9.4 Jongeren als doelgroep

Tot op heden werd in het Vlaamse HBM-programma vooral continuïteit opgebouwd rond jongeren als doelgroep (14-15 jarigen, 3<sup>e</sup> jaar secundair onderwijs). Eén van de redenen hiervoor is dat de rekrutering en het veldwerk kan verlopen via (random geselecteerde) scholen, wat enkele opportuniteiten biedt, maar ook uitdagingen. Zo blijkt in de praktijk dat scholen en leerkrachten vaak overbevraagd zijn, waardoor het jaar na jaar moeilijker wordt om scholen te motiveren voor deelname. Ook jongeren zelf zijn niet altijd intrinsiek geïnteresseerd in wetenschap. Het aanbod om deel te kunnen nemen aan een citizen science project biedt misschien een piste om de motivatie van zowel leerkrachten als leerlingen te verbeteren?

Citizen science heeft immers veel potentie als educatieve tool (Harlin et al., 2018), om bij te leren over een bepaald onderwerp, maar ook over de wetenschappelijke praktijk zelf. De ervaring om bij te dragen tot een echt wetenschappelijk project kan bovendien de interesse van leerlingen in wetenschap en in maatschappelijk engagement aanmoedigen (ibid.). De adolescentie wordt bovendien beschouwd als een levensfase waarin authentieke ervaringen een groot effect kunnen hebben op de identiteitsontwikkeling en burgerschap (Nolan et al, 2021). De voordelen voor wetenschappers zijn dat scholen een groot aantal deelnemers kunnen aanleveren en dat leerkrachten kunnen fungeren als ‘teamleiders’. Voorwaarden voor succes zijn echter een goede ondersteuning van de leerkrachten en aansluiting bij de formele leerplannen (Harlin et al., 2018). Ook een meer structurele langetermijnsamenwerking tussen wetenschappers en leerkrachten (en het onderwijsbeleid) is een potentieel succesrecept (ibid).

Vooraf in niet-wetenschappelijke studierichtingen zal echter voldoende ondersteuning en flexibiliteit in het onderzoeksdesign noodzakelijk zijn om leerkrachten en leerlingen te kunnen motiveren. Voorbeelden als het URBEX project (zie kader) of het LUCIR onderzoek tonen wel aan dat het mogelijk is om ook jongeren te engageren die doorgaans moeilijker te bereiken zijn voor wetenschappelijk onderzoek.



### URBEX toolkit: URBan EXploration as a way of engaging disadvantaged young people

De URBEX toolkit werd ontwikkeld door 'Mapping for Change' (University College London). Onderstaande 'lessons learned' voor het betrekken van jongeren in sociaal kwetsbare posities zijn afgeleid uit praktijkervaring met deze toolkit (Stockwell, 2019):

- Find some common ground – what interests the young people and how can this fit with your agenda to increase and sustain interest.
- Be flexible and have a plan B – we cannot predict a lot of things, such as attendance
- Go to their space, not yours – do not expect young people to pay transport costs or travel out of their place of comfort or safety to attend a workshop.
- Work to their schedule, not yours – many of the young people were working / training or trying find work or a home – their availability is limited so hold evening/weekend workshops etc.
- Appreciate that priorities change according to life situations – finding a job or home takes priority over the project, as does family emergencies or mental health issues.
- Build mutual trust and respect – being young does not mean they have less experience or knowledge in particular subjects, especially urban life, so respect their contributions.
- Listen and be patient – some young people lack confidence and are not used to an educational or formal workshop setting so may take time to settle in or speak up in an interactive session.

#### 2.2.9.5 Databescherming, privacy en datasharing

In vele gevallen worden de data van citizen science projecten openbaar ter beschikking gesteld. Het gaat dan niet enkel over de wetenschappelijke resultaten, maar vaak ook over de ruwe data en metadata. Denk aan luchtkwaliteitsmetingen die worden gedeeld op een interactieve online kaart. Het is veeleer een principiële kwestie, omdat de data tot stand kwamen dankzij de hulp van vrijwillige burgers. En het is ook één van ECSA's 10 principles of citizen science (principe 7). Op die manier wordt het (her)gebruik van de data gestimuleerd en kunnen burgers ook zelf de data analyseren indien zij dat wensen.

Wanneer het gaat over persoons- en medische gegevens moet echter rekening gehouden worden met de regelgeving inzake databescherming (GDPR) en de ethische procedures zoals voorzien in de (bio)medische wetenschappen. Het openbaar ter beschikking stellen van data uit HBM-onderzoek is daarom geen evidentie en kan in elk geval alleen gebeuren op een geanonimiseerde manier. Dus ook zonder exacte locatiegegevens. Het uitzetten van resultaten op kaart kan dus enkel gebeuren op een voldoende geaggregeerde manier. In andere wetenschapsdomeinen (zoals de milieuwetenschappen en biologie) worden die principes duidelijk minder strikt toegepast (zie ook hoofdstuk 2.2.5 over 'citizen science en het thema gezondheid').

Deelnemers aan het Vlaamse HBM-programma ontvangen wel steeds de eigen individuele meetwaarden (indien zij dat wensen), maar het bespreekbaar maken van deze meetwaarden in groep (bv. in een focusgesprek of in klasverband) kan enkel gebeuren indien de deelnemers daar zelf de expliciete toestemming voor geven. Sommige citizen science scenario's voor het Vlaamse HBM-programma zullen wellicht om een aanpassing van de huidige 'informed consent' vragen.

Aangezien voor gezondheidsstudies zoals het Vlaamse HBM-programma steeds goedkeuring nodig is van een ethische commissie, is de aandacht voor aspecten als privacy en databescherming in deze context altijd gegarandeerd.



Daarnaast waken Data Protection Officers (DPO's) van de betrokken partners over het naleven van de GDPR-wetgeving, en voor sociaal-wetenschappelijke activiteiten zoals focusgesprekken met deelnemers is er ook de 'Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen (EA SHW)' van de UAntwerpen. Maar deze 'instanties' kunnen dus wel beperkingen opleggen wat betreft de mogelijkheden van citizen science activiteiten in het kader van dit onderzoek. Ethische commissies zijn bovendien vooral bezig met de bescherming van deelnemers als onderzoeksobject, en niet noodzakelijk als burgerwetenschappers, wat andere afweging van risico's en voordelen vraagt (Guerrini et al, 2018; Biggeri & Tallacchini, 2018; Saha and Hurbut, 2012). Eenzelfde probleem stelt zich voor 'community-based' studies, doordat ethische commissies vooral kijken naar de risico's en voordelen op het niveau van individuele deelnemers, en niet op het niveau van de gemeenschap (Brown, 2010). In sommige scenario's zal dus een dialoog noodzakelijk zijn met de instanties die instaan voor de ethische goedkeuring en databescherming.

#### 2.2.9.6 Communicatie / Storytelling

Goede communicatie is een essentieel onderdeel van elk citizen science project. Het is daarbij vooral belangrijk om een goed verhaal te bedenken dat aanspreekt en waarmee burgers zich kunnen vereenzelvigen. Maar het helpt ook om beleidsimpact te genereren. Een goed verhaal speelt veeleer in op de emotie dan op wetenschappelijke logica en tracht abstracte wetenschappelijke taal om te zetten naar een concreet narratief met maatschappelijke relevantie (Hecker et al., 2018c). De communicatie in citizen science projecten heeft daarom vaak iets activistisch (d.w.z. met de focus op maatschappelijke of politieke verandering). Een goed voorbeeld is het ISALA project (UAntwerpen), dat van abstract wetenschappelijk onderzoek naar het vrouwelijk microbiom een taboe doorbrekend emancipatorisch project wist te maken.

*"Gezocht: 200 vagina's om geschiedenis te schrijven"* was de aanvankelijke rekruteringslogan. En verder werd in de communicatie vooral ingezet op het doorbreken van het taboe rond vaginale gezondheid, met o.a. 'gespreksstarters' meegeleverd in elke onderzoekskit, een actieve blog en sociale media aanwezigheid, goed gekozen ambassadeurs, enz. De bewuste toon van hun communicatie wordt door de organisatoren beschreven als *'playful but serious'* (Ahannach, 2021).

Afhankelijk van het doelpubliek, is het ook aangewezen om geschikte communicatiepartners te betrekken. Voor het ISALA project werd bijvoorbeeld samengewerkt met vzw Sensoa (het Vlaams expertisecentrum voor seksuele gezondheid). Of voor de grootschalige ambities van CurieuzeNeuzen werd een partnerschap aangegaan met de krant De Standaard als media-partner. Ook voor het Vlaamse HBM-programma werd reeds samengewerkt met o.a. STAMP media (een 'jongerenmedia-agentschap') en vzw De Link (ervaringsdeskundigen in de armoede en sociale uitsluiting).

Maar communicatie is ook de interactie met de deelnemers na aanvang van het project, die nodig is om iedereen gemotiveerd te houden. Verschillende ervaringsdeskundigen die we spraken in het kader van deze verkenning wezen erop dat dit een niet te onderschatten tijdsinvestering vraagt. Het gaat dan o.a. over het beantwoorden van vragen van deelnemers (die overigens graag snel een antwoord krijgen), aanwezigheid op sociale media, enz.

#### 2.2.9.7 Logistiek, IT en datagovernance

Bepaalde types dataverzameling vereisen bovendien een ambitieuze logistieke organisatie, IT-infrastructuur en datagovernance-beleid. Projecten als CurieuzeNeuzen Vlaanderen rekenen bijvoorbeeld op een partnerschap met een pakjesbedrijf met afhaal- en inleverfilialen verspreid over heel Vlaanderen om de onderzoeksmaterialen te verspreiden onder de deelnemers en na afloop weer in te zamelen. Nog complexer wordt het bij gebruik van sensoren die continu of regelmatig metingen uitvoeren.



Om deze meetdata tot in een centrale database te krijgen, is ideeltier verbinding met een WiFi netwerk nodig, dat voor zijn stroomvoorziening en goed functioneren afhankelijk is van het lokale netwerk van de individuele deelnemers. Ook manuele registratie en rapportering door de burgerwetenschappers is een optie, maar vraagt volgehouden inspanningen van de betrokken burgers en vergroot de kans op fouten of uitval. Voor projecten als CurieuzeNeuzen in de Tuin wordt zelfs samengewerkt met een netwerkprovider. Via een simkaart in de grasdolk kan data via het mobiele netwerk van de provider centraal worden verzameld. Daarnaast ontvangen de deelnemers bij dit type meting ook graag de eigen meetdata, indien mogelijk in real time, bijvoorbeeld via een online dashboard, waarop de eigen meetwaarden vergeleken kunnen worden met bijvoorbeeld data van andere deelnemers.

### 2.2.10 Opties/Scenario's voor het Vlaamse HBM-programma

Het is duidelijk dat citizen science in volle ontwikkeling is en een frisse wind door het wetenschappelijke landschap laat waaien. Citizen science biedt niet enkel technologische vernieuwing en nieuwe mogelijkheden om méér, snellere of andere data te verzamelen. Het staat ook voor een democratisering en modernisering van de wetenschap, dichtbij de burgers en met de mogelijkheid om betere kennis te genereren over complexe problemen, maar ook maatschappelijk draagvlak te creëren voor het oplossen ervan.

In voorgaande hoofdstukken gaven we een uitgebreid overzicht van diverse citizen science projecten die als inspiratie kunnen dienen om de burgerbetrokkenheid bij het Vlaamse HBM-programma te vergroten. Evenals de uitdagingen daarbij. Maar welke opties of scenario's zien we nu voor de toekomst van het Vlaamse HBM-programma?

We voerden daarover enkele gesprekken met ervaringsdeskundigen in Vlaanderen (zie punt 2.2.7 voor een overzicht). Uit die gesprekken kwamen enkele duidelijke aanbevelingen naar boven, met name:

- **Bepaal eerst een duidelijke doelstelling.** Wat zijn de primaire redenen voor méér citizen science in het Vlaamse HBM-programma? – Schaalvergroting? Maatschappelijke impact? Het verrijken van de dataset? Educatie? Motiveren van scholen en jongeren om deel te nemen aan het onderzoek? Verbreden van de kennisbasis voor interpretatie van de onderzoeksresultaten? ... Afhankelijk van het antwoord op die vraag zal de gewenste aanpak danig verschillen.
- **Het hoeft niet noodzakelijk citizen science te zijn.** Het Vlaamse HBM-programma heeft eigen sterktes en afhankelijk van wat de doelstelling is, is een andere aanpak misschien beter geschikt. Bv. aangepaste communicatie, of het uitwerken van een aantrekkelijk educatief pakket voor scholen.
- **Speel zoveel als mogelijk in op de interesses en bezorgdheden van de burgers/ deelnemers zelf.** Burgers moeten de meerwaarde(n) voor zichzelf zien om gemotiveerd te blijven.
- **Creëer een duidelijk en aansprekend verhaal.**
- **Houd het laagdrempelig en eenvoudig.** En zelfs dan zijn duidelijke instructies en ondersteuning noodzakelijk om de kwaliteit van het geleverde werk te garanderen. Houd rekening met een aanzienlijk percentage uitval omwille van verschillende redenen (gebrek aan motivatie, slechte uitvoering van de dataverzameling, technische problemen, ...).
- **Beperk de doorlooptijd.** Idealiter enkele maanden tot maximaal één jaar. Langdurige betrokkenheid is heel moeilijk vol te houden, of enkel weggelegd voor een select publiek. Ook schoolprojecten lopen idealiter binnen eenzelfde schooljaar.
- **Houd rekening met intensieve opvolging, begeleiding en communicatie.**



Met deze aanbevelingen in het achterhoofd, en de opportuniteiten en uitdagingen zoals beschreven in voorgaande hoofdstukken, zien we enkele mogelijke opties voor de toekomst. Deze opties zijn vooral bedoeld als inspiratie en niet limitatief. Ongetwijfeld zijn ook andere opties of variaties denkbaar. We vertrekken daarvoor telkens vanuit een andere primaire doelstelling:

**Optie 1: Gerichte dataverzameling, met als primaire doelstelling: het verrijken van de FLEHS-databank in functie van een specifieke onderzoeksvraag**

- Extra dataverzameling als aanvulling op een referentiecampagne, idealiter bij dezelfde deelnemers (hoewel afhankelijk van de onderzoeksvraag).
- Primaire focus op wetenschappelijke onderbouwing en beleidsondersteuning.
- Reeds enkele voorbeelden in FLEHS IV: NO<sub>2</sub> buisjes aan de slaapkamerraam, foto's van uitzicht op groen, extra bevraging rond beleving groene ruimte, ...
- Vele opties (zie ook onder 2.2.8 Opportuniteiten, paragraaf "zelf meten/inschatten) maar best keuzes te maken. Een 'overload' aan extra dataverzameling en vereisten voor deelname kan de interesse en motivatie van deelnemers inperken. Ook bleek in het verleden dat de motivatie voor deelname aan optionele onderzoeks-elementen veeleer beperkt bleef.
- Specifieke communicatie en 'community building' mogelijk rond deze deelprojecten om de citizen science meerwaarden te vergroten (bewustwording, educatie, handelingsperspectief). De extra dataverzameling mag niet vrijblijvend zijn.
- Het bepalen van relevante onderzoeksvragen voor citizen science kan gebeuren door de onderzoekers (op basis van hypothesen afgeleid uit eerder onderzoek), of in dialoog met deelnemers (op basis van eigen vragen en bezorgdheden).
- Communicatie en timing van deze citizen science componenten kan (in zekere mate) 'ontkoppeld' worden van de referentiecampagnes, o.a. om een grotere flexibiliteit en beperking van de doorlooptijd mogelijk te maken.
- Focus op specifieke doelgroepen mogelijk (bv. socio-demografisch), afhankelijk van de onderzoeksvraag.

**Optie 2: Educatief/sensibiliserend project, met als primaire doelstelling: aanbod aan geïnteresseerde scholen of 'empowerment' van een specifieke doelgroep**

- Bv. STEM-project in klasverband, als aanbod aan geïnteresseerde scholen. In het verleden reeds belangstelling. Kan de motivatie van scholen versterken om deel te nemen aan het Vlaamse HBM-programma (die motivatie gaat er immers jaar na jaar op achteruit).
- Geen klassiek lespakket, maar engagement van enkele wetenschappers om met een klas in dialoog te gaan en samen een onderzoek op te zetten (bv. een experiment).
- Of maatschappelijk engagement t.a.v. een specifieke doelgroep of regio die (onevenredig) wordt blootgesteld aan een milieu-gezondheidsrisico.
- Empowerment = kennis en inzicht in handen geven om zelf mee aan de slag te gaan.
- Niet primair gefocust op wetenschappelijke innovatie (bv. representativiteit minder van tel).
- Wetenschappers krijgen wel een beter inzicht in de leefwereld van jongeren, wat tevens belangrijke inzichten kan opleveren voor beleidsonderbouwing en toekomstig wetenschappelijk onderzoek.
- Op termijn mogelijk evolutie richting meer structurele samenwerking met vaste leerkrachten.



Optie 3: Een autonoom citizen science project, met als primaire doelstelling: maatschappelijk debat op gang brengen en bewustwording van burgers en beleid.

- Type CurieuzeNeuzen, ISALA of Detox Me Action Kit
- Ambitie om een groot aantal deelnemers uit de algemene bevolking aan te spreken. Idealiter met een brede oproep tot deelname, zonder strikte leeftijdsgrenzen of andere exclusiecriteria.
- Beperkte set aan relevante biomerkers, bv. meetbaar in een self-sampling urinestaal, uit te voeren met één of enkele eenvoudige en goedkope analysemethode(n).
- Snelle verwerking van stalen aangewezen om de doorlooptijd van het project te beperken.
- Aanvullend op de self-sampling kunnen deelnemers eventueel betrokken worden bij de keuze van biomerkers en bij de interpretatie, terugkoppeling en communicatie van onderzoeksresultaten.
- Storytelling en communicatie van groot belang (bv. een mediapartner te betrekken bij de communicatie)
- Als alternatief of parallel aan Vlaamse referentiecampaagnes.
- Sturing mogelijk op vlak van geografische en socio-demografische representativiteit, tenminste bij grote interesse.

Optie 4: Een (extensief) ex<sup>2</sup>posoom project, met als primaire doelstelling: een uitgebreide en unieke dataset ontwikkelen om de impact van de leefomgeving op de gezondheid beter in kaart te brengen

- Grootschalig en ambitieus, naast interne blootstelling ook zoveel mogelijk andere aspecten van de persoonlijke leefomgeving in kaart brengen met als doel beter zicht te krijgen op de complexe relatie tussen omgeving en gezondheid. (Zie bv. het Vlaams Exposoom Project).
- Het Vlaamse HBM-programma kan op zich al gezien worden als een exposoom project. Met deze optie beogen we echter een meer uitgebreide variant (extensief, zo breed mogelijk), met actieve betrokkenheid en inspraak van de deelnemers zelf.
- Wetenschappelijk innovatief, à la 'the human genome project'.
- Collectief belang, maar ook individueel (cfr. personalised/precision/predictive medicine).
- Langetermijn engagement en inspraak deelnemers. Dus: specifiek type deelnemer, geëngageerd voor wetenschappelijke innovatie en bereid om daarvoor veel persoonlijke data af te staan. Initiatieven als PatientsLikeMe, 23andMe, Mijn data / Onze gezondheid, ... tonen aan dat burgers hiervoor te motiveren zijn, mits voldoende inspraak of een duidelijk persoonlijk belang (zie ook Saha & Hurlbut, 2012; Saha & Hurlbut, 2011).
- Een dergelijk 'dense knowledge network' is echter uitdagend mbt dataverwerking (o.a. IT infrastructuur en AI data mining).
- Ook het bereiken van voldoende sociale diversiteit zal wellicht een grote uitdaging zijn.
- Net zoals bij de voorgaande opties sluit deze piste nog steeds goed aan bij de kernmissie van humane biomonitoring. Het is best goed aan te sluiten bij de expertises van de onderzoekers en opdrachtgever(s).



## 2.2.11 Referenties

- Ahannach, S. (2021). Presentatie ISALA project op Press-Speak-Inspire UAntwerpen [geraadpleegd 04/06/2022: <https://www.uantwerpen.be/nl/onderzoek/wetenschap-voor-iedereen/onderzoekers/press-speak-inspire/>]
- Barr, D. B., Kannan, K., Cui, Y., Merrill, L., Petrick, L. M., Meeker, J. D., Fennell, T. R., & Faustman, E. M. (2021). The use of dried blood spots for characterizing children's exposure to organic environmental chemicals. *Environmental research*, 195, 110796. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110796>
- Biggeri, A., & Tallacchini, M. (2018). Information and Communication Technologies, Genes, and Peer-Production of Knowledge to Empower Citizens' Health. *Science and engineering ethics*, 24(3), 871–885. <https://doi.org/10.1007/s11948-015-9686-5>
- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R. , McCallie, E. , Phillips, T. , Shirk, J. and Wilderman, C. (2009). Public participation in scientific research: defining the field and assessing its potential for informal science education. A CAISE Inquiry Group Report. Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE), Washington, D.C., USA.
- Bonney, R., Cooper, C., & Ballard, H. (2016). The Theory and Practice of Citizen Science: Launching a New Journal. *Citizen Science: Theory and Practice*, 1(1), 1. DOI: <http://doi.org/10.5334/cstp.65>
- Brenton P., (2020). Approach to addressing Data Quality and Quality Assurance Processes. Blogpost Public Participation in Scientific Research. [geraadpleegd 10/01/2022: <https://core.citizenscience.org/blog/approach/>]
- Brown, P. (1997). Popular Epidemiology Revisited. *Current Sociology*, 45(3), 137–156. <https://doi.org/10.1177/001139297045003008>
- Brown, P., Morello-Frosch, R., Brody, J. G., Altman, R. G., Rudel, R. A., Senier, L., Pérez, C., & Simpson, R. (2010). Institutional review board challenges related to community-based participatory research on human exposure to environmental toxins: A case study. *Environmental Health*, 9(1), 1-12.
- Coertjens, D., Morrens, B., Paulussen, M., & Van de Mieroop, E. (2015). Deelnemersevaluatie humane biomonitoring jongerencampagnes Gentse Kanaalzone en Vlaanderen. *Steunpunt Milieu en Gezondheid*.
- Cooper, C.B. and Lewenstein, B.V. (2016). Two meanings of Citizen Science. In: Cavalier, D., (ed.), *The Rightful Place of Science: Citizen Science*. Tempe, AZ: Arizona State University Press, 51–62.
- De Craemer, S., Vercauteren, J., Fierens, F., Lefebvre, W., & Meysman, F. J. (2020). Using Large-Scale NO2 Data from Citizen Science for Air-Quality Compliance and Policy Support. *Environmental science & technology*, 54(18), 11070-11078.
- Den Broeder, L. (2017) Citizen Science for Health in all Policies, Engaging communities in knowledge development. Doctoraatsthesis, Vrije Universiteit Amsterdam. [geraadpleegd 10/01/2022: [https://www.publicatie-online.nl/files/2414/9969/2929/14659\\_-\\_Broeder\\_BNW\\_ONL.pdf](https://www.publicatie-online.nl/files/2414/9969/2929/14659_-_Broeder_BNW_ONL.pdf)]
- Den Broeder, L., Lemmens, L., Uysal, S., Kauw, K., Weekenborg, J., Schönenberger, M., ... Wagemakers, A. (2017b). Public Health Citizen Science; Perceived Impacts on Citizen Scientists: A Case Study in a Low-Income Neighbourhood in the Netherlands. *Citizen Science: Theory and Practice*, 2(1), 7. DOI: <http://doi.org/10.5334/cstp.89>
- EC (2013). Science for Environment Policy. Report produced for the European Commission DG Environment, Science Communication Unit, University of the West of England, Bristol. [geraadpleegd 10/01/2022: <http://ec.europa.eu/science-environment-policy>]
- ECSA (2015). Ten Principles of Citizen Science. European Citizen Science Association. Berlin. [geraadpleegd 10/01/2022: <http://doi.org/10.17605/OSF.IO/XPR2N>]
- ECSA (2020). Workshop on Enhancing Health through Citizen Science, European Citizen Science Association conference 2020. [geraadpleegd 10/01/2022: <https://www.ecsa-conference.eu/programme>]
- ECSA (n.d.). Working Group Citizen Science for Health [geraadpleegd 10/01/2022: <https://ecsa.citizen-science.net/working-groups/citizen-science-for-health/>]
- Eitzel, M. V., Cappadonna, J.L., Santos-Lang, C., Duerr, R.E., Virapongse, A., West, S.E., Kyba, C.C.M., Bowser, A., Cooper, C.B., Sforzi, A., Metcalfe, A.N., Harris, E.S., Thiel, M., Haklay, M., Ponciano, L., Roche, J., Ceccaroni, L., Shilling, F.M., Dörler, D., Heigl, F., Kiessling, T., Davis, B.Y. and Jiang, Q. (2017). Citizen Science Terminology Matters: Exploring Key Terms. *Citizen Science: Theory and Practice*, 2(1).
- European Commission (2016). Open Innovation, Open Science, Open to the World – A vision for Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [geraadpleegd 10/01/2022: [https://www.ewi-vlaanderen.be/sites/default/files/ec\\_open\\_innovation\\_open\\_science\\_0616.pdf](https://www.ewi-vlaanderen.be/sites/default/files/ec_open_innovation_open_science_0616.pdf)]
- Franken, C., Den Hond, E., Coertjens, D., Morrens, B., & Loots, I. (2020). Deelnemersevaluatie humane biomonitoring jongerencampagne 2016-2020. *Steunpunt Milieu en Gezondheid*.

- Froeling, F., Gignac, F., Hoek, G., Vermeulen, R., Nieuwenhuijsen, M., Ficorilli, A., De Marchi, B., Biggeri, A., Kocman, D., & Robinson, J. A. (2021). Narrative review of citizen science in environmental epidemiology: Setting the stage for co-created research projects in environmental epidemiology. *Environment International*, 152, 106470.
- Guerrini, C. J., Majumder, M. A., Lewellyn, M. J., & McGuire, A. L. (2018). Citizen science, public policy. *Science*, 361(6398), 134-136.
- Gijssels, L., Huyse, I., en Van Hoyweghen, T. (2019) Citizen Science. Hoe Burgers De Wetenschap Uitdagen. Pelckmans Pro. ISBN: 978-94-6337-170-4
- Haklay M. (2013) Citizen Science and Volunteered Geographic Information: Overview and Typology of Participation. In: Sui D., Elwood S., Goodchild M. (eds) *Crowdsourcing Geographic Knowledge*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2_7)
- Haklay, M. (2014). Citizen Science in Oxford English Dictionary. Muki Haklay's personal blog. [geraadpleegd 10/01/2021: <https://povesham.wordpress.com/2014/09/10/citizen-science-in-oxford-english-dictionary/>]
- Haklay, M. (2018) Participatory citizen science. In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.
- Haklay, M., Fraisl, D., Greshake Tzovaras, B., Hecker, S., Gold, M., Hager, G., Ceccaroni, L., Kieslinger, B., Wehn, U., & Woods, S. (2020). Contours of citizen science: a vignette study. *Royal Society Open Science*. 8(8), 202108. <https://doi.org/10.1098/rsos.202108>
- Harley, K. G., Calderon, L., Nolan, J., Maddalena, R., Russell, M., Roman, K., Mayo-Burgos, S., Cabrera, J., Morga, N., & Bradman, A. (2021). Changes in Latina Women's Exposure to Cleaning Chemicals Associated with Switching from Conventional to "Green" Household Cleaning Products: The LUCIR Intervention Study. *Environmental health perspectives*, 129(9), 97001. <https://doi.org/10.1289/EHP8831>
- Harlin, J., Kloetzer, L., Patton, D., Leonhard, C., & Leysin American School high school students (2018). Turning students into citizen scientists. In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.
- Hecker, S., Garbe, L., & Bonn, A. (2018). The European citizen science landscape – a snapshot. In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.
- Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J. and Bonn, A. (2018b) Innovation in open science, society and policy – setting the agenda for citizen science. In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.
- Hecker, S., Luckas, M., Brandt, M., Kikillus, H., Marenbach, I., Schiele, B., Sieber, A., van Vliet, A.J.H., Walz, U. and Wende, W. (2018c). Stories can change the world – citizen science communication in practice In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.
- Heigl, F., Kieslinger, B., Paul, K. T., Uhlik, J., Frigerio, D., & Dörler, D. (2020). Co-Creating and Implementing Quality Criteria for Citizen Science. *Citizen Science: Theory and Practice*, 5(1).
- Irwin, A. (1995). *Citizen science: A study of people, expertise and sustainable development*. Routledge.
- Irwin, A. (2015) Open science should help us to question innovation. Interview with Professor Alan Irwin. *Horizon The EU Research & Innovation Magazine* [geraadpleegd 10/01/2022: <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/open-science-should-help-us-question-innovation-professor-alan-irwin>]
- Kieslinger, B., Schäfer, T., Heigl, F., Dörler, D., Richter, A. and Bonn, A. (2018) Evaluating citizen science: Towards an open framework. In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.
- Kokalj, T., Park, Y., Vencelj, M., Jenko, M., & Lee, L. P. (2014). Self-powered Imbibing Microfluidic Pump by Liquid Encapsulation: SIMPLE [10.1039/C4LC00920G]. *Lab on a Chip*, 14(22), 4329-4333. <https://doi.org/10.1039/C4LC00920G>
- Leung, M.W., Yen, I.H., & Minkler, M. (2004). Community based participatory research: a promising approach for increasing epidemiology's relevance in the 21st century. *International journal of epidemiology*, 33 3, 499-506 .
- Mahr, D., Göbel, C., Irwin, A. and Vohland, K. (2018). Watching or being watched: Enhancing productive discussion between the citizen sciences, the social sciences and the humanities. In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.
- Mao, P., & Wang, D. (2015). Biomonitoring of perfluorinated compounds in a drop of blood. *Environmental science & technology*, 49(11), 6808–6814. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01442>



- Morrens, B., Den Hond, E., Schoeters, G., Coertjens, D., Colles, A., Nawrot, T. S., Baeyens, W., De Henauw, S., Nelen, V., & Loots, I. (2017). Human biomonitoring from an environmental justice perspective: supporting study participation of women of Turkish and Moroccan descent. *Environmental Health*, 16(1), 1-9.
- Morrens Bert, Loots Ilse, Vandermoere Frédéric, Buytaert Bruno, Verdeyen An, Van Oyen Lien, Verlaek Mart, Van Campenhout Karen (2018) Lucht in je leven : een pilootproject rond milieu en gezondheid bij sociaal kwetsbare doelgroepen, *Vlaams tijdschrift voor overheidsmanagement / Vlaams Instituut voor Overheidsmanagement - ISSN 1373-0509 - 4(2018)*, p. 69-77
- Morrens, B., Jonker, H., Den Hond, E., Coertjens, D., Colles, A., Schoeters, G., Van Larebeke, N., Nawrot, T., Covaci, A., Nelen, V., Vandermoere, F., & Loots, I. (2021). Participant Experiences in a Human Biomonitoring Study: Follow-Up Interviews with Participants of the Flemish Environment and Health Study. *Toxics*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/toxics9040069>
- Nascimento, S., Rubio Iglesias, J.M., Owen, R., Schade, S. and Shanley, L. (2018) Citizen science for policy formulation and implementation. In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.
- Nicole W. (2021). Youth in Action: Local Teens Help Assess Chemical Exposures from Household Cleaning Products. *Environmental health perspectives*, 129(10), 104002. <https://doi.org/10.1289/EHP10190>
- Nolan, J., Coker, E. S., Ward, B. R., Williamson, Y. A., & Harley, K. G. (2021). "Freedom to Breathe": Youth Participatory Action Research (YPAR) to Investigate Air Pollution Inequities in Richmond, CA. *International journal of environmental research and public health*, 18(2), 554. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020554>
- Oxford English Dictionary (2014). "citizen science". [geraadpleegd 10/01/2022: <http://www.oed.com/view/Entry/33513?redirectedFrom=citizen+science#>]
- Peltota, T. & Arpin, I. (2018) Science for everybody? Bridging the socio-economic gap in urban biodiversity monitoring. In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.
- Robinson, L. D., Cawthray, J. L., West, S. E., Bonn, A., & Ansine, J. (2018). Ten principles of citizen science. In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.
- Roy, H.E., Pocock, M.J.O., Preston, C.D., Roy, D.B., Savage, J., Tweddle, J.C. & Robinson, L.D. (2012) *Understanding Citizen Science & Environmental Monitoring. Final Report on behalf of UK-EOF. NERC Centre for Ecology & Hydrology and Natural History Museum.*
- Saha K. & Hurlbut B. (2012). Opinion: Occupy Science?. *The Scientist*. [geraadpleegd 10/01/2022: <https://www.the-scientist.com/news-opinion/opinion-occupy-science-41457>]
- Saha K. & Hurlbut B. (2011). Treat donors as partners in biobank research. *Nature* 478, 312–313. <https://doi.org/10.1038/478312a>
- Shirk, J. L., H. L. Ballard, C. C. Wilderman, T. Phillips, A. Wiggins, R. Jordan, E. McCallie, M. Minarchek, B. V. Lewenstein, M. E. Krasny, and R. Bonney. (2012). Public participation in scientific research: a framework for deliberate design. *Ecology and Society* 17(2): 29. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04705-170229>
- Soleri, D., Long, J. W., Ramirez-Andreotta, M. D., Eitemiller, R., & Pandya, R. (2016). Finding pathways to more equitable and meaningful public-scientist partnerships. *Citizen Science: Theory and Practice*. 1 (1): 9, 1(1).
- Stockwell, H. (2019). Learning from Young People in Islington. Blogpost Mapping for Change. [geraadpleegd 10/01/2022: <https://mappingforchange.org.uk/2019/07/learning-from-young-people-in-islington/>]
- Wallerstein, N.; Durran, B.; Oetzel, J.; Minkler, M. (2017) *Community-Based Participatory Research for Health: Advancing Social and Health Equity*, 3rd ed.; John Wiley and Sons, Inc.: San Francisco, CA, USA.
- Wiggins, A., & Wilbanks, J. (2019). The Rise of Citizen Science in Health and Biomedical Research. *American Journal of Bioethics*, 19(8), 3–14. <https://doi.org/10.1080/15265161.2019.1619859>
- Williams, J., Chapman, C., Leibovici, D.G., Lois, G., Matheus, A., Oggioni, A., Schade, S., See, L. and van Genuchten, P.P.L. (2018). Maximising the impact and reuse of citizen science data. In Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (eds.) *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 27-40). UCL Press.



## 2.3 DEELNEMERSEVALUATIE

### EVALUATIE VAN EEN DIGITALE TOOL (DERBI) VOOR HET TERUGKOPPELEN VAN INDIVIDUELE MEETWAARDEN AAN JONGE STUDIEDEELNEMERS

*Interviews met leerkrachten secundair onderwijs*

Nota 2022

Bert Morrens, Dries Coertjens, Ilse Loots  
UNIVERSITEIT ANTWERPEN, CRESC

#### 2.3.1 Samenvatting

In dit onderdeel werd een prospectieve evaluatie uitgevoerd naar de bruikbaarheid van de digitale DERBI-tool bij een jongerendoelgroep. De DERBI tool stelt in staat om individuele meetwaarden uit HBM-onderzoek op een digitale en gepersonaliseerde manier terug te koppelen aan deelnemers. Aan de hand van een demo-omgeving van de tool, ontwikkeld eind 2021 met fictieve resultaten, werden in de loop van januari 2022 enkele online interviews afgenomen met leerkrachten uit het secundair onderwijs. Zij kennen de leefwereld en de vaardigheden van jongeren immers goed en kunnen mee een inschatting maken van hun gebruikerservaring. Bovendien achten we het belangrijk dat leerkrachten tegelijk vanuit educatief oogpunt kunnen oordelen (zie ook ons onderdeel 2.1, waarin de schoolcontext relevant werd bevonden). De tool werd overwegend positief beoordeeld door de leerkrachten, en ze zien ook mogelijkheden om klassikaal rond het onderwerp te werken. Toch werden ook heel wat aanbevelingen voor verbetering geformuleerd, die kunnen zich toespitsen op vier terreinen: 1) Vereenvoudigen en verduidelijken, door meer in te zetten op concreet taalgebruik en een luchtige vormgeving. 2) Ondersteunen, door de website beter te structureren, bijvoorbeeld aan de hand van een instructiefilmpje of stappenplan, door communicatiekanalen op maat van jongeren te voorzien, en door de tool te koppelen aan een klasactiviteit zodat ondersteuning van een leerkracht mogelijk is. 3) Visualiseren, door meer te werken met iconen en kleuren. 4) Differentiëren, door bepaalde inhoud en boodschappen op te delen naar doelpubliek.

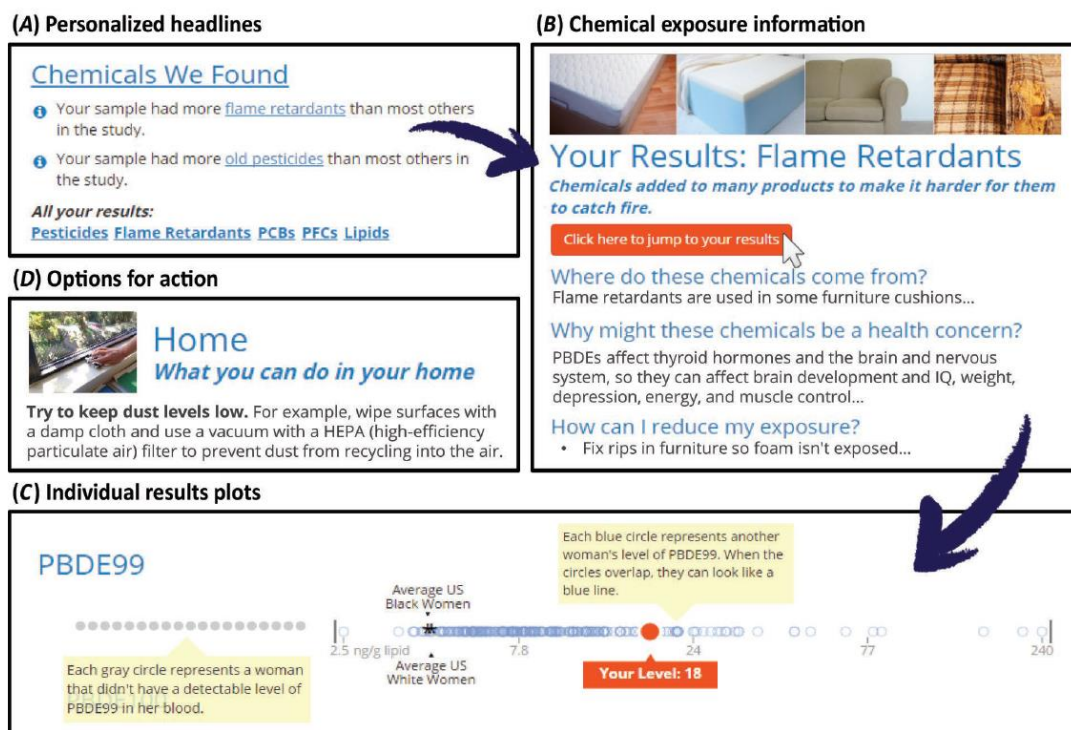
#### 2.3.2 Inleiding

Sinds de start van het Vlaamse HBM-programma in 2001, werd heel wat ervaring opgebouwd rond het terugkoppelen van individuele meetwaarden aan studiedeelnemers. De praktijkervaring werd uitgebouwd door het PIH, ondersteund door het veldwerkcomité van het Steunpunt, o.a. met het opmaken van communicatiedocumenten en -materialen, achtergrondinformatie, het aanbieden van nazorg, en dergelijke meer. Tevens voorzorg de ontwikkeling van de [Spelregels voor risicocommunicatie](#) (Loots et al., 2016) daarvoor een structurele basis. Uit deelnemersevaluaties blijkt dat deze aanpak overwegend positief beoordeeld wordt (zie o.a. Franken et al., 2020; Morrens et al., 2021; Coertjens et al., 2015). Tot op heden gebeurde deze communicatie van individuele resultaten per post (op papier). Maar door het grote aantal biomerkers dat gemeten wordt, is het in die vorm steeds een uitdaging om de resultaten op een begrijpelijke en compacte, maar ook volledige manier over te brengen.

In 2020-2021 werd daarom een strategisch onderzoeksproject uitgevoerd in opdracht en met de steun van de Provincie Antwerpen om de praktijk van het terugkoppelen van individuele HBM-gegevens te digitaliseren (Jonker et al., 2021).

In dit project werd de bestaande **DERBI**-tool (Digital Exposure Report-Back Interface, ontwikkeld door het Amerikaanse Silent Spring Institute) omgezet naar een Vlaamse context en getest bij deelnemende moeders aan de 3xG studie in de gemeenten Dessel, Mol en Retie. Het belangrijkste voordeel van deze digitale tool is dat de informatie op een gelaagde manier kan worden aangeboden. Via gepersonaliseerde hoofdboodschappen wordt de deelnemer meteen toegeleid naar de informatie en resultaten die voor hem of haar het meest relevant zijn. Visuele aspecten in de tool kunnen bovendien helpen om de begrijpelijkheid van de materie te verhogen.

De **DERBI** tool is echter afgestemd op volwassenen. Een openstaande vraag is dus of deze tool op dezelfde manier bruikbaar is voor jongeren (14-15 jaar) en hun ouders? Zijn er specifieke aandachtspunten waarop gelet moet worden en die aanpassing van de tool behoeven? Begrijpen jongeren op de leeftijd van 14-15 jaar de resultaten en de toelichting zoals aangeboden in DERBI? Deze prospectieve vragen moeten toelaten om de digitale communicatietool te optimaliseren voor toekomstig HBM-onderzoek bij jongeren.



Figuur 11: de voornaamste bouwstenen van de DERBI-tool (Boronow et al., 2017)

Aan de hand van een demo-omgeving van de tool, ontwikkeld eind 2021 met fictieve resultaten, werden in de loop van januari 2022 enkele online interviews afgenomen met leerkrachten uit het secundair onderwijs. Zij kennen de leefwereld en de vaardigheden van jongeren immers goed en kunnen mee een inschatting maken van hun gebruikerservaring en de educatieve meerwaarde. Deze nota bevat de feedback uit de interviews.

### 2.3.3 Methodologie

#### 2.3.3.1 Opmaak van een demorapport

Voor deze evaluatiestudie werd gebruik gemaakt van een bestaand demorapport op maat van de lokale gezondheidsstudie **3xG**. De gebruikte documentatie over humane biomonitoring is echter ook afkomstig van het Steunpunt Milieu en Gezondheid (zoals de factsheets voor chemische stoffen).

Dit demorapport is daarom grotendeels representatief voor een resultatenrapport zoals dat er zou uitzien voor het Vlaamse HBM-programma (behalve het 3xG logo, de projectbeschrijving en samenvatting van de groepsresultaten). Aangezien de onderzoeksachtergrond voor de huidige evaluatiestudie niet echt van belang is, werd geoordeeld dat het bestaande demorapport opnieuw gebruikt kon worden.

Het demorapport kan geraadpleegd worden via <http://flehs.reportback.org>, maar een persoonlijke login is nodig om toegang te krijgen tot de resultaten. Zie onderstaande figuren voor een impressie. Voor deze evaluatiestudie werd een fictief databestand opgeladen. Het opladen van een volledig databestand is nodig om grafieken te genereren voor weergave van de persoonlijke resultaten (zie Figuur 14) en om persoonlijke boodschappen te genereren waarin de individuele meetwaarden o.a. vergeleken worden met groepsresultaten (zie Figuur 12). Voor het aanmaken en aanpassen van het demorapport werd door het Silent Spring Institute (een Amerikaans non-profit onderzoeksinstituut, en ontwikkelaar van DERBI) aan onderzoekers van UAntwerpen en PIH toegang verleend tot het DERBI Researcher Dashboard. Via dit dashboard kan de volledige inhoud van het rapport worden aangepast, mits een zekere computervaardigheid. Zie Jonker et al. (2021) voor een meer uitgebreide beschrijving van de DERBI tool en ervaringen met het vertalen en omzetten van het demorapport naar de context van een Vlaamse studie.

Onderstaande figuren geven een impressie van het demorapport. Figuur 14 Figuur 12 toont (een deel van) de homepage van het demorapport, na inloggen, met daarop een samenvatting van de individuele resultaten van een fictieve deelnemer. In deze samenvatting worden automatisch enkele hoofdboodschappen gegenereerd op basis van enkele beslisregels. Zo kan bijvoorbeeld voorrang gegeven worden aan meetwaarden waarvoor een gezondheidskundige toetsingswaarde wordt overschreden, aangevuld met resultaten waarvoor de deelnemer een waarde heeft die hoger ligt dan bv. de P90 of de gemiddelde waarde van de groep.

The screenshot shows the 'Samenvatting van je resultaten' (Summary of your results) page. The header includes the 3xG logo and 'GEZONDHEID GEMEENTEN GEROOKTEN'. The main content is divided into three sections, each with a tip and a link to 'Meer tips en info':

- Stoffen die we gevonden hebben**: 'Jouw staal had een waarde boven de richtwaarde voor lood.' (Your steel had a value above the guideline value for lead.) Tip: 'Woon je in een oude woning? Ga dan na of er nog loden waterleidingen aanwezig zijn.' (Do you live in an old house? Then check if there are still lead water pipes present.)
- Algemene studieresultaten**: 'Jouw staal had hogere waarden voor twee ftalaten dan gemiddeld in de studie.' (Your steel had higher values for two phthalates than average in the study.) Tip: 'Gebruik geen plastic verpakkingen in de microgolfoven.' (Do not use plastic packaging in the microwave.)
- Algemene studieresultaten**: 'Jouw staal had een hogere waarde voor bisfenol A dan gemiddeld in de studie.' (Your steel had a higher value for bisphenol A than average in the study.) Tip: 'Eet niet teveel voedsel uit blik.' (Do not eat too much food from cans.)

On the right side, there is a section titled 'Algemene studieresultaten' (General study results) with a 3xG logo and text: '3xG-deelnemers hebben hogere waarden voor arseen en cadmium vergeleken met Vlaanderen.' (3xG participants have higher values for arsenic and cadmium compared to Flanders.) Below this, it states: 'Deelnemers die roken hebben hogere waarden voor stoffen van verbranding (PAK's).' (Participants who smoke have higher values for combustion products (PAHs).) and 'Ook al zijn oude stoffen als PCB's, DDT en HCB al lang verboden, toch vinden we sporen in meer dan 75% van de deelnemers.' (Even though old substances like PCBs, DDT and HCB have been banned for a long time, we still find traces in more than 75% of the participants.) Finally, it says: 'Deelnemers die een job hebben in de chemische industrie hebben hogere waarden voor cadmium.' (Participants who have a job in the chemical industry have higher values for cadmium.)

Figuur 12: printscreen van het demorapport (homepage, na inloggen)

Via de navigatie links in beeld of via de hyperlinks in de persoonlijke hoofdboodschappen kan worden doorgeklikt naar verschillende stofpagina's. Figuur 13 toont (een deel van) de stofpagina voor lood. Deze pagina bevat in eerste instantie informatie over de stofgroep (Waar vind je deze stoffen? Wat zijn de gezondheidsrisico's?) en het daaraan verbonden individueel handelingsperspectief (Wat kan jij doen om blootstelling te beperken?). Daarna, onderaan de pagina, worden de individuele meetwaarden weergegeven in een stripplot (zie Figuur 14 voor lood). In deze stripplot wordt de eigen waarde vergeleken met de waarden van andere deelnemers en met referentiegegevens zoals gezondheidkundige toetsingswaarden (indien beschikbaar) en de mediaan waarde voor de studie. Ook andere referenties kunnen worden toegevoegd. De stripplots zijn bovendien interactief. Wanneer je met je cursor bepaalde elementen op de grafiek aanduidt, verschijnt er extra informatie (zoals jouw exacte waarde of een omschrijving van een gezondheidkundige toetsingswaarde).

**3XG GEZONDHEID GEMEENTEN GEBORNTEN**

Home

Je resultaten

- Arseen
- Bisfenolen
- Ftalaten
- Lood**
- Perfluors (PFAS)
- POP's
- Stoffen van verbranding (PAK's)

Over de studie

Algemene studieresultaten

Lijst resultaten

Rapport afdrukken

Afmelden

## Je resultaten: Lood

*Toxisch metaal*

**Jouw staal had een waarde boven de richtwaarde (HBM-I) voor lood.**

↓ [Klik hier om direct naar je resultaten te gaan](#)

### Waar vind je deze stoffen?

Lood is een giftig metaal dat van nature in de aardbodem voorkomt. Blootstelling aan lood gebeurt via:

- voedsel
  - lood kan aanwezig zijn in het leefmilieu van nature, door loodverwerkende industrie of door nabijgelegen drukke verkeersassen
  - (blad)groenten, fruit, vlees, melk en zuivelproducten kunnen in dat geval loodresten bevatten
- wonen in de buurt van loodverwerkende industrie of nabij drukke verkeersassen
- loten waterleidingen of loodhoudende verf. Sommige oude woningen gebouwd voor 1970 kunnen nog loden waterleidingen of loodhoudende verf bevatten
- bij gebruik van geglazuurd keramiek, kristal of metalen theepotten. Deze glazuren bevatten soms lood om deze producten een glans te geven.

### Wat is het gezondheidsrisico van deze stoffen?

Lood is mogelijk kankerverwekkend volgens het Internationaal Instituut voor Kankeronderzoek (IARC). Lood is:

- giftig voor de hersenen
- bij kinderen gevaarlijk voor het zenuwstelsel, wat kan leiden tot lagere intellectuele

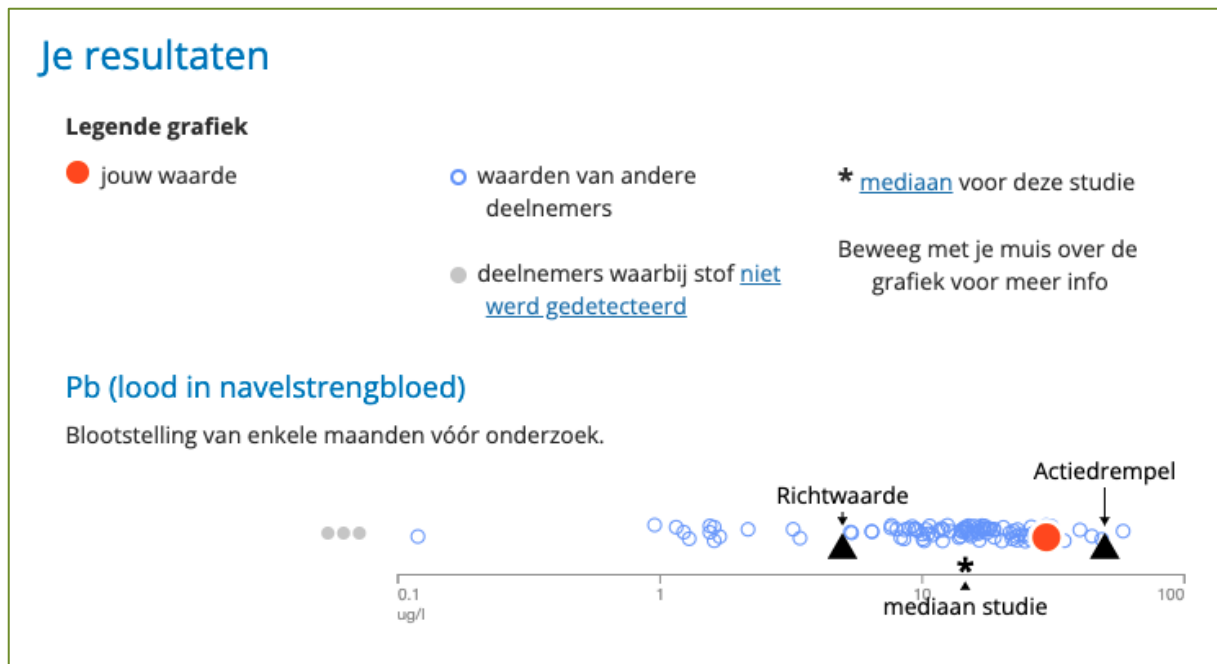
### Veelgestelde vragen

- [Hoe kan ik mijn blootstelling aan deze stoffen verlagen?](#)
- [Wat is het effect van deze stoffen op mijn gezondheid?](#)
- [Waarom krijg ik bij sommige stoffen richtwaarden te zien?](#)
- [Wat betekent µg/l of ng/l?](#)

### Heb je een vraag?

Aarzel niet om ons te contacteren op het gratis nummer **0800 20 102** op wekdagen tussen (uur) en (uur). Of stuur een mailtje naar [pih.gezondheidmilieu@provincieantwerpen.be](mailto:pih.gezondheidmilieu@provincieantwerpen.be).

Figuur 13: Printscren van het demorapport (*stofpagina voor Lood*)



Figuur 14: Printscren van het demorapport (*voorstellingswijze individueel resultaat voor lood*)

### 2.3.3.2 Interviews met leerkrachten secundair onderwijs

Voor het inschatten van de bruikbaarheid van de DERBI tool voor een jongeren doelgroep (14-15 jarigen), werden enkele interviews afgenomen bij leerkrachten uit het secundair onderwijs (2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> graad). Hiervoor werden enkele leerkrachten aangeschreven uit het persoonlijke netwerk van onderzoekers van UAntwerpen en PIH, zonder ervaring met HBM onderzoek. De leerkrachten werden gecontacteerd via e-mail en in totaal werden zes leerkrachten bereid gevonden om deel te nemen aan de evaluatiestudie (drie leerkrachten ASO en drie leerkrachten BSO<sup>3</sup>, werkzaam in scholen in regio Antwerpen en regio Brussel). Het lijkt misschien logisch ook de jongeren zelf te bevragen, maar na overleg met de partners op het Veldwerkcomité en met de onderzoekers van PIH bleek het niet opportuun opnieuw de deelnemers uit te nodigen of te bevragen van de recentste humanebiomonitoringcampagne. Er werden ook niet meteen aanknopingspunten gevonden om jongeren via scholen of jeugdbewegingen te bevragen, deels ten gevolge de coronacrisis.

Respondenten kregen enkele dagen voor het gesprek de link naar het demorapport en een logincode toegestuurd, samen met beperkte achtergrondinformatie over de betreffende studie en de doelstelling van het interview. De semi-gestructureerde gesprekken duurden gemiddeld 51 minuten (gespreksduur tussen 31 minuten en 82 minuten). Zie kader voor de onderwerpen die tijdens het gesprek aan bod kwamen. Aan de leerkrachten werd gevraagd om zich in te leven in het perspectief van hun leerlingen (en het onderwijs).

De interviews werden online afgenomen via Blackboard Collaborate (het besloten online onderwijsplatform van de UAntwerpen). Er werd een opname gemaakt van de interviews, met toestemming van de respondenten, en de feedback werd op een anonieme manier verwerkt in deze samenvattende nota. De opnames werden verwijderd na verwerking.

<sup>3</sup> Met de hervorming van het secundair onderwijs in september 2021 verdwenen de termen ASO, TSO en BSO en werden vervangen door 'doorstroomfinaliteit' voor ASO, 'dubbele finaliteit' voor TSO en 'arbeidsmarktfinaliteit' voor BSO. In dit rapport wordt nog verwezen naar de oude termen. De leerkrachten gebruikte de ouder en nieuwe terminologie door elkaar.



## Onderwerpen bevraging

### Algemeen

- Is de tool logisch opgebouwd? Makkelijk te navigeren via de menu?
- Is het taalgebruik aangepast? Zijn er woorden té technisch? Is de toon té belerend?
- Is het gebruikte beeldmateriaal voldoende aantrekkelijk?
- Biedt de tool voldoende opties om vragen te stellen? Zijn er drempels ifv toegankelijkheid?
- Zijn er extra aandachtspunten voor bepaalde doelgroepen (anderstaligen, BSO, ...)
- Zouden jongeren hun resultaten delen met leeftijdsgenoten?

### Homepage met hoofdboodschappen

- Is de samenvatting van de resultaten (hoofdboodschappen) duidelijk?
- Schrikt de boodschap af (confronterend karakter)?
- Zijn de doorklik links duidelijk (gelaagdheid van website)?
- Zijn de drie aandachtspunten bij interpretatie resultaten duidelijk?
- Is de verwijzing naar algemene studieresultaten voldoende zichtbaar? Is dit nuttig?

### Voorstelling persoonlijke resultaten

- Is de figuur en de legende begrijpbaar?
- Is de vergelijkingsbasis duidelijk?
- Is de toelichting van bronnen, gezondheidstips duidelijk?
- Zijn de tips om blootstelling te vermijden zinvol? Is de toon juist?

## 2.3.4 Resultaten

### 2.3.4.1 Over de doelgroep jongeren

Vooraleer in te gaan op de feedback van de leerkrachten over de DERBI tool, vatten we enkele algemene punten uit de gesprekken samen die iets zeggen over de jongeren als doelgroep. Wat karakteriseert hen? En waar moeten we dus steeds rekening mee houden?

Ten eerste is er bij verschillende leerkrachten het aanvoelen dat er onder jongeren **weinig bewustzijn** is rond het thema van blootstelling aan chemische stoffen. De tool met eigen resultaten in combinatie met de tips om blootstelling te vermijden kunnen daarom bijdragen aan de sensibilisering omdat jongeren stil zullen staan bij hun eigen meetwaarden. Leerkrachten uit het BSO stelden dat jongeren niet met het thema milieu en gezondheid bezig zijn. Volgens één leerkracht zullen jongeren daardoor niet snel verontrust zijn bij verhoogde resultaten. Dit wordt bij leerlingen met een migratieachtergrond vaak versterkt door hun geloofsovertuiging, aldus de leerkracht. *“Vaak denken ze dat het zo moet gebeuren, en dat ze daar geen controle over hebben, waardoor ze er veel rustiger over zijn.”* Een andere leerkracht uit het BSO vermoedt echter dat leerlingen uit het BSO net sneller zouden paniekeren bij verhoogde resultaten omdat zij boodschappen minder goed kunnen filteren. *“Als jongeren iets niet helemaal begrijpen, zullen ze ofwel in paniek schieten, ofwel afhaken”*. De leerkracht maakte de vergelijking met informatie over hoogrisicocontacten bij corona, waarbij jongeren uit BSO klassen ook moeilijk konden inschatten of zij daarvoor in aanmerking kwamen of niet.

Ten tweede wijzen bijna alle leerkrachten op de **bepaalde leescultuur** onder jongeren. Jongeren lezen niet graag meer en zijn ook minder bereid om teksten diepgaand te lezen. Hierdoor moet informatie voor hen in één oogopslag duidelijk zijn. *“Ze scannen over de bladspiegel en moeten dan direct kunnen zien wat voor hen belangrijk is”*. Bovendien behoren de jongeren tot de ‘social media generatie’, aldus een leerkracht, waardoor ze gewend zijn dat info heel visueel en kort is.



Jongeren zijn daardoor niet altijd even kritisch en even vaardig in het vinden van de juiste info: *“Wij denken altijd dat die jonge gasten dat beter kunnen als wij, maar dat is niet zo. Je moet de IT-vaardigheden van jongeren niet overschatten. Zij hebben nooit anders gekend en hebben die vaardigheden dus ook niet stelselmatig aangeleerd gekregen zoals wij vroeger.”*

Ten derde geven de leerkrachten uit het BSO mee dat ouders van BSO jongeren vaak **minder betrokken** zijn bij het schoolgebeuren dan jongeren uit andere richtingen. Het feit dat onze tool zich ook tot jongeren richt, zien ze daarom als een groot voordeel: *“Vaak moeten de jongeren hun ouders informeren over belangrijke thema’s of schoolevenementen. Via deze digitale tool maak je wel meer kans dat ook deze gezinnen geïnformeerd worden via de jongeren; want een brief zal bij hen geen impact hebben.”*

#### 2.3.4.2 Algemene bevindingen

De feedback van de leerkrachten over de DERBI tool, vanuit het jongerenperspectief, kunnen in eerste instantie worden samengevat in enkele algemene bevindingen. Daarna volgen meer specifieke aandachtspunten en aanbevelingen (zie volgend onderdeel).

Over het algemeen vinden leerkrachten de digitale tool een **grote verbetering** ten opzichte van de brief, omdat jongeren op deze manier sterker betrokken worden. Maar, de tool mikt toch voornamelijk op een doelgroep die al enige interesse in de thematiek heeft, bijvoorbeeld in milieu en klimaat of in wetenschappen zoals chemie en fysica. De tool is momenteel ook vooral geschreven **op maat van volwassenen**. Dit is bijvoorbeeld duidelijk zichtbaar in de aangeboden tips. Deze gaan vooral over activiteiten waar jongeren zelf weinig controle over hebben zoals koken en kleren wassen. Het is ook zichtbaar in de opties om contact op te nemen bij vragen (bellen of mailen). Die communicatiekanalen zijn in de beleving van jongeren heel formeel en sluiten niet aan op hun leefwereld (zie volgende paragraaf voor concrete aanbevelingen hierover).

Op vlak van webdesign en lay-out vinden alle leerkrachten dat de tool **logisch en duidelijk is opgebouwd**: *“de navigatie met verschillende doorklikmogelijkheden zit logisch in elkaar”*; *“je scrollt er makkelijk door”*; *“de inhoud wordt goed opgebouwd”*. De navigatiebalk links in beeld is goed voor het overzicht. Hyperlinken in de tekst zijn duidelijk doordat ze blauw aangeduid en onderstreept zijn.

Het **taalgebruik** wordt als acceptabel ingeschat, en is over het algemeen niet te moeilijk voor de doelgroep (zie verder voor enkele specifieke aanbevelingen). *“Via het vele doorklikken word je als lezer meegezogen in het verhaal.”* De hoeveelheid tekst en info wordt echter wel vaak aanzien als een probleem, vooral op de aparte stofpagina’s. Daar gaan jongeren hun aandacht niet kunnen vasthouden. Het gebruik van **fotomateriaal** wordt ook als positief ingeschat. De tool is visueel aantrekkelijk. Ook de voorstelling van eigen resultaten in de **grafiek** is heel duidelijk volgens de leerkrachten, met name omdat je meer info krijgt als je over de elementen van de grafiek gaat. De voorstelling van de resultaten zit goed. Jongeren leren op die leeftijd ook grafieken en legenden lezen.

De **persoonlijke boodschappen** op de homepage worden overwegend positief beoordeeld. De formulering van de hoofdboodschappen is vrij neutraal en niet te betuttelend of alarmerend. De directe koppeling aan tips is goed. Toch was het niet voor alle leerkrachten onmiddellijk duidelijk dat de homepage een filtering bevatte van de belangrijkste persoonlijke resultaten. De titel ‘stoffen die we gevonden hebben’ zet de lezer hier op het verkeerde been (zie verder).



De tool leent zich tot slot ook erg goed om **klassikaal** rond te werken. *“Gezondheid is een belangrijk onderwerp in de nieuwe leerplannen.” “Het zou ideaal zijn om hier ook een lespakket of een projectwerk aan te koppelen: zelf onderzoek doen. Bijvoorbeeld de klas indelen in verschillende stofgroepen, waarover ze in groep eerst opzoekwerk moeten doen en dan nadien komen over presenteren aan de rest.”* Ook voor BSO-richtingen zou dit passen binnen lessen PAV (project algemene vakken). *“Veel leerkrachten gaan hier interesse in hebben.”*

#### 2.3.4.3 Specifieke aandachtspunten en aanbevelingen

De leerkrachten deden ook heel wat specifieke aanbevelingen, vooral met de bedoeling om de tool nog beter te structureren en jongeren meer leidraad en richting te geven. We kunnen deze samenvatten in vier onderdelen: i) vereenvoudigen en verduidelijken, ii) ondersteunen, iii) visualiseren en iv) differentiëren.

##### i) Vereenvoudigen en verduidelijken

###### **Taalgebruik:**

- De tekstblokken zijn vaak (te) lang en er zijn te weinig **witregels**. Leerlingen moeten beter stukjes tekst zien, anders raken ze snel overdonderd door de hoeveelheid tekst. De jongeren zullen de tekst wellicht niet volledig doorlezen. Je moet dingen laten **oplichten**.
- Woorden **in vet** zetten (bij de tips gebeurde dat al, maar niet in de andere tekstblokken).
- Ook het **lettertype** is niet ideaal: Verdana en Calibri zijn lettertypes die het makkelijkst leesbaar zijn voor anderstaligen en voor dyslectische leerlingen.
- Er kan nog meer met **uitschuif- en doorklikmogelijkheden** gewerkt worden. Of tekst meer in kolommen opbouwen.
- Tip: bij Microsoft Word is er recent de optie ‘**insluitende lezer**’. Dit zet automatisch tekst met meer witregels, heeft ook een online beeldwoordenboek, achtergrondkleuren, en kan ook teksten vertalen. Deze optie werkt goed voor het aanmaken van teksten voor taalzwakke leerlingen.
- Tip: op [www.watwat.be](http://www.watwat.be) kan je de leeftijd aanpassen om uitleg te krijgen over allerlei thema’s op maat. Dit kan je gebruiken als inspiratie voor taalgebruik bij 14-16 jarigen.

###### **Hoofdboodschappen:**

- De hoofding ‘stoffen die we gevonden hebben’ past niet goed bij de samenvatting van hoofdboodschappen, dit hoort links te staan bij de lijst met alle stoffen. Beter zou zijn: ‘een icoontje met mannetje dat je moet lezen’, of een uitroepteken, een actieknop.
- De hogere boodschappen concreter benoemen: “hier moet je aan werken” of “dit is alarmerend en dit kan je eraan doen”. Dat is voor jongeren duidelijker. Het mag niet te algemeen of te vrijblijvende geformuleerd zijn. Voor positieve of gemiddelde resultaten zullen ze minder interesse hebben.

###### **Grafiek met resultaten en tips:**

- De horizontale lijn in de grafiek is heel dun.
- Eventueel bij ‘jouw waarde’ nog ‘ik’ toevoegen.
- Het onderscheid tussen een richtwaarde en een actiedrempel gaan jongeren niet begrijpen.
- Bovenaan de stofpagina’s staat een pijltje naar beneden en ‘klik hier om direct naar je resultaten te gaan’: in de digitale wereld is een pijltje omlaag met een tekst die onderstreept staat heel vaak het symbool om iets te downloaden. Dit kan verwarrend werken omdat mensen zullen denken dat ze een apart programma zullen openen of downloaden indien ze op de tekst klikken.
- Bij tips rond loden leidingen (of andere tips gerelateerd aan de woning) kan eventueel ook een link worden toegevoegd naar rechten en plichten van huurders.



### Algemene studieresultaten:

- De algemene resultaten kunnen meer naar de achtergrond (niet op de homepage).
- Slechts klein percentage van deelnemers zal geïnteresseerd zijn in de collectieve resultaten; vooral jongeren met interesse in wetenschap en milieu. Het kan wel zo blijven staan op de homepage. Indien er ook een klasactiviteit gekoppeld wordt aan de website dan zou je van die pagina met collectieve resultaten een [webquest](#) kunnen maken.

### GSM versie:

- De website is redelijk responsief voor smartphone, maar de grafiek wordt erg klein voorgesteld en de tips zijn niet duidelijk (printscreens toevoegen?). Als je het GSM scherm draait, is de grafiek wel duidelijk: dat kan je met een icoon verduidelijken. (Nota: intussen werd een nieuwe versie van DERBI ontwikkeld die responsiever is voor smartphone en andere (kleinere) schermen).

## ii) Ondersteunen

Verschillende leerkrachten deden ook zinvolle suggesties om de jongeren meer te ondersteunen in het doornemen van hun resultaten. De suggesties hebben betrekking op drie terreinen:

### Door de website meer te structureren:

Dit kan in de eerste plaats door woorden meer in vet te zetten of met kleuren en iconen te werken (zie punt i) over vereenvoudigen), zodat jongeren meer gericht kunnen lezen en info kunnen zoeken. Verder werden twee creatieve aanbevelingen gedaan om de website meer te structureren:

- Een algemeen **instructiefilmpje** op de intropagina om te tonen hoe je de resultaten op een juiste manier moet lezen en interpreteren. *“Dit kan iets grafisch zijn, of gewoon een filmpje van de tool met een voice-over. Het hoeft geen flitsend promotiefilmpje te zijn. Maar best wel verhalend: ‘bv. volg Marie die net als jij haar resultaten heeft ontvangen.’”*
- Een alternatief idee is een **mindmap** of **stappenplan** als samenvatting van de website, met kernwoorden en vertakkingen. *“Dat helpt vaak om de samenhang te zien en het parcours dat je moet doorlopen om de info goed te begrijpen. We gebruiken dat vaak in het onderwijs en het werkt zeker goed bij anderstaligen en nieuwkomers. Je zou dat ook kunnen toepassen op de stofpagina’s: bv. lood in het midden en dan vertakkingen naar waar je die stof vindt, wat is het risico, wat kan je doen.”*



Figuur 15: Voorbeeld van een mindmap.

Bron: <http://www.alexisvandam.nl/alexida/ho-e-maak-je-een-mindmap/>

### **Door de opties om vragen te stellen te verbreden:**

De huidige opties om vragen te stellen zijn een gratis telefoonnummer en een algemeen mailadres. Deze communicatiemiddelen mikken vooral op een volwassen publiek en zullen jongeren minder aanspreken. Een telefoonnummer dat enkel tijdens de kantooruren bemand is, is bovendien niet zo toegankelijk want dan zitten zij op school.

Het toevoegen van een **chat optie** werd regelmatig aangehaald: het is anoniemer, jongeren zijn het gewoon om met berichten te werken, en het zal hen het gevoel geven dat ze sneller worden geholpen met hun vraag. Volgens een leerkracht is de installatie van een chatbot tegenwoordig ook heel eenvoudig op een website. Een hybride systeem waarbij vragen eerst automatisch naar een FAQ doorverwijzen en pas nadien naar een medewerker kan ook. Dit zal het stellen van vragen laagdrempeliger maken voor jongeren, vooral jongeren die minder taalvaardig zijn.

Een duidelijk **icoon** voor het contactblok of een **foto** om het wat meer persoonlijk/informeler te maken zou ook zinvol zijn. Vaak is de stap voor ouders te groot om te praten met mensen die ze niet kennen (zelfs al voor oudercontact).

### **Door klassikale ondersteuning via een leerkracht:**

Verder wordt ook ondersteuning door een leerkracht meermaals gesuggereerd. Zeker voor BSO jongeren of jongeren met een migratieachtergrond is dit belangrijk, zowel om de website te leren gebruiken als voor de interpretatie van de resultaten. Leerkrachten vinden de tool echter bijzonder goed geschikt om een **klasactiviteit** aan te koppelen. *“Leerkrachten zijn al met deze thema’s bezig, dus dat kan daar goed in passen. Ik zie deze tool als een goede klasactiviteit omdat er heel wat leerdoelen in terugkomen. Ook al doen niet alle kinderen uit de klas mee met de studie.”*

Belangrijke voorwaarde is echter dat er een **korte leidraad** toegevoegd wordt voor de klasleerkracht. Dat kan in de vorm van een powerpoint, met bv. een korte introductie, theorie, en een afsluitend spelletje. Of fiches met verschillende soorten stoffen. Een leerkracht benadrukte dat deze leidraad wel best professioneel wordt opgemaakt, want de didactiek erachter moet wel goed zitten. Een andere leerkracht benadrukte dat het vooral op een speelse en interactieve manier gebracht moet worden en niet té schools wordt opgevat.

## iii) **Visualiseren**

Enkele aanbevelingen hebben betrekking op het visuele aspect:

- Werken met **vaste iconen**, met name op de stofpagina’s (bv. voor meer info, gezondheidsrisico, tips, ...). Op de startpagina kunnen de icoontjes worden uitgelegd, dan kunnen jongeren heel gericht gaan zoeken.
- Werken met **kleurencodes** bij de samenvatting van resultaten, bijvoorbeeld van groen naar rood waarbij je direct ziet voor welke stoffen je goed zit en voor welke niet.
- De website is een persoonlijk rapport, dus je zou deze nog wat meer kunnen **personaliseren**: bv. de voornaam van de deelnemer invoegen op de homepage zodat jongeren persoonlijk aangesproken worden. Dit heeft veel impact op de leeservaring.

Om visueel te kunnen optimaliseren, raadde een leerkracht aan de website te laten screenen en adviseren door een IT-firma gespecialiseerd in *user experience*. Zij kunnen detecteren welk type doelgroep een website op een bepaalde manier bekijkt.

## iv) **Differentiëren**

Tot slot worden enkele suggesties gedaan om de inhoud meer te differentiëren.

Eén leerkracht stelt radicaal om voor jongeren een andere, **meer beknopte tool** te maken: *“Je kan beter een onderscheid maken: ouders informeren doe je best zo grondig mogelijk.”*



*Dat kan via deze tool. Daarnaast zullen ook jongeren behoefte hebben aan wat feedback, maar dan op hun niveau, en daarvoor niet via deze tool. Ik zou dat opsplitsen en ook de info uit elkaar trekken. De versie voor jongeren moet beknopter zijn, zoveel mogelijk op 1 pagina zodat ze niet te veel moeten zoeken. Zoals een soort barometer dat weergeeft hoe ze scoren voor de stoffen en in heel eenvoudige taal duidelijk maken wat dat voor hen betekent. En tips op maat van jongeren formuleren; over dingen die ze zelf in de hand hebben.”*

Enkele eerdere uitspraken spreken dit enigszins tegen, en dus lijkt er geen consensus over te bestaan. In sommige gevallen zijn het bijvoorbeeld de jongeren die hun ouders moeten informeren. Dit pleit dus veeleer voor een uniforme tool, die verder vereenvoudigd kan worden en waarbij ondersteuning kan worden voorzien bij de interpretatie (zie vorige punten).

Over het feit dat de **tips meer op maat van jongeren** kunnen worden gemaakt bestaat wel eensgezindheid. Dit wordt meermaals aangehaald. *“De tips moeten basisdingen zijn die eenvoudig zijn toe te passen en ook haalbaar zijn. De thema’s van de tips zullen wel sneller meisjes triggeren dan jongens, omdat ze vaak te maken hebben met kledij en voeding. Ze zijn ook meer bezig met die onderwerpen want meisjes doen over het algemeen meer in het huishouden dan jongens.”*

Sommige leerkrachten zijn er ook voorstander van om niet enkel verhoogde maar ook **verlaagde resultaten** als persoonlijke hoofdboodschap weer te geven. Andere leerkrachten vinden dit niet nodig omdat jongeren (net als volwassenen bij bijvoorbeeld een bloedonderzoek via de huisarts) vooral geïnteresseerd zullen zijn in resultaten die hoger zijn dan gemiddeld. Bovendien wordt zo vermeden dat er té veel info op de homepage zal staan.

### 2.3.5 Conclusies en aanbevelingen

In deze prospectieve evaluatiestudie werden zes diepte-interviews gevoerd met leerkrachten uit het secundair onderwijs (2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> graad). Het doel van deze gesprekken was om meer inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van de digitale DERBI tool voor het terugkoppelen van individuele meetwaarden aan studiedeelnemers, specifiek met een doelgroep jongeren in gedachte (14-15 jarigen). Het beperkte opzet van deze verkennende studie stelt niet in staat om veralgemenende uitspraken te doen, maar de zes gesprekken leverden desalniettemin heel wat zinvolle reflecties en aanbevelingen op.

De tool werd overwegend positief beoordeeld door de leerkrachten, maar tegelijk werden ook heel wat aandachtspunten en mogelijke drempels aangehaald. Positieve elementen zijn de logische en duidelijke opbouw, de persoonlijke boodschappen en de tips om blootstelling te beperken. Het taalgebruik wordt overwegend niet als te complex, betuttelend of alarmerend ingeschat. En de leerkrachten denken dat deze tool een grotere kans maakt om jongeren te bereiken dan een klassieke brief, die wellicht enkel bij de ouders terecht zal komen.

Toch vinden de leerkrachten de tool vooral op maat gemaakt van een volwassen publiek of voor jongeren die al geïnteresseerd zijn in wetenschap, milieu of gezondheid. Creatieve communicatie rondom de tool zal nodig zijn om ook andere doelgroepen te triggeren.

Jongeren hebben over het algemeen nood aan goed gestructureerde, visuele en korte communicatie. Dat geldt algemeen zo voor digitale communicatie, maar zeker ook voor jongeren die zijn opgegroeid met sociale media en een overaanbod aan informatie. Als ze niet meteen getriggerd worden, of niet goed begrijpen waarover het gaat, dan zullen de meesten snel afhaken.

De DERBI tool speelt daar in belangrijke mate al op in, door informatie aan te bieden op een gelaagde, persoonlijke en visueel aanvaardbare manier. Er is echter nog veel ruimte voor verbetering op vier specifieke terreinen:



- 1) **Vereenvoudigen en verduidelijken**, door meer in te zetten op concreet taalgebruik en een luchtige vormgeving.
- 2) **Ondersteunen**, door de website beter te structureren, bijvoorbeeld aan de hand van een instructiefilmpje of stappenplan, door communicatiekanalen op maat van jongeren te voorzien, en door de tool te koppelen aan een klasactiviteit zodat ondersteuning van een leerkracht mogelijk is.
- 3) **Visualiseren**, door meer te werken met iconen en kleuren.
- 4) **Differentiëren**, door bepaalde inhoud en boodschappen op te delen naar doelpubliek.

Deze aanbevelingen zullen niet allemaal even evident toe te passen zijn binnen de grenzen van de huidige DERBI tool. Maar een vertaalslag richting jongeren is toch belangrijk, niet in het minst omdat blijkt dat met name in BSO richtingen het net de leerlingen zijn die de ouders informeren over belangrijke thema's. Via een digitale tool maken we net meer kans om ook deze jongeren te bereiken, maar het moet dan wel op hun maat. Alvorens de aangepaste tool in praktijk te brengen, kan het in dat opzicht nog zinvol zijn om ook jongeren zelf te bevragen.

### 2.3.6 Referenties

- Boronow, K. E., Susmann, H. P., Gajos, K. Z., Rudel, R. A., Arnold, K. C., Brown, P., . . . Brody, J. G. (2017). DERBI: A Digital Method to Help Researchers Offer "Right-to-Know" Personal Exposure Results. *Environmental Health Perspectives*, 125(2), A27-A33.
- Coertjens, D., Morrens, B., Paulussen, M., & Van de Mieroop, E. (2015). *Deelnemersevaluatie humane biomonitoring jongerencampagnes Gentse Kanaalzone en Vlaanderen*. Steunpunt Milieu en Gezondheid.
- Franken, C., Den Hond, E., Coertjens, D., Morrens, B., & Loots, I. (2020). *Deelnemersevaluatie humane biomonitoring jongerencampagne 2016-2020*. Steunpunt Milieu en Gezondheid.
- Jonker, H., Coertjens, D., Morrens, B., Loots I., Schoeters, G. (2021). *Report-Back 2.0, Naar een nieuw concept voor een digitale risicocommunicatie over persoonlijke blootstelling aan milieugevaarlijke stoffen*, Eindrapport Strategisch Project Provincie Antwerpen.
- Loots, I., Morrens, B., Coertjens, D., & Goeyens, K. (2016). *Spelregels Risicocommunicatie (4de versie)*, Steunpunt Milieu en Gezondheid.
- Morrens, B., Jonker, H., Den Hond, E., Coertjens, D., Colles, A., Schoeters, G., Van Larebeke, N., Nawrot, T., Covaci, A., Nelen, V., Vandermoere, F., & Loots, I. (2021). Participant Experiences in a Human Biomonitoring Study: Follow-Up Interviews with Participants of the Flemish Environment and Health Study. *Toxics*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/toxics9040069>

## 3 WERKPAKKET 3 PLATFORM HUMANE BIOMONITORING

### 3.1 SWOT-ANALYSE HBM BIJ JONGEREN

CARMEN FRANKEN, ILONA GABARET, ANNELIES DE DECKER, ELLY DEN HOND

—  
PROVINCIAAL INSTITUUT VOOR HYGIËNE

#### 3.1.1 Inleiding

Het Vlaamse Humane-biomonitoringsprogramma (VHBP) werd opgestart in 2002 door het Steunpunt Milieu en Gezondheid, in opdracht van de Vlaamse overheid. Humane biomonitoring (HBM) meet de blootstelling aan milieuvervuilende stoffen en mogelijke gezondheidseffecten in het lichaam van de mens, bv. in bloed- en urinestalen. Met grootschalige meetcampagnes in algemeen Vlaanderen en in specifieke aandachtsgebieden werd de milieugezondheid in Vlaanderen de voorbije twee decennia goed in kaart gebracht en werd samen met beleidsmakers op Vlaams en lokaal niveau getimmerd aan het milieugezondheidsbeleid. Het VHBP doorliep vier cycli, waarbij steeds werd voortgebouwd op de sterktes en ervaringen van de voorbije jaren (1-2).

#### 3.1.2 Doel

Het doel van deze analyse is om de ervaring van de vier eerdere VHBP's te vertalen naar een optimaal protocol voor dataverzameling en studie design in de toekomst. We willen dit realiseren op een manier die de continuïteit met het verleden maximaal garandeert, en dus maximaal aansluit bij het bestaande studieprotocol van de 'klassieke HBM'. Tegelijkertijd willen we gebruik maken van nieuwe en kosten-efficiënte innovatieve trends. We zullen onder meer nieuwe benaderingen onderzoeken, zoals het gebruik van burgerwetenschap (*Citizen Science*). We nemen de aanbevelingen en conclusies mee op in deze SWOT-analyse.

De doelgroep waarop we ons in deze analyse richten zijn de jongeren, aangezien de HBM bij adolescenten in de vier cycli de rode draad waren doorheen het VHBP, onder meer om tijdstrends op te volgen of om blootstelling in aandachtsgebieden te vergelijken met die in de algemene Vlaamse bevolking.

#### 3.1.3 SWOT analyse

Een SWOT-analyse is een methode om **sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen** (*Strengths, Weaknesses, Opportunities & Threats*) van een project of proces te evalueren ten behoeve van de strategische planning. De interne factoren die gunstig of ongunstig zijn benoemen we als sterktes/zwaktes; de factoren die gunstig of ongunstig zijn voor het verwezenlijken van de externe doelstellingen klasseren we als kansen/bedreigingen.

In de **Vlaamse HBM** gebruiken we blootstellingsmerkers en gezondheidsmetingen om o.a. de relatie tussen blootstelling en (vroegtijdige) gezondheidseffecten te onderzoeken, tijdstrends in Vlaanderen op te volgen, de opkomst van nieuwe chemicaliën in ons leefmilieu te analyseren, en specifieke onderzoeksvragen over nieuwe thema's te beantwoorden.

Om de SWOT-analyse toe te passen op de Vlaamse HBM, splitsen we het proces op in verschillende deelaspecten, nl. **1) studieprotocol; 2) rekrutering; 3) veldwerk; 4) data management en analyse; 5) communicatie**. Per onderdeel beschrijven we sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen. Er wordt afgesloten met een **advies** voor toekomstig onderzoek.





Doorheen de jaren werden verschillende deelnemersevaluaties uitgevoerd (3-7). De inhoud van deze rapporten wordt mee opgenomen in deze SWOT-analyse.

Samenvatting: definities SWOT-analyse



### 3.1.3.1 Studieprotocol

Het studieprotocol wordt aan de start van de studie in detail uitgewerkt, gaande van een beschrijving van de onderzoeksvragen, selectie en rekrutering van deelnemers, procedure voor veldwerk, gegevensverzameling en verwerking, kwaliteitsbewaking tot communicatie.

Het VHBP heeft door zijn **lange historiek en voortdurende bijsturing** een sterke basis. Het studieprotocol wordt gevormd door een proces van gedragen beslissingen afkomstig van een **multidisciplinair team** met een sterke wetenschappelijke kennis en expertise. In dit team is er een sterke interactie tussen partners die door een uitgebreid netwerk internationaal erkend zijn. Dit zorgt ervoor dat het Vlaamse HBM-onderzoekconcept en de manier waarop het wordt uitgevoerd robuust is en in heel Europa en zelfs daarbuiten gekend is. Wanneer het studieprotocol finaal is, wordt het voorgelegd aan het Ethisch Comité en na goedkeuring wordt gestart met de uitvoering.

Doordat het studieprotocol uit een **lange periode van onderzoek tot eindresultaten** bestaat, wordt ervaren dat dit een negatieve invloed heeft op o.a. de communicatie naar deelnemers en beleidsvertaling.

Voor deelnemers bedraagt de tijd tussen rekrutering en ontvangst van de resultaten ongeveer 1 tot 2 jaar. Hierdoor vervaagt de inhoud en bijgevolg ook de betrokkenheid. Ook de complexiteit van het onderzoek is een mogelijke hindernis: het gebruik van medische termen en moeilijke toxicologische namen is onvermijdelijk. Aangezien er ook uitspraken worden gedaan over gezondheidsrisico's is nuancering noodzakelijk, maar de balans bewaren tussen eenvoudig communiceren en een genuanceerde boodschap brengen is telkens een uitdaging. Een advies voor toekomstig onderzoek kan zijn dat deelnemers tussentijds meer betrokken worden bij de studie en niet enkel bij de start of het einde wanneer de resultaten beschikbaar zijn.



Hiervoor zou er bij de start van de studie een duidelijk systeem opgezet kunnen worden zodat er tijdens het onderzoek meer gecommuniceerd wordt over bijvoorbeeld timing i.v.m. veldwerk en analyses en beschikbaarheid van resultaten (bijv. via nieuwsbrieven, *social media*, ...). Op deze manier kunnen moeilijke boodschappen ook stapsgewijs worden aangeboden, waardoor ze toegankelijker worden. Dit vergt extra communicatiemomenten (en bijgevolg kosten en personeelstijd doorheen het project), maar anderzijds kan het ook winst opleveren omdat de finale communicatie dan efficiënter kan verlopen.

Voor de opdrachtgever (de Vlaamse overheid) is de doorlooptijd van concept tot resultaat nog langer (4-5 jaar). Ook hier kan tussentijds betrekken van stakeholders een opportuniteit zijn om aan deze uitdaging tegemoet te komen. Stakeholders kunnen heel ruim worden gezien, bv. diverse overheden, externe wetenschappers, middenveldorganisaties, deelnemers zelf, geïnteresseerde burgers. Betrekken van stakeholders bij het concept, bij de interpretatie en bij de beleidsvertaling kan op verschillende manier gebeuren, hetzij louter informeren, hetzij actief betrekken via een participatief proces. Dit heeft implicaties op de kosten, maar ook op de uitkomsten. Betrokkenheid en participatie kunnen resulteren in gedragen conclusies en bijgevolg een groter draagvlak om de resultaten en beleidsadviezen te laten doorvloeien naar het betrokken werkveld en de burgers. In de 4<sup>e</sup> cyclus van het Steunpunt Milieu en Gezondheid werd deze stakeholder betrokkenheid reeds toegepast bij de drie thema's die aan bod kwamen, nl. ruimtegebruik, ecologische voeding & binnenhuismilieu.

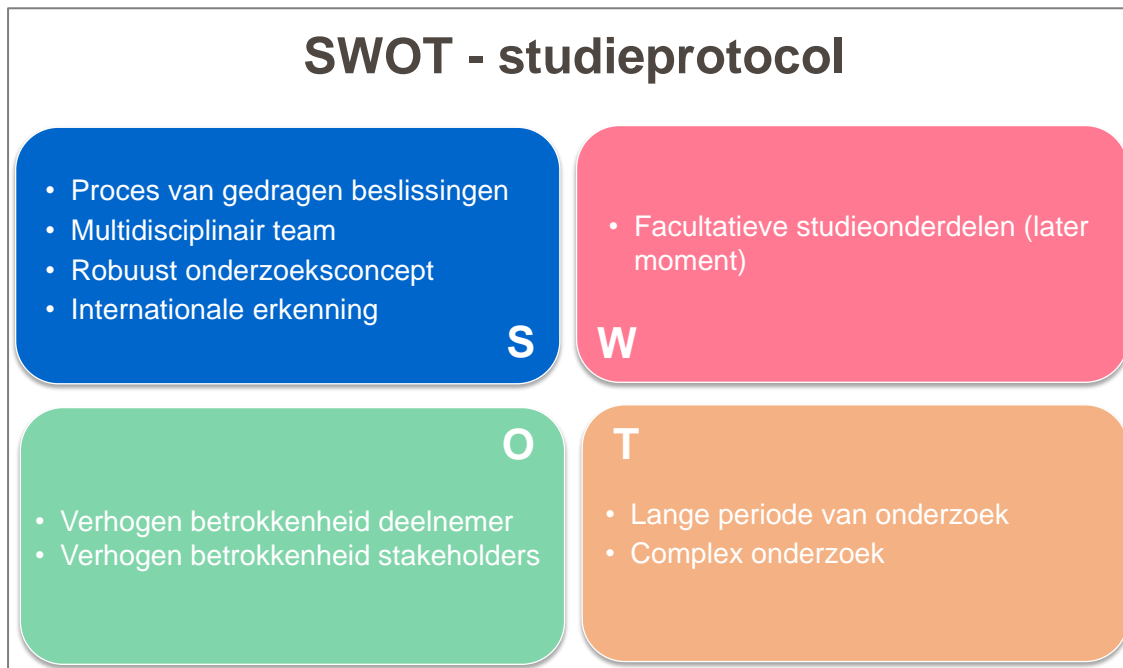
In voorgaande Vlaamse HBM-campagnes werden deelnemers naast het collectieve onderzoek ook uitgenodigd voor een aantal **facultatieve onderdelen**. Enkele voorbeelden van deze onderdelen met het deelnamepercentage worden in de tabel hieronder opgelijst (Tabel 12).

Tabel 12: Overzicht van facultatieve onderdelen met deelnamepercentages

| HBM-campagne | Facultatief studieonderdeel                                                                                                                    | Deelnamepercentage                                                                   |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| FLEHS IV     | Bezorgen van enkele foto's van de thuisomgeving om de hoeveelheid groen te kwantificeren                                                       | 154 / 610 (25,2%)                                                                    |
| FLEHS IV     | Verzamelen van raamstof binnen- en buitenshuis via een meetpakket met raamstickers en veegdoekjes om luchtvervuiling te meten                  | 282/610 toonden interesse; 134/610 (22,0%) voerden de studie volledig en correct uit |
| FLEHS IV     | Plaatsen van twee meetbuisjes aan de straatkant van de woning voor de bepaling van de stikstofdioxide concentratie (maat voor luchtvervuiling) | 59/345 toonden interesse; 46/345 (13,3%) voerden de studie volledig en correct uit   |

Om het lage deelnamepercentage van facultatieve onderdelen in de toekomst te verhogen wordt aanbevolen om de extra onderdelen samen met het collectief onderzoek in één pakket aan te bieden en hier dan ook de beloning aan te koppelen. Hierbij is communicatie naar de deelnemer zeer belangrijk, i.e. het goed kaderen van het doel van het onderzoek en benoemen van de motivatie voor deelnemers om erin te stappen. Daarnaast moet ook de meerwaarde t.o.v. bestaande databanken voldoende worden afgetoetst. Bijvoorbeeld: om de hoeveelheid groen binnen verschillende buffers rond het thuisadres van de jongeren en van hun school te berekenen werd uiteindelijk beroep gedaan op de hoog-resolutie Groenkaart Vlaanderen i.p.v. de foto's die de deelnemers hebben ingezonden. Ook het veldwerk werd hierdoor extra belast.





### 3.1.3.2 Rekrutering van scholen en deelnemers

Om een representatieve deelnemersgroep voor Vlaanderen te bekomen wordt in de Vlaamse HBM-campagnes gerekruteerd via een gestratificeerd geclusterd multi-stage design. De selectie van deelnemers is wetenschappelijk onderbouwd waarbij gestreefd wordt naar een gelijke verdeling volgens geslacht, onderwijsvorm en provincie. In de vier eerdere campagnes werd steeds op dezelfde manier gerekruteerd.

#### Scholen

Om de rekrutering en onderzoeken zo vlot mogelijk te laten verlopen, is de primaire sampling unit van jongeren de school aangezien de schoollocatie zich goed leent voor veldwerk. **Scholen overtuigen** om mee te werken aan de studie wordt echter jaar na jaar moeilijker: het % scholen dat deelneemt (uitgedrukt ten opzichte van het aantal gecontacteerde scholen) is in de loop van de jaren gedaald (Tabel13). Daardoor wordt het contacteren en overtuigen van de scholen steeds arbeidsintensiever. Eén van de voornaamste redenen is de overbevraging van de directies. Daarom is voor toestemming van scholen belangrijk dat zij voldoende het **belang** van deelname zien (wat is de winst voor de school?) en dat het zo goed mogelijk **geïntegreerd** wordt **in bestaande structuren** (wat is de last voor de school?). Het mag niet als een extra belasting ervaren worden. Bijvoorbeeld door (i) toelichting te koppelen aan les over milieu en gezondheid (gegeven door onderzoekers), (ii) veldwerk te koppelen met CLB onderzoek, (iii) leerlingen in de school laten meewerken aan veldwerk (als leertraject, stage).

Tabel 13: Deelnamepercentage van de scholen

| HBM-campagne                      | FLESH I       | FLEHS II      | FLEHS III     | FLEHS IV      |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Deelnamepercentage scholen</b> | 42 / 50 (84%) | 11 / 23 (48%) | 12 / 34 (35%) | 20 / 47 (43%) |

Voldoende scholen overtuigen is een arbeidsintensief proces. In voorgaande campagnes werd als **motivator** gebruik gemaakt van een aanbevelingsbrief afkomstig van de minister (FLEHS II) of van de opdrachtgever (FLEHS IV).



De impact van deze brieven werd nooit op een systematische manier geanalyseerd, maar directies geven regelmatig aan dat ze de vraag eerst willen terugkoppelen binnen de school, bv. met het schoolteam, de raad van bestuur of de oudervereniging. In dergelijke gevallen is een formele aanbeveling zeker een waardevol instrument. Daarnaast werd een nieuw lespakket ontwikkeld door Prof. Etienne Van Hecke, emeritus en betrokken in de opleiding van aardrijkskunde leerkrachten. In één van de eerste HBM-campagnes werd namelijk de feedback gegeven dat voor een nieuw lespakket best advies kon ingewonnen worden van iemand met onderwijservaring. Dit kwam voort uit negatieve ervaringen in het verleden: maar weinig leerkrachten gebruikten het lespakket omdat het teveel voorbereidingswerk vereiste en praktisch niet handig was (telefonische rondvraag PIH, oktober 2006). Het lespakket dat werd ontwikkeld in FLEHS IV werd verdeeld in alle scholen nadat de HBM campagne was afgerond. Er kwam weinig respons op de vraag per mail om feedback te leveren. Dit betekent niet noodzakelijk dat het lespakket niet gebruikt wordt. Mogelijk was de evaluatiebevraging te summier en te laat (nadat het contact met de school in principe was beëindigd). Via de overheid (Vlaams Planbureau Omgeving) vernemen we dat zij het lespakket positief evalueren. Het advies voor toekomstige studies zou dus zijn om het lespakket bij de start van de studie aan te bieden (en mogelijk ook te evalueren). Daarnaast kan gedacht worden over extra incentives om de deelname van de scholen te stimuleren. Doordat zij vaak over een beperkt budget beschikken zou een bon om een bepaalde faciliteit of schooluitstap te ondersteunen een mogelijk idee kunnen zijn. Samenwerking met educatieve trajecten van partners uit het consortium kan overwogen worden, bv. PIME (provinciaal instituut voor milieu educatie) in Lier, via MOS (milieuzorg op school) van de Vlaamse overheid, enz...

Om een **representatieve deelnemersgroep** te verkrijgen, worden scholen vooraf geselecteerd (i.e. scholen met voldoende leerlingen en studierichtingen). Dit vraagt heel wat rekenwerk en beperkt ons in de mogelijkheid om een breed gamma aan scholen aan te kunnen schrijven. Als alternatief zou er gewerkt kunnen worden via een open inschrijvingssysteem waarbij in een tweede stap een subgroep geselecteerd zou kunnen worden om de representativiteit in de studie te behouden. Op deze manier sluiten we dichterbij een *citizen science* benadering, waarbij ook gewerkt wordt met een open oproep. Hierbij zouden o.a. scholen met een hoger percentage GOK-leerlingen voorrang kunnen krijgen om zo meer jongeren uit kansengroepen te kunnen includeren. Een bijkomend voordeel om via een open inschrijvingssysteem te werken is dat de school geëngageerd is om aan het onderzoek mee te willen werken en dit gepaard gaat met ondersteuning vanuit de school om het onderzoek in goede banen te leiden. Bij het post-hoc selecteren van scholen uit een pool van aangemelde scholen is het belangrijk om nog steeds rekening te houden met de selectiecriteria die in de vorige campagnes werden gehanteerd, nl. verdeling landelijke/stedelijke scholen; verdeling over de 5 Vlaamse provincies; minimale afstand tussen 2 scholen; evenwichtige balans wat betreft studietypes (ASO/TSO/BSO/KSO). Daarnaast is het ook belangrijk om rekening te houden met de praktische modaliteiten, bv. zoeken naar een goede balans tussen grote en kleine scholen, zodat het totaal aantal scholen gelijk blijft en er geen extra kosten voor veldwerk worden gecreëerd.

Uit voorgaande campagnes werd reeds geconcludeerd dat de aanwezigheid van **één verantwoordelijke** in de school (bv. een onthaalmedewerker, een biologieleraar, eventueel een verpleegkundige), die zich actief inzet om uitleg te geven bij de studie (of eventueel zorgt dat iemand van het Steunpunt in alle klassen een les komt geven) en die zorgt voor motivatie bij de leerlingen en alles praktisch regelt voor het ophalen van de brieven, een grote meerwaarde is bij het verloop van de rekrutering. De ervaring van de studieverpleegkundigen van het PIH leert dat zowel praktische elementen (één persoon die alles regelt) als communicatieve aspecten (motiveren en persoonlijk aanspreken van de leerlingen) belangrijk zijn in het succes van de rekrutering.

De **timing** om het onderzoek aan te kondigen in de scholen is ook belangrijk. Om het schooljaar in goede banen te leiden, dient er bij de start nog heel wat praktische regelingen getroffen te worden. Daarnaast zijn er op het einde van het trimester/schooljaar teveel andere activiteiten en examens.



Daarom kan het zijn dat het als té belastend wordt ervaren om het onderzoek er nog bij te doen (leerlingen missen lessen), of de mensen vergeten de brief omdat het al zo'n drukke periode is. Er wordt voorgesteld om het onderzoek net na de start van het schooljaar te lanceren (eind september - begin oktober) of na de kerstperiode (eind januari - begin februari). Voor wat betreft de rekrutering van de jongeren, die loopt over een volledig schooljaar, geeft deze 2-fase aanpak voldoende ruimte om het veldwerk tijdsefficiënt en op een kwaliteitsvolle manier uit te voeren.

### Deelnemers

Een belangrijke motivatie om deel te nemen aan het onderzoek is het verkrijgen van informatie over de gezondheid, de kwaliteit van de leefomgeving of de relatie tussen beiden. Het gaat voornamelijk over de **individuele gezondheid** (bv. "omdat ik wil weten hoe gezond ik leef", "omdat ik wel geïnteresseerd ben om meer over mijn gezondheid te weten te komen") en interesse in de individuele resultaten (bv. "omdat ik benieuwd ben naar mijn bloedresultaten"). Naast een inhoudelijke motivatie blijkt ook de **beloning** veel jongeren te motiveren om deel te nemen. In de eerste twee HBM-campagnes werd gebruik gemaakt van cinema of pretpark tickets, in de twee laatste campagnes werd er overgeschakeld naar €20 cash geld. In de toekomst kan er echter geen gebruik gemaakt meer worden van cash geld omdat de bedrijfsrevisor van het PIH deze procedure heeft afgekeurd. Als alternatief zou er nog wel gewerkt kunnen worden via een overschrijving, meestal op het rekeningnummer van de ouders. Dit zou in de toekomst minder motiverend kunnen werken omdat er uit voorgaande studies werd opgemerkt dat jongeren graag iets tastbaars ontvangen. Verder houdt het extra administratie in voor het veldwerk én voor de jongeren/ouders. Een waardebon is mogelijk een interessanter alternatief. Hierbij is het belangrijk om te kiezen voor een duurzaam en breed inzetbaar type cadeaubon.

Heel wat jongeren weigeren aan het HBM-onderzoek deel te nemen omwille van **angst**, in eerste instantie angst voor de afname van een bloedstaal of het leveren van een urinestaal. Sommigen hebben ook schrik om geconfronteerd te worden met afwijkende waarden, bv. omdat sommige jongeren roken zonder dat de ouders dit weten. Om deelnemers te overtuigen is het belangrijk om de informatie op een duidelijke manier over te brengen (in eenvoudig taalgebruik) en alle barrières bespreekbaar te maken. Dit wordt in elke school gedaan a.d.h.v. een **mondelijke toelichting** 'op maat van de doelgroep'. Indien er vragen of onduidelijkheden zijn, kunnen de leerlingen hiervoor meteen terecht bij de onderzoeker (verlaagt de drempel). In het verleden werd reeds aangegeven dat de toelichting hen (extra) motiveerde om deel te nemen. Vooral deelnemers uit het BSO en TSO gaven aan dat de toelichting hen heeft gemotiveerd. Eenmaal jongeren gemotiveerd zijn, zullen ze nadien zélf hun ouders overtuigen om het toestemmingsformulier of Informed Consent (IC) te ondertekenen. Een **getekende brief van de directie** toevoegen aan de informatiebrief kan ook voor sommige ouders vertrouwen inboezemen (de school steunt de studie).

In de 3<sup>de</sup> en 4<sup>de</sup>-HBM campagne werd telkens een **promofilmje** voor en door jongeren gemaakt. Deze filmpjes kunnen teruggevonden worden via respectievelijk <https://www.youtube.com/watch?v=6DjdMd5CcEA> en <https://vimeo.com/235547180>. Ze hadden tot doel om de studieverpleegkundigen te ondersteunen bij hun toelichting op school. Na rondvraag bij de studieverpleegkundigen kan besloten worden dat de ontwikkeling van een promofilmje zeker een meerwaarde is en het sterke hulp kan zijn om het onderzoek op een aantrekkelijke en duidelijke manier toe te kunnen lichten. Omwille van de veranderende tijdstrends, is een regelmatige update wel belangrijk.

Alle jongeren die in aanmerking kwamen voor deelname aan de biomonitoring ontvingen tijdens de mondelinge toelichting een **promobrochure** waarin de opzet van het onderzoek werd uitgelegd. In de laatste twee campagnes werd er steeds meer moeite gestoken om het communicatiemateriaal op maat van de jongere te maken (Figuur 16).



Dit werd door de deelnemers positief geëvalueerd i.e. de meerderheid van de jongeren die hebben deelgenomen aan de 3<sup>de</sup> HBM-campagne vond de brochure duidelijk of zeer duidelijk: deze oogde mooi en bevatte niet te veel tekst waardoor hij geschikt was voor de doelgroep. De promobrochure helpt daarbij om de studie bekendheid te geven. Tijdens elk communicatiemoment werd er naar de folder gerefereerd zodat zowel ouders als jongeren een houvast hadden en een link met het onderzoek konden leggen.



Figuur 16: Promobrochures van de 3<sup>de</sup> en 4<sup>de</sup> HBM-campagnes

Omdat de rekrutering van jongeren in de loop der jaren steeds moeizamer verloopt, werd er in de 3<sup>de</sup> HBM-campagne een pilootproject uitgevoerd met als doel de haalbaarheid (respons van de leerlingen en praktische aspecten) van een **samenwerking met het CLB** om de rekrutering van jongeren te testen. Dit resulteerde in één positieve en één negatieve ervaring (Tabel14). Het verschil was voor een groot deel toe te schrijven aan de inzet en motivatie van de contactpersoon. In het eerste geval werkten we samen met een ex-collega die zeer veel tijd spendeerde aan het uitnodigen, motiveren en overtuigen van de jongeren; in het tweede geval was er geen specifieke ondersteuning en vielen we terug op de ‘routine’ communicatie tussen CLB en school. Dit laatste zal vermoedelijk het uitgangspunt zijn in de meeste CLB’s. Hieruit kon besloten worden dat rekruteren via CLB’s geen meerwaarde is om nadelen weg te werken.

Tabel 14: Respons via CLB

|                         | Aantal brieven uitgedeeld | Aantal toestemmingen | Percentage |
|-------------------------|---------------------------|----------------------|------------|
| CLB 1 (voorjaar Mol)    | 44                        | 30                   | 68,2%      |
| CLB 2 (najaar Turnhout) | 63                        | 12                   | 19,0%      |

Wat wel een positief effect op de rekrutering heeft, is om jongeren in de studie op te nemen die in het **verleden** al eens hebben deelgenomen. Een goed voorbeeld hiervan is de rekrutering in de 4<sup>de</sup> HBM-campagne waarin twee verschillende groepen werden gerekruteerd: een volledig nieuwe referentiegroep en een groep die bij de geboorte reeds aan de 1<sup>ste</sup> HBM-studie heeft deelgenomen. Bij deze laatstgenoemde groep werd een hogere deelnemersrespons bereikt. Een verklaring hiervoor is dat ouders die bij de geboorte van het kind beslisten om aan de studie deel te nemen, opvolging van de gezondheid van hun kind en dus het vervolg van de studie belangrijk vinden. Hierdoor zijn zij een extra motivator om de jongere te overtuigen om aan de studie deel te nemen. Een nadeel is dat deze aanpak hoogstwaarschijnlijk leidt tot een bias in de selectie: vooral hoger opgeleide en goed geïnformeerde gezinnen nemen deel aan het vervolgonderzoek.

Deze (nieuwe) groep is zeer gemotiveerd en geëngageerd om alles correct uit te voeren, maar is qua sociale klasse niet representatief voor de algemene Vlaamse bevolking.



Binnen het multidisciplinaire team is er door de groep van de sociale wetenschappers van de UA specifieke expertise opgebouwd om **drempels voor deelname bij minder toegankelijke doelgroepen** (diverse etnische achtergrond, taalbarrières, lager opgeleide groepen) te verlagen. Vanaf de 3<sup>de</sup> HBM-campagne werden specifieke maatregelen uitgetest en geëvalueerd in het kader van het PhD onderzoek van Bert Morrens (8-9). Voorbeelden hiervan zijn: vereenvoudiging van de taal in toestemmingsformulieren en informatiefolders, werken met een buddy systeem, inspelen op culturele verschillen in de verstrekte informatie, rekening houden met GOK (gelijke onderwijskansen) indicatoren bij de selectie van de scholen , enz... Deze aanbevelingen worden systematisch toegepast en verder verfijnd.

Samenvatting: SWOT-analyse rekrutering



### 3.1.3.3 Veldwerk

Tijdens het veldwerk worden deelnemers onderzocht door een team van ervaren studieverpleegsters waarbij een reeks van onderzoeken worden uitgevoerd: o.a. bloedafname, urinestaal, haarstaal, wegen en meten, meting van de bloeddruk, ademtest (eNO) en cognitieve testen. Het veldwerk werd in het verleden georganiseerd via **collectief georganiseerde individuele onderzoeken op school** of via huisbezoeken. Het collectief organiseren van individuele onderzoeken op school heeft verscheidene voordelen: meerdere jongeren kunnen op één dag worden onderzocht, tijd wordt uitgespaard doordat a.d.h.v. een rotatiesysteem gewerkt kan worden, de laborant kan ter plaatse aanwezig zijn voor de verwerking/uitverdeling van de stalen (scholen beschikken over voldoende plaats), het opzetten van de testen neemt tijd in beslag waardoor het efficiënter is om dit voor een groep deelnemers te doen (daarbij is het ook niet goed om het materiaal voor iedere deelnemer steeds op en af te zetten), etc. Een huisbezoek wordt dus enkel aangeraden indien het niet anders kan, bv. indien de deelnemers te ver uit elkaar wonen, indien het ook nodig is om de thuisomgeving te bemonsteren (bv. stofstalen, bodemstalen, ...). Dit resulteert immers in een grotere tijdsbesteding van de onderzoekers en de deelnemer (omdat er per deelnemer extra tijd nodig is om alle materiaal klaar te zetten).

Verder kan het ook een impact hebben op de rekrutering; voor sommige deelnemers kan een huisbezoek een extra drempel zijn, ten eerste omwille van de privacy, en ten tweede omdat jongeren vaak liever deelnemen aan een collectief moment ('erbij horen').

Alvorens de deelnemer onderzocht wordt, dient hij/zij samen met de ouders een **toestemmingsformulier** ('*Informed Consent*') te vervullen. Het ondertekenen van een toestemmingsformulier met juridische taal kan argwaan scheppen bij mensen die minder geschoold zijn, zo bleek uit onze ervaring bij de pasgeborenencampagne van het 3<sup>de</sup> Steunpunt (10). Daarom werd in de 4<sup>de</sup> HBM-campagne op advies van het onderwijscentrum Gent de ontwerpversie van het *Informed Consent* nagelezen en aangepast door de vzw Wablieft, een expertisecentrum rond duidelijk taal. Het nieuwe toestemmingsformulier, dat oorspronkelijk uit een doorlopende tekst van 3 bladzijden met vaak lange paragrafen bestond, werd aangepast en ingedeeld in 3 secties: een introductiedeel dat de jongere persoonlijk aanspreekt en kort de bedoeling schetst, een deel met praktische info over het onderzoek (wat, waar, wanneer, ...) en een deel met extra info over de studie (verzekering, reststalen, extra onderzoek, ...). De tekst werd ingedeeld in zeer korte paragrafen met telkens een vraag als titel (Wat vragen we van jou? Wat krijg je van ons?). Om de leesbaarheid van de persoonsgegevens te verhogen, wordt er voorgesteld om in de volgende campagne m.b.v. drukletters en invulvakjes te werken. In sommige aandachtgebieden met belangrijke groepen bewoners met een niet-Belgische achtergrond (bv. Turkse gemeenschap in Genk-Zuid) werden de studiedocumenten vertaald en werden tolken voorzien voor het invullen van de vragenlijsten. In de context van de referentie-HBM is dit moeilijker te organiseren omdat het dan gaat om individuele deelnemers, en niet om groepen van deelnemers, waardoor de kosten-baten voor de vertaling minder voordeliger is. In de referentie-HBM is één van de voorwaarden voor inclusie dat deelnemers voldoende Nederlands moeten spreken.

Om extra informatie te verkrijgen van de deelnemers over o.a. hun levensstijl, leefomgeving, gezondheid, gedrag en perceptie worden naast de medische onderzoeken ook **vragenlijsten** afgenomen. In de eerste 3 HBM-campagnes werden vragenlijsten **op papier** voorzien. De ingevulde gegevens werden vervolgens via het inscannen van de vragenlijsten in een databank gebracht. In de 4<sup>de</sup> HBM-campagne echter hadden de deelnemers en ouders de keuze om de vragenlijsten op papier of **elektronisch in te vullen**. Een nadeel van deze strategie was dat de data afkomstig van de papieren en elektronische vragenlijsten moeilijk te harmoniseren was. De reden hiervoor is dat deelnemers op papier niet verplicht zijn een antwoord op een vraag in te vullen, terwijl elektronisch moet men de vraag invullen vooraleer naar een volgende vraag kan worden gegaan. Dit resulteerde in deels onvolledige datasets. Uit recente milieu-gezondheid studies bleek dat wanneer de keuze niet wordt gegeven er een hoog percentage van mensen door het sterk opkomend digitaliseringsfenomeen de vragenlijst elektronisch invullen (jongeren hebben steeds meer en meer toegang bv. via de GSM). Voordelen van het elektronische systeem zijn de controles die ingebouwd kunnen worden zodat de kwaliteitscontrole van de data nadien minder tijd vergt en de volledigheid van de data. Om specifieke groepen niet uit te sluiten, blijft er de mogelijkheid om de vragenlijst op papier in te vullen. Deze methode wordt echter pas in tweede instantie aangeboden. Het elektronisch invullen van vragenlijsten via een gebruiksvriendelijk systeem (o.m. geschikt voor computer, tablet of GSM) dat aantrekkelijk is qua lay-out (o.m. gebruik van eigen lay-out, mogelijkheid om foto's of afbeeldingen te gebruiken ter verduidelijking) en toelaat om kwaliteitscontroles in te bouwen (bv. minimum en maximum waarden voor een geboortedatum, lichaamslengte, enz...) biedt interessante mogelijkheden voor de toekomst. De studieverpleegkundigen van het PIH volgen regelmatig opleiding om up-to-date te blijven en om ervaring op te doen voor het efficiënt formateren van de verschillende types van vragen.





Het afnemen van de vragenlijsten tijdens het veldwerk door de studieverpleegkundige wordt niet meteen als een mogelijke optie gezien aangezien het heel wat tijd in beslag neemt van zowel de studieverpleegkundige als de deelnemer. Aangezien het veldwerk in de school momenteel tussen de 40 en 60 minuten in beslag neemt, is een bijkomend tijdsslot voor het persoonlijk afnemen van de vragenlijsten een keuze die moeilijk te verdedigen is. Daarnaast is het ook slechts een gedeeltelijke oplossing omdat enkel de jongeren persoonlijk gecontacteerd wordt, en de ouders ook een deel van de vragenlijsten invullen.

In het verleden werden vragenlijsten soms **telefonisch afgenomen**. Dit proces is zeer arbeidsintensief (vele deelnemers moeten meerdere keren worden opgebeld vooraleer ze bereikt worden), moet meestal buiten de kantooruren gebeuren (extra kosten voor overuren), en vereist een goede training om voldoende consistentie te garanderen tussen interviewers. Deze optie is dus ook kostelijk en tijdsintensief.

In de Vlaamse HBM worden steeds meer en meer biomerkers gemeten. Dit brengt ook met zich mee dat er veel ondersteunende informatie nodig is om de biomerkers correct te interpreteren. Daarnaast werken we in een multidisciplinair team, en zijn er dus vele invalswegen om eenzelfde merker te analyseren. De **complexiteit en omvang** van de vragenlijsten wordt bijgevolg een steeds grotere uitdaging in ons onderzoek. Dit kan leiden tot meer missende informatie of tot onbetrouwbare informatie. Hulpmiddelen voor de toekomst kunnen zijn: kritisch naar de vragen kijken 'Kan elke deelnemer deze vraag invullen?', het gebruik van vaktermen vermijden, afbeeldingen gebruiken om specifieke termen te verduidelijken, uitleg meegeven aan de deelnemer waarom een set van vragen wordt gesteld, ...

Zowel de bloedafname als urinecollectie blijven voor de deelnemer een serieuze uitdaging. Om **urine** te collecteren zijn er twee mogelijke wegen, ofwel 's ochtends thuis ofwel tijdens het onderzoek. Beide opties hebben voor- en nadelen. Zo voelt de deelnemer thuis minder druk om in een potje te plassen, maar dient hij/zij het potje wel mee naar school te nemen. De urine kan dan niet meteen koel gezet worden en daarnaast is de kans groter dat de deelnemer vergeet het urinepotje mee naar de onderzoeksdag te nemen. Een mix van ochtend- en spoturine zal hierdoor worden gecollecteerd. Logistiek is het ook niet evident om de urinecontainer over Vlaanderen te verdelen (brengt extra kosten met zich mee). Een nadeel om urine tijdens het onderzoek te collecteren is dat sommige jongeren niet op commando naar het toilet kunnen gaan. De deelnemer krijgt dan wel heel de onderzoeksdag de kans om een gevuld urinepotje aan de studieverpleegkundige te overhandigen, waardoor een ontbrekend staal zeldzaam is. Omwille van standaardisatie (bv. keuzes in het Europese HBM protocol) is het mogelijk dat er in de toekomst geopteerd zal worden voor een specifiek type staal. In de HBM4EU workshop die plaats vond op 23-24 november 2021 was één van de conclusies dat ochtendurine (*first morning urine*) de voorkeur geniet, zowel vanuit praktisch als vanuit wetenschappelijk standpunt.

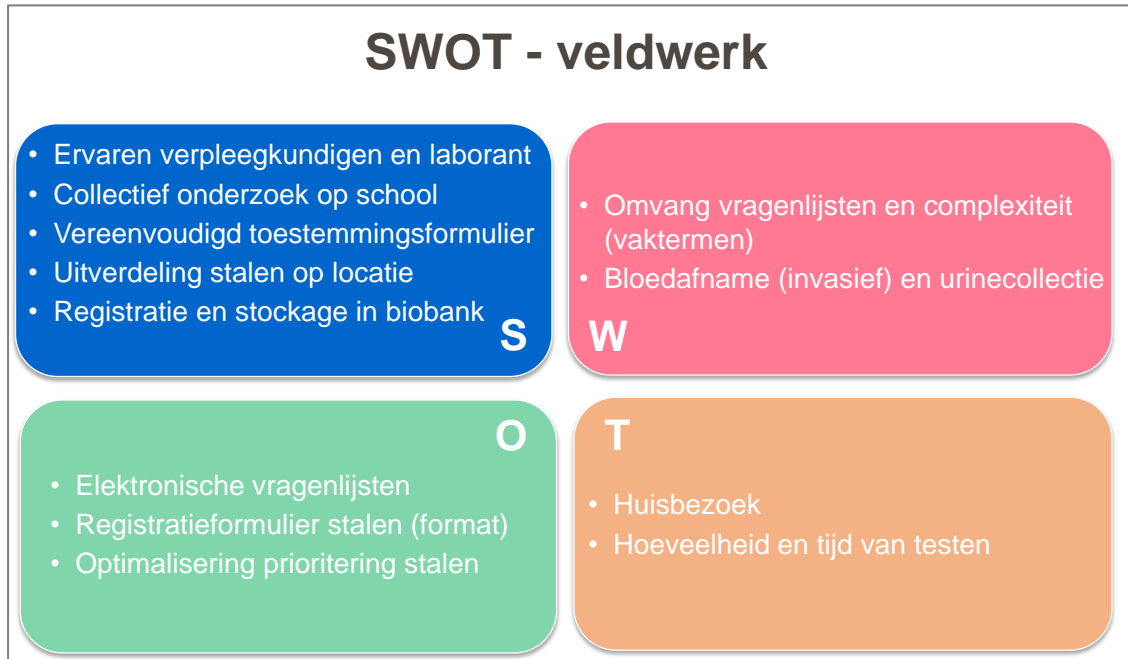
De studieverpleegkundige tracht de angst van de deelnemer tijdens de **bloedafname** (= een logisch gevoel) te verminderen door de jongere op zijn/haar gemak te stellen. Dit wordt gedaan door de jongere voldoende informatie mee te geven en af te leiden van de prik. Deze aanpak werd in voorgaande HBM-campagnes als positief en geruststellend ervaren.

De aanwezigheid van een laborant tijdens het veldwerk die zorg voor de **verwerking van bloed en urine** (centrifugeren, aliquoteren, labellen en op de correcte temperatuur stockeren) tijdens het veldwerk verloopt goed en gestructureerd dankzij de ervaring die doorheen de jaren werd opgebouwd. Deze manier van werken zorgt ervoor dat de laborant de stalen 's avonds of de volgende dag niet meer moet verwerken.



Dit vertaalt zich in minder tijdsdruk om de stalen binnen de juiste tijd naar een laboratorium te verzenden of te stockeren in de biobank, en bijgevolg in een betere kwaliteit van de stalen. Een voorstel voor verbeterpunten voor de volgende HBM-campagne is: lay-out van het registratieformulier meer afstemmen op hoe de staalgegevens uiteindelijk in de databank komen (minder kans op fouten) en de prioritering van stalen optimaliseren ('Kan het volume van de laatst gevulde tube, indien er onvoldoende is, de prioritering wijzigen?').

Samenvatting: SWOT-analyse veldwerk



### 3.1.3.4 Data management en analyse

De ontwikkeling van een finale dataset en codeboek komt voort uit een goede samenwerking tussen partners ('geen geïsoleerd verhaal'). Het **codeboek** heeft over de jaren heen de grootste evolutie doorgemaakt: zo bestond het in de 1<sup>ste</sup> HBM-campagne uit verschillende bestanden met versnipperde informatie en werd het in de 4<sup>de</sup> HBM-campagne geharmoniseerd tot één uniform bestand. Dit bestand bevat de betekenissen en bronnen van alle data. Alles bij elkaar brengen is zowel voor de statisticus als onderzoeker een meerwaarde wanneer er wordt overgegaan tot uitvoering van statistische analyses. In de toekomst zou er meer ingezet kunnen worden op **automatisering** om fouten te minimaliseren en tijd te besparen (bijvoorbeeld: automatisering kwaliteitscontrole o.b.v. het codeboek, automatisering van berekening afgeleide variabelen van de toxicologische databank).

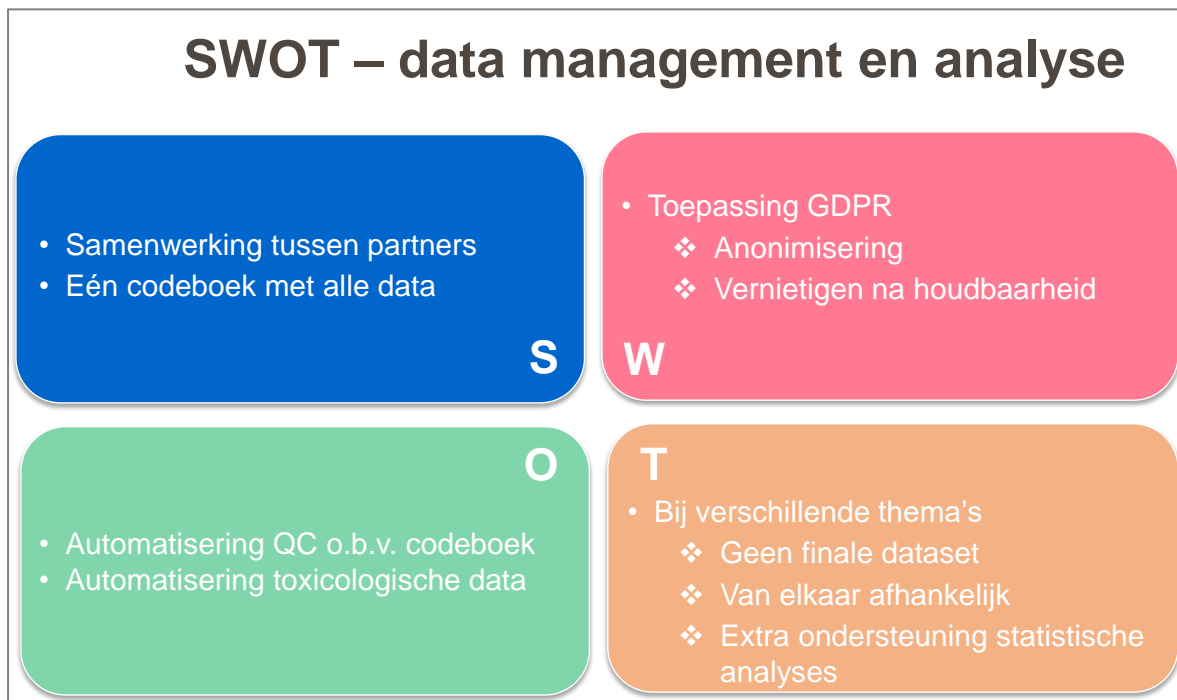
Het opvragen van **externe gegevens** (bv. KMI-gegevens, CLB-gegevens, ...) blijkt tot op de dag van vandaag goed te gaan. Een belangrijk punt hierbij is dat er voldoende rekening gehouden wordt met de toestemming van de deelnemer, voor o.a. het gebruik van het rijksregisternummer voor opvraging van CLB-gegevens en adresgegevens voor opvraging van klimatologische gegevens (temperatuur, fijn stof concentraties, pollenconcentraties, etc.). De uitwisseling met externen gebeurt momenteel via verschillende platformen (OneDrive, Belnet, Sharepoint). Dit is nodig om de privacy en veiligheid van doorgifte te garanderen. Het is goed om verschillende kanalen te hebben, zodat er voldoende back-up is. Anderzijds kan het zorgen voor meer verwarring of fouten in het beheer. In de toekomst is het mogelijk interessanter om vanaf één centraal HBM platform te werken.



In de laatst uitgevoerde HBM-campagne werd er tegelijkertijd op **verschillende thema's** gewerkt. Hierdoor hadden statistici een extra taak om de trekkers van elk thema te ondersteunen bij de statistische analyses. Deze manier van werken heeft zowel voor- als nadelen: zo kunnen er op korte termijn via parallelle sporen heel wat analyses uitgevoerd worden, maar heeft het daarnaast wel een negatief effect op de ontwikkeling van de finale dataset. De kans is groot dat tijdens de analyses niet met een finale dataset wordt gewerkt omdat er steeds extra variabelen berekend moeten worden. De finale dataset wordt dan pas aan het einde van de studie gegenereerd. Dit alles maakt dat ook de statistici meer afhankelijk zijn van de onderzoekers en *vice versa*. Om fouten en misverstanden te vermijden zijn goede basisafspraken en continu overleg essentieel.

Sinds de komst van de **GDPR** (General Data Protection Regulation) in 2018 moet er steeds meer rekening gehouden worden met wat men kan of mag doen met iemands persoonsgegevens. Zo dienen gegevens bij overdracht steeds gepseudonimiseerd te zijn en vernietigd te worden als de houdbaarheid verstreken is. Ook in de volgende HBM-campagne zal er met de GDPR rekening gehouden moeten worden wat het proces van uitwisseling van gegevens bemoeilijkt. Ook in het kader van de Europese HBM (toekomstig project PARC) zijn goed overwogen keuzes belangrijk omdat er de ambitie is om de gegevens via een aanvraagprocedure toegankelijk te maken voor andere onderzoekers (principe van *open source data*). Enerzijds is dit een gunstige evolutie omdat de data gegenereerd zijn dank zij financiering van de overheid en interessant zijn voor vele beleidsmakers en wetenschappers. Anderzijds gaat het om gezondheidsgegevens die extra bescherming vragen. Het is dus belangrijk om vooraf correcte en transparante spelregels te hanteren zodat alle partijen (deelnemer, onderzoekers, opdrachtgevers) goed geïnformeerd zijn, en zodat alle protocollen (overeenkomsten, toestemmingen, machtigingen) in orde zijn.

Samenvatting: SWOT-analyse data management en analyse



### 3.1.3.5 Communicatie

De communicatie van HBM-resultaten volgt steeds twee fasen:

1. In de **eerste fase** wordt de individuele uitslag van de metingen persoonlijk meegedeeld aan de deelnemers. Deelnemers kunnen in het Informed Consent aangeven of ze de resultaten willen ontvangen, of ze helemaal niet willen ontvangen. Resultaten die moeilijk interpreteerbaar zijn op individueel niveau worden enkel op vraag van de deelnemers gecommuniceerd, steeds vergezeld van toelichting. Deze vragen zijn zeer zeldzaam, maar komen occasioneel wel voor. Resultaten worden onmiddellijk meegedeeld indien ze van medisch belang zijn voor de betrokkene. Resultaten van bijkomende analyses op de biobankstalen worden enkel op vraag van de deelnemers meegedeeld.
2. Na verwerking van alle individuele resultaten worden in een **tweede fase** de collectieve meetresultaten voor heel Vlaanderen gecommuniceerd. De deelnemers aan het onderzoek blijven de eerste externe bestemmingen van de onderzoeksresultaten. Zij krijgen de voornaamste collectieve resultaten samen met hun individuele resultaten persoonlijk toegestuurd.

De communicatie van resultaten is een zeer **transparant** proces. Er werd doorheen de HBM-campagnes veel ervaring opgedaan binnen het team, en op basis hiervan werd een goede balans gevonden tussen het multidisciplinair consortium en beleid. Door de lange voorgeschiedenis waarover het Vlaamse HBM-programma beschikt, is er veel achtergrondinformatie op verschillende niveaus beschikbaar. Veel van deze achtergrondinformatie wordt samengebracht op een duidelijke **website** [www.milieu-en-gezondheid.be](http://www.milieu-en-gezondheid.be). Via de website is veel communicatiemateriaal beschikbaar. Dit wordt regelmatig ge-update en is opgemaakt in een herkenbare lay-out (in de laatste campagne werd hier sterk op ingezet). Hierdoor kan er door deelnemers, stakeholders, burgers, etc. steeds de link gemaakt worden met de studie.

Een grote uitdaging in elke HBM-campagne is om 'eenvoudig' te communiceren. De studie omvat **veel en complexe materie** en wordt uitgevoerd door een sterk wetenschappelijk team waardoor het niveau hoog ligt. Dit zorgt ervoor dat er binnen het multidisciplinaire team extra aandacht is om informatie op lekeniveau aan een doorsnee burger aan te bieden.

Voor de deelnemer zal de complexiteit in de toekomst meer opgevangen kunnen worden door persoonlijke resultaten aan te bieden via een **elektronisch** systeem (bv. DERBI is een tool om individuele resultaten te digitaliseren, zie: <https://silentspring.org/project/digital-exposure-report-back-interface-derbi>). Tot op de dag van vandaag werd er steeds op papier gewerkt. Het belangrijkste voordeel van een elektronisch systeem is dat de informatie gelaagd aan de persoon kan worden aangeboden. Zo is de deelnemer niet verplicht om alles te lezen, maar enkel de zaken waar hij/zij geïnteresseerd in is. Visuele aspecten in de tool kunnen helpen om de begrijpelijkheid van materie te verhogen. Een vraag die we ons nog wel kunnen stellen is 'Welk alternatief is er als we niet elke deelnemer elektronisch kunnen bereiken?'. Is er dan een alternatief voorhanden?

Het digitale platform zal voor elke deelnemer ook een persoonlijke uitleg of advies kunnen voorzien. Dit is iets wat in het verleden niet verwezenlijkt kon worden door het groot aantal deelnemers die aan de studie deelneemt (vraagt automatisering). Het Silent Spring Institute dat DERBI heeft ontwikkeld, heeft momenteel een algoritme geschreven om per persoon een hoofdboodschap en advies te destilleren op basis van de resultaten. Deze tool kan in de toekomst – mits een beperkte kost – specifiek uitgetest en aangepast worden voor de Vlaamse HBM.

De **ongerustheid** van de deelnemer werd in voorgaande HBM-campagnes o.a. opgevangen door **individuele consultaties** die door ervaren artsen werden aangeboden. In de referentiestudies werden deze consultaties telefonisch uitgevoerd.

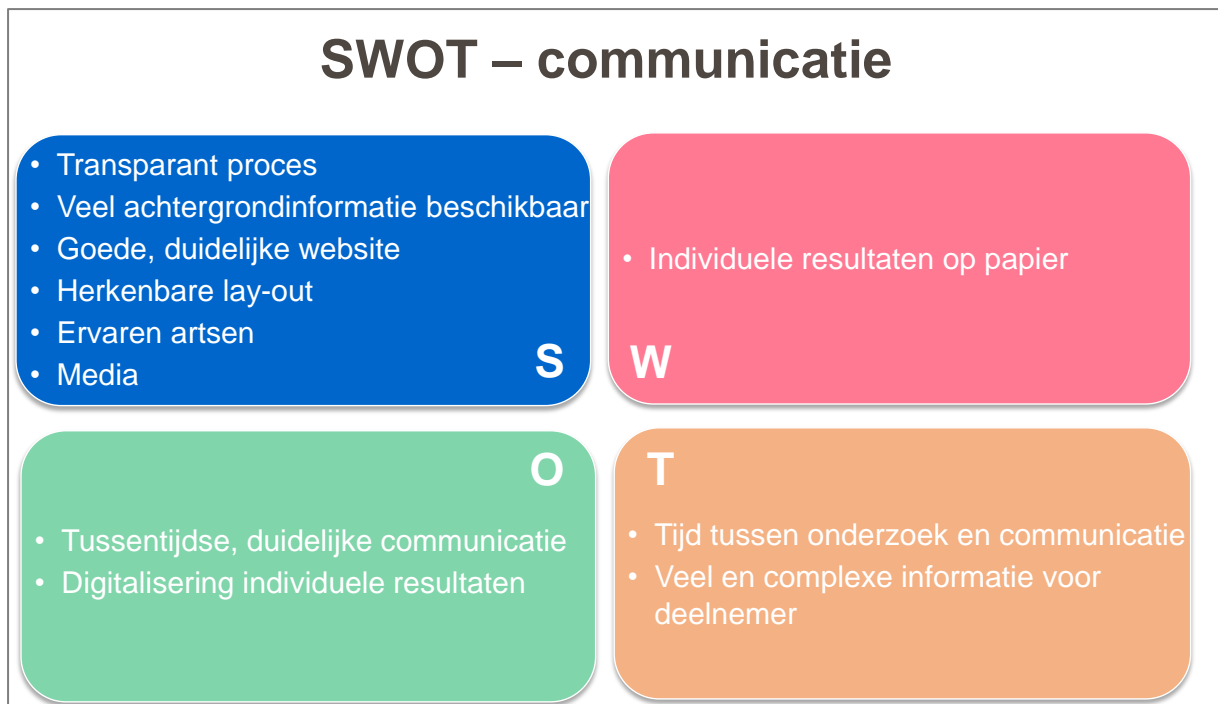


In hotspot gebieden met een meer lokale clustering, had de arts de mogelijkheid om naar het infomoment te komen en daar de consultaties fysiek te laten doorgaan. Aangezien de drempel voor sommige deelnemers hiervoor wat te groot is, werden er in de 4<sup>de</sup> HBM-campagne **filmpjes** opgemaakt en op de website geplaatst om deelnemers een houvast te geven, nl. over hoe ze hun individuele resultatenbrief moeten lezen en hoe ze hun persoonlijke resultaten moeten interpreteren. A.d.h.v. een evaluatie werd opgemerkt dat de website en dus ook de filmpjes jammer genoeg weinig werden bekeken. De drempel naar de website en andere media verlagen zou voor de toekomstige HBM-studie een mooie opportuniteit zijn. Indien er beroep wordt gedaan op het digitale platform zou de deelnemer via deze tool naar de website/filmpjes geleid kunnen worden.

Er werd in de 4<sup>de</sup> HBM-campagne ook sterk geïnvesteerd in het opmaken van **tips** voor het verminderen van de blootstelling. Dit werd goed opgepikt en beoordeeld door deelnemers, en is daarnaast ook bruikbaar in toekomst. Daarom wordt er voorgesteld om deze tips/handvaten zeker mee in de nieuwe HBM-campagne op te nemen.

De groepsresultaten werden goed opgepikt in de **media**. Een duidelijk **persbericht** werd opgesteld bestaande uit een kernboodschap (3-4 zinnen), krachtige titels en tussentitels en gebruik van duidelijke/heldere taal. Daarbij hielp het om via communicatieverantwoordelijken het persbericht vooraf onder aandacht van de pers te brengen met behoud van spelregels (onder embargo).

Samenvatting: SWOT-analyse data management en analyse



### 3.1.4 Conclusie en beleidsaanbevelingen

In het Vlaams Humaan Biomonitoringsprogramma (VHBP) werd in de voorbije 20 jaar beleidsvoorbereidend milieugezondheidsonderzoek met een sterke wetenschappelijke basis uitgevoerd via vier humane biomonitoringscycli (1<sup>ste</sup> tot 4<sup>de</sup> Steunpunt Milieu en Gezondheid).



Dankzij een lange historiek met voortschrijdende kennis en voortdurende bijsturing en dankzij de samenwerking van een multidisciplinair onderzoeksteam in nauw contact met de begeleidende overheden, bestaat er momenteel een sterk basisprotocol om HBM in de Vlaanderen uit te voeren, zowel in de algemene bevolking als in hotspot gebieden. In deze analyses focussen we op de campagnes bij jongeren aangezien zij de rode draad zijn doorheen de verschillende VHBP's.

Om de continuïteit van het VHBP te garanderen, en om de kennis en ervaringen uit het verleden te behouden, is het belangrijk om de interne en externe sterktes (*strengths & opportunities*) maximaal te verankeren naar de toekomst toe. Deze zijn o.m.

- een consistente en gevalideerde methodiek om op een wetenschappelijk onderbouwde manier deelnemers te informeren, rekruteren, onderzoeken volgens gestandaardiseerde protocols, bevragen via standaard vragenlijsten en resultaten zowel collectief als individueel terug te rapporteren; in alle processen wordt rekening gehouden met privacy issues en de insteek van een multidisciplinair team zodanig dat de data vanuit meerdere oogpunten geanalyseerd en geïnterpreteerd kunnen worden;
- inzetten op specifieke maatregelen om moeilijk bereikbare groepen te betrekken in het onderzoek;
- kwaliteitsvol beheer van de stalen via een gestandaardiseerde protocol, zowel voor de geplande metingen als voor de bewaring op langere termijn (biobank);
- een historische gegroeide en goed uitgebouwde manier om de databank op te bouwen en te beheren op een gevalideerde en goed gedocumenteerde manier;
- een set van communicatiemethodieken en materialen om informatie en kennis mee te delen aan groepen en aan individuen, gebaseerd op up-to-date kennis en achtergrondinformatie.

Toch zijn er inherent ook zwaktes en bedreigingen (*weaknesses & threats*) verbonden aan het onderzoek. Deze zijn vooral gerelateerd aan de complexiteit van het onderzoek, de rigide protocollen die nodig zijn om de kwaliteit te kunnen garanderen en de lange doorlooptijd van het gehele project, net omdat er veel en vanuit diverse invalshoeken gemeten wordt en er bijzondere aandacht uitgaat naar garanties om consistente en hoogwaardige resultaten af te leveren. Om hier op in te spelen, kan in de toekomst stapsgewijs worden ingezet op nieuwe, participatieve processen, zodanig dat het onderwerp en de studie toegankelijker worden voor een breder en divers publiek. Een aantal concrete ideeën die in de toekomst overwogen kunnen worden zijn o.m.

- selectie van de scholen via een open oproepsysteem dat dichter aansluit bij een citizen science approach;
- meer tussentijds communiceren, zowel naar de deelnemers als naar de stakeholders, en dit via een participatief proces waarbij we de doelgroepen zelf zo veel mogelijk betrekken;
- meer inzetten op elektronische en nieuwe toepassingen om metingen uit te voeren, o.m. via self-sampling technieken, via uitbouw van elektronische vragenlijsten, enz.; indien mogelijk via de principes van burgerwetenschappen;
- gebruik maken van een elektronische communicatietool om persoonlijke resultaten mee te delen in plaats van een papieren versie; op die manier kan de informatie veel meer gelaagd en persoonsgericht worden aangeboden.

**Besluit:** in de toekomst willen we in het Vlaams Humaan Biomonitoringsprogramma de sterke basis en Europese voortrekkersrol behouden die Vlaanderen momenteel inneemt door vast te houden aan de kern-elementen uit het verleden; tegelijkertijd willen we aandacht hebben voor vernieuwende elementen, met de nadruk op een betere toegankelijkheid van het onderzoek, ondersteund via een participatief traject.



### 3.1.5 Referenties

- Schoeters G, Den Hond E, Colles A, Loots I, Morrens B, Keune H, Bruckers L, Nawrot T, Sioen I, De Coster S, Van Larebeke N, Nelen V, Van de Mieroop E, Vrijens J, Croes K, Goeyens K, Baeyens W. Concept of the Flemish human biomonitoring programme. *Int J Hyg Environ Health*. 2012; 215:102-8.
- Schoeters G, Govarts E, Bruckers L, Den Hond E, Nelen V, De Henauw S, Sioen I, Nawrot TS, Plusquin M, Vriens A, Covaci A, Loots I, Morrens B, Coertjens D, Van Larebeke N, De Craemer S, Croes K, Lambrechts N, Colles A, Baeyens W. Three cycles of human biomonitoring in Flanders - Time trends observed in the Flemish Environment and Health Study. *Int J Hyg Environ Health* 2017; 220:36-45. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.11.006.
- Morrens, B., Coertjens, D., & Loots, I. (2012). Deelnemersevaluatie campagne humane biomonitoring hotspots Gent-Zuid en Menen.
- Coertjens, D., Morrens, B., Paulussen, M., & Van de Mieroop, E. (2015). Deelnemersevaluatie humane biomonitoring jongerencampagnes Gentse Kanaalzone en Vlaanderen.
- Paulussen, M., & Van de Mieroop, E. (2015). Respons pilootproject: rekrutering via het CLB in jongerencampagne FLEHS III.
- Morrens, B., Coertjens, D., & Loots, I. (2018). Deelnemerservaring studie humane biomonitoring: Interviews moeder pasgeborenen FLEHS III.
- Franken, C., Den Hond, E., Coertjens, D., Morrens, B., & Loots, I. (2020). *Deelnemersevaluatie humane biomonitoring jongerencampagne 2016-2020*.
- Morrens B, Bruckers L, Loots I, Den Hond E, Nelen V, Van Larebeke N, Sioen I, Schoeters G, Baeyens W. Environmental Justice under Our Skin? Socio-Stratifying Human Biomonitoring Results of Adolescents Living Near an Industrial Hotspot in Flanders, Belgium (p. 185-199), in: Druffel K (ed.), **Looking Within: Finding an Environmental Justice and Global Citizenship Lens**, ISBN: 978-1-84888-251-5, Inter-Disciplinary Press, Oxford, United Kingdom.
- Morrens B, Den Hond E, Schoeters G, Coertjens D, Colles A, Nawrot TS, Baeyens W, De Henauw S, Nelen V, Loots I. Human biomonitoring from an environmental justice perspective: supporting study participation of women of Turkish and Moroccan descent. *Environ Health* 2017; 16:48. doi: 10.1186/s12940-017-0260-2.
- Morrens B, Jonker H, Den Hond E, Coertjens D, Colles A, Schoeters G, Van Larebeke N, Nawrot T, Covaci A, Nelen V, Vandermoere F, Loots I. Participant Experiences in a Human Biomonitoring Study: Follow-Up Interviews with Participants of the Flemish Environment and Health Study. *Toxics* 2021; 9:69. doi: 10.3390/toxics9040069.

## 3.2 SENTINEL APPROACH VIA ARBEIDSGENEESKUNDE

LIESBETH GILISSEN<sup>1</sup>, ANNELIES DE DECKER<sup>2</sup>, SARA PAUWELS<sup>1</sup>, ILONA GABARET<sup>2</sup>, SOFIE VANDENBROECK<sup>1</sup>, LODE GODDERIS<sup>1</sup>, ELLY DEN HOND<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Omgeving en Gezondheid, Departement Maatschappelijke Gezondheidszorg en Eerstelijnszorg, KU Leuven, Leuven*

<sup>2</sup> *Dienst Milieu-Gezondheid, Provinciaal Instituut voor Hygiëne (PIH), Antwerpen*

### 3.2.1 Inleiding

In dit document willen we de mogelijkheden verkennen om via een sentinel surveillance van arbeidsgeneeskundige diensten humane biomonitoringsdata te verzamelen bij een representatieve steekproef van de volwassenen bevolking in Vlaanderen. De dataverzameling dient te vertrekken vanuit de doelen en noden van het Vlaams humaan biomonitoringsprogramma (VHBM), tot nu toe uitgevoerd door het Steunpunt Milieu en Gezondheid, in opdracht van de Vlaamse overheid.

Om dit doel te bereiken, zullen we in dit rapport de mogelijkheden onderzoeken om een sentinel approach via arbeidsgeneeskunde toe te passen binnen de bestaande, huidige richt- en krijtlijnen van een VHBM. We ontwerpen allereerst een concept en stellen daarna een roadmap voor om dit protocol in Vlaanderen toe te passen.

Op het einde van dit rapport zullen we conclusies formuleren, die een antwoord bieden op de voornaamste vragen: is het mogelijk om humane biomonitoringsdata te verzamelen voor een representatieve Vlaamse volwassen populatie via sentinel van arbeidsgeneeskundige diensten? En zo ja, welke zijn dan de randvoorwaarden hiervoor om dit te kunnen toepassen in het kader van een VHBM?

De Wereldgezondheidsorganisatie definieert een sentinel surveillance als een opvolgsysteem waarbij hoogwaardige gegevens over een bepaalde gezondheidsproblematiek worden verzameld, die niet via een passief systeem kunnen worden verkregen.

Een sentinel surveillance bij klinische artsen maakt bewust gebruik van een beperkt netwerk van zorgvuldig geselecteerde meldingslocaties en is ontworpen om trends te signaleren, uitbraken te identificeren en de ziektelast in een gemeenschap op te volgen, waardoor het een snel en economisch alternatief biedt voor andere surveillancemethoden (1). Het gebruik van sentinel approaches om blootstellingsgegevens te verzamelen is tot op heden nog beperkt. Een uitzondering is het Franse *Surveillance Medical des Risques (SUMER)*, een cross-sectionele nationale studie over arbeidsgeneeskundige risico's waar kwaliteitsvolle blootstellingsgegevens werden verzameld via sentinel surveillance (2). In België werd de sentinel-benadering recent succesvol getest in de *PROBE (Hazardous chemical Products Register for Occupational use in Belgium)* studie. Via deze pilootstudie was het mogelijk om op korte termijn hoogwaardige data te verkrijgen van een groot aantal medewerkers over blootstelling aan chemische stoffen in de arbeidsomgeving (3). In PROBE werden online vragenlijsten afgenomen van werknemers door arbeidsgeneeskundigen, die vooraf werden geselecteerd en opgeleid om de bevraging correct uit te voeren. Sentinel surveillance in het kader van HBM werd tot op heden nog niet gedaan en vormt het onderwerp van deze verkenning.

In dit document wordt onderzocht of het uitbreiden van het sentinel concept naar humaan biomonitoringsonderzoek bij een representatieve Vlaamse volwassen populatie, inclusief staalafnames, haalbaar is. Het document zal de condities en voorwaarden definiëren om een sentinel-benadering op te zetten in het kader van het Vlaams humaan biomonitoringsprogramma, en in de praktijk toe te passen. Daarbij worden per hoofdstuk de verschillende stappen van het onderzoeksdesign van een humaan biomonitoringsonderzoek besproken, waarbij wordt nagegaan op welke manier de link kan worden gelegd naar surveillance via arbeidsgeneeskunde. In eerste instantie focussen we ons op één arbeidsgeneeskundige dienst, namelijk IDEWE. Om het veldwerk concreet te maken, wordt uitgegaan van een concrete case (sampling van PFAS in serum) als voorbeeld.

## 3.2.2 Doelgroep

### 3.2.2.1 Welke groep van volwassenen bereiken we via de arbeidsgeneeskundige dienst?

Indien we via de arbeidsgeneeskundige dienst rekruteren, dan samplen we enkel de werkende Vlaamse bevolking. Tabel 15 geeft het percentage werkenden, werklozen en de inactieve burgers tussen 15 en 65 jaar in Vlaanderen op basis van de 'enquête naar arbeidskrachten' van 2016 (laatst beschikbare data in Statbel (4)). De inactieve bevolking omvat alle personen die tijdens een referentieweek geen werk hadden en evenmin werkloos waren (volgens de definities van het Internationaal Arbeidsbureau); bv. huismannen/-vrouwen, studenten, personen die vrijwilligerswerk doen, gepensioneerden, enz. op voorwaarde dat ze geen betaald werk hebben uitgevoerd, geen job zoeken of niet onmiddellijk beschikbaar zijn voor een job.

Van de 15- tot 24-jarigen werkt in totaal 27%, van de 25- tot 49-jarigen werkt in totaal 85% en van de 50- tot 64-jarigen werkt in totaal 59%. Het percentage werkenden op de totale bevolking is voor elke leeftijdsgroep hoger bij mannen dan bij vrouwen (Tabel 15).





Tabel 15: Percentage werkenden, werklozen en inactieve burgers in Vlaanderen volgens 3 leeftijdsgroepen tussen 15 en 65 jaar

|            |                    | Mannen | Vrouwen | Totaal |
|------------|--------------------|--------|---------|--------|
| Werkenden  | Van 15 tot 24 jaar | 28%    | 26%     | 27%    |
|            | Van 25 tot 49 jaar | 89%    | 81%     | 85%    |
|            | Van 50 tot 64 jaar | 65%    | 53%     | 59%    |
| Werklozen  | Van 15 tot 24 jaar | 6%     | 3%      | 4%     |
|            | Van 25 tot 49 jaar | 4%     | 4%      | 4%     |
|            | Van 50 tot 64 jaar | 2%     | 2%      | 2%     |
| Inactieven | Van 15 tot 24 jaar | 66%    | 71%     | 69%    |
|            | Van 25 tot 49 jaar | 7%     | 15%     | 11%    |
|            | Van 50 tot 64 jaar | 33%    | 45%     | 39%    |

Rekenen we dit om, dan zal 64% van de werkende mannen en vrouwen zich tussen de leeftijd van 25 tot 49 jaar bevinden, 29% tussen de leeftijd van 50 tot 64 jaar en 7% tussen de leeftijd van 15 tot 24 jaar. Verder bestaat 53% van de werkende Vlaamse bevolking uit mannen.

Indien we deze cijfers vergelijken met de verdeling van 15- tot 64-jarigen in de totale bevolking (5), dan zien we een oververtegenwoordiging van 25- tot 49-jarigen in de werkende bevolking (64% t.o.v. 50%), een lichte ondervertegenwoordiging van 50- tot 64-jarigen (29% t.o.v. 32%) een duidelijke ondervertegenwoordiging van jongeren (7% t.o.v. 17%). We stellen ook een lichte ondervertegenwoordiging van vrouwen (47% t.o.v. 50%) vast (Tabel 16).

Tabel 16: Verdeling 15 - 64 jarigen in de werkende bevolking ten opzichte van de totale bevolking

|                                                 |                    | Mannen     | Vrouwen    | Totaal      |
|-------------------------------------------------|--------------------|------------|------------|-------------|
| Verdeling 15 – 64-jarigen in werkende bevolking | Van 15 tot 24 jaar | 4%         | 3%         | 7%          |
|                                                 | Van 25 tot 49 jaar | 34%        | 30%        | 64%         |
|                                                 | Van 50 tot 64 jaar | 16%        | 13%        | 29%         |
|                                                 | <b>Totaal</b>      | <b>53%</b> | <b>47%</b> | <b>100%</b> |
| Verdeling 15 – 64-jarigen in totale bevolking   | Van 15 tot 24 jaar | 9%         | 9%         | 17%         |
|                                                 | Van 25 tot 49 jaar | 25%        | 25%        | 50%         |
|                                                 | Van 50 tot 64 jaar | 16%        | 16%        | 32%         |
|                                                 | <b>Totaal</b>      | <b>50%</b> | <b>50%</b> | <b>100%</b> |

In het verleden werden in de verschillende volwassencampagnes van de HBM in Vlaanderen (FLEHS, Flemish Environment and Health Study) verschillende leeftijdsklassen geselecteerd, nl. 50-65 jaar in FLEHS I en FLEHS III; 20-40 jaar in FLEHS II (6). Indien we, om redenen van continuïteit, terug deze klassen willen selecteren, moeten we er rekening mee houden dat er een selectiebias kan zijn voor de jongste en de oudste leeftijdsklassen.

Jongeren onder 25 jaar zijn ondervertegenwoordigd in de werkende populatie. Er zijn 3 pistes om hiermee om te gaan:

- We aanvaarden deze selectie aangezien het maar om een kleine ondervertegenwoordiging gaat over de totale groep van 20-40-jarigen.
- Om het aandeel jongeren in de sample te verhogen, kan een oversampling van deze leeftijdsgroep via de arbeidsgeneeskundige diensten gebeuren; dit impliceert mogelijks wel dat bepaalde beroepscategorieën en opleidingsniveaus oververtegenwoordigd zullen zijn (beroepen waar geen verdere opleidingen voor nodig zijn), terwijl studerende en werkloze jongeren ondervertegenwoordigd zijn.

- Om het aandeel jongeren in de sample representatief te maken voor de totale bevolking, kan ook parallel gerekruteerd worden via universiteiten en hogescholen. Hierbij missen we wel de groep werkloze jongeren. Hiervoor zijn 2 pistes:
  - o We aanvaarden het ontbreken van werkloze jongeren in de sample, aangezien het in totaal slechts gaat over 4% van de 15 tot 24-jarigen in Vlaanderen (Tabel 16).
  - o Er kan geëxploreerd worden of er uit de groep werkloze jongeren gerekruteerd kan worden via de Vlaamse Dienst voor Arbeidsbemiddeling en Beroepsopleiding (VDAB).

Ook 50-plussers zijn minder vertegenwoordigd in de werkende populatie, en dit percentage zal toenemen wanneer de leeftijd de pensioenleeftijd benadert. Daarnaast missen we ook gepensioneerden in de sample.

Er zijn verschillende pistes mogelijk om hiermee om te gaan:

- We aanvaarden deze selectie aangezien het maar om een kleine ondervertegenwoordiging gaat over de totale groep van 50 tot 64-jarigen.
- Om het aandeel 50 tot 64-jarigen correct in kaart te brengen, kan een oversampling van oudere leeftijden gebeuren;
- Om het aandeel gepensioneerden in de sample representatief te maken voor de totale bevolking, kan onderzocht worden of men parallel kan rekruteren via andere kanalen, bv. seniorenverenigingen. De nood hiervoor is afhankelijk van de onderzoeksvraag.

**Besluit:**

De doelgroep die we bereiken via arbeidsgeneeskundige diensten is vooral de **werkende bevolking van 25 tot 49 jaar**.

Indien we andere leeftijdsgroepen ook op een representatieve manier willen bereiken zijn hiervoor speciale acties nodig, bv. oversampling van specifieke leeftijdscategorieën via arbeidsgeneeskundige diensten, of parallelle rekrutering via andere kanalen, bv. via studentengroepen voor de jongere leeftijdsklassen of via senioren groepen voor de oudere leeftijdsklassen.

Indien we ook de niet-werkende bevolking willen bereiken, zijn ook parallelle rekruteringskanalen nodig, bv. VDAB, studentengroepen, ...

**3.2.2.2 Is de populatie geschikt om op een representatieve manier omgevingsblootstelling en gezondheidseffecten te meten?**

Het doel van het Vlaamse HBM-programma is om de omgevingsblootstelling aan chemische stoffen, en overeenkomstige gezondheidseffecten voor Vlaanderen in kaart te brengen (6). Dit doen we zowel via het meten van blootstellings- en effectmerkers in bloed, urine, e.d. als via technische onderzoeken (bijv. bloeddruk, NES-test) en het afnemen van vragenlijsten. We samplen hiervoor een steekproef van 150 tot 400 volwassenen in een vooraf gedefinieerde leeftijdsklasse, die representatief is voor de tewerkgestelde Vlaamse populatie op vlak van leeftijd, geslacht, socio-economisch profiel, geografische spreiding, en verstedelijkingsgraad.

Bij rekrutering van de steekproef via de arbeidsgeneeskundige dienst is een belangrijke factor de diversiteit aan blootstellingsfactoren op het werk. We willen een beeld bekomen van de omgevingsblootstelling, en bijgevolg in onze steekproef geen clusters van beroepsblootstelling introduceren door oververtegenwoordiging van deelnemers uit een sector met specifieke beroepsblootstelling, bv. arbeiders in de chemische industrie, tuinbouwers, schilders, enz... In de volgende luiken wordt besproken hoe dit probleem aangepakt kan worden via rekrutering en selectie van de arbeidsgeneeskundige centra/geneesheren en van deelnemers.



Voor de rekrutering van de vorige volwassenencampagnes in FLEHS werd gewerkt met een gestratificeerd geclusterd multi-stage design. De primaire sampling unit is een eenheid, waarbinnen deelnemers (secundaire sampling units) at random geselecteerd worden. Voor de opvolgende volwassenencampagnes gebeurde dit als volgt:

- FLEHS I: random selectie van gemeentes (= primaire sampling unit) in Vlaanderen; kandidaat deelnemers werden at random getrokken uit het gemeentelijke bevolkingsregister;
- FLEHS II: primaire sampling units waren de 5 Vlaamse provincies als werkgever; random sampling van deelnemers via provinciale personeelsbestanden;
- FLEHS III: random sampling van huisartspraktijken (= primaire sampling unit); iedere huisarts trok een random sample uit het patiëntenbestand.

Voor het rekruteren via een sentinel surveillance via de arbeidsgeneeskundige dienst, zien we de arbeidsgeneeskundige centra van IDEWE als primaire sampling unit. De individuele werknemer is dan de secundaire sampling unit.

**Selectie primaire sampling unit: arbeidsgeneeskundige centra van IDEWE**

Er zijn in België 10 erkende *Externe Diensten voor Preventie en Bescherming* op het werk, met IDEWE als grootste dienst (7). Wanneer een werkgever geen eigen gezondheidstoezicht heeft, worden de wettelijke diensten voor preventie en bescherming op het werk vervuld door een dergelijke externe dienst. Voor werkgevers met een departement voor gezondheidstoezicht kunnen alle opdrachten vervuld worden door de eigen interne dienst voor preventie en bescherming op het werk, door een externe dienst of een combinatie van beiden. Co-Prev is de sectorvereniging van externe diensten voor preventie en bescherming op het werk. Verder bestaat ook de Vereniging Voor Interne Bedrijfsartsen (VVIB), die in België de interne bedrijfsartsen vertegenwoordigt; het aantal is in de praktijk zeer beperkt.

Voor de PROBE-studie werd via Co-Prev een oproep gedaan bij alle externe arbeidsgeneeskundige diensten in België tot deelname aan de studie; de externe diensten verspreidden de informatie dan naar de eigen arbeidsartsen (3). Geïnteresseerde artsen volgden een online training module met informatie over de studie, een module over chemische stoffen waar de studie zich op richtte, en vulden een korte vragenlijst in met vragen over de arts zelf (geslacht, leeftijd, taal) en over hun professionele activiteit (aantal jaren ervaring, vol- of deeltijds werkregime, interne of externe dienst, geografisch werkgebied). Uiteindelijk deden 47 arbeidsgeneeskundigen (op een totaal van 1002 in België) mee aan de studie. Voor de meeste karakteristieken was deze sample representatief voor België (op vlak van geslacht, leeftijd, aantal jaren tewerkstelling, arbeidsduur en aantal werknemers onder toezicht), behalve voor de taal en de werkregio (meer Nederlandstaligen en groter aandeel met werkregio in Vlaanderen). Voor de HBM is het doel om representatief te zijn voor Vlaanderen, en niet voor België.

Voor de Vlaamse HBM campagne zullen we samenwerken met 1 externe arbeidsgeneeskundige dienst, namelijk IDEWE, waarbij we de deelnemers via arbeidsgeneesheren en verpleegkundigen zullen rekruteren. Verpleegkundigen worden deze keer (in tegenstelling tot PROBE) ook meegenomen, omdat het hier ook staalname betreft, en zij sinds kort ook een deel van de opvolg consultaties zelf uitvoeren (onder supervisie van een arts, die niet noodzakelijk fysiek aanwezig is). Voordelen van de optie om het systeem uit te werken enkel met IDEWE zijn de volgende:

- De uitwerking zal efficiënter verlopen met slechts één partner;
- Geen moeilijkheden te verwachten met het aligneren van verschillende databanken. IDEWE heeft een goede infrastructuur om stalen te verzamelen en transporteren naar analyselaboratoria, en er is reeds veel expertise rond humane biomonitoring beschikbaar;



- KU Leuven, partner in het Steunpunt Milieu en Gezondheid, heeft een sterk samenwerkingsverband met de studiedienst van IDEWE via Prof. Lode Godderis, die aan beiden verbonden is.

Nadeel van deze optie :

Mogelijks een oververtegenwoordiging van de sectoren zorg en kantoor binnen IDEWE (zie ook tabel 18, hoewel onvolledig).

Tabel 17 toont het aantal werknemers in het klantenbestand van IDEWE per geografische regio. Indien we enkel de Vlaamse regio's beschouwen, worden er ongeveer 780.000 werknemers opgevolgd door IDEWE. Dit aantal is nog een kleine overschatting omdat in dit totaal ook de werknemers van de Belgische Spoorwegen zijn meegeteld, maar hierin zitten zowel Vlaamse, Brusselse als Waalse werknemers vervat.

Alleszins gaat het om een grote doelgroep van meer dan 760.000 personen. In Tabel 18 wordt het aantal werknemers in het klantenbestand van IDEWE per beroepssector weergegeven. IDEWE bereikt een diverse groep van sectoren en bijgevolg ook verschillende beroepstypes, o.m. administratief personeel, zorgpersoneel, industrie en bouw.

Tabel 17: Aantal werknemers opgevolgd door IDEWE per regio

| Regio     | Aantal werknemers | Percentage |
|-----------|-------------------|------------|
| Antwerpen | 115.082           | 14%        |
| Brussel   | 117.045           | 15%        |
| Gent      | 131.862           | 16%        |
| Hasselt   | 83.499            | 10%        |
| Spoor     | 29.088            | 4%         |
| Leuven    | 83.326            | 10%        |
| Mechelen  | 70.896            | 9%         |
| Namur     | 26.028            | 3%         |
| Roeselare | 92.178            | 11%        |
| Turnhout  | 57.698            | 7%         |
| Totaal    | 806.702           | 100%       |

Tabel 18: Aantal werknemers opgevolgd door IDEWE per sector

| Sector                 | Aantal werknemers, IDEWE | Percentage IDEWE | Percentage Vlaanderen |
|------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|
| Bouw                   | 33.096                   | 4%               | 7%                    |
| Hulpdiensten           | 14.123                   | 2%               |                       |
| Industrie en reiniging | 97.843                   | 12%              | 14%                   |
| Kantoor                | 119.848                  | 15%              |                       |
| Land- en tuinbouw      | 17.761                   | 2%               | 1%                    |
| Logistiek & Retail     | 116.878                  | 14%              |                       |
| Onderwijs              | 117.280                  | 15%              | 14%                   |
| Overheid               | 33.371                   | 4%               | 7%                    |
| Rest Segment           | 7.617                    | 1%               |                       |
| Spoor                  | 29.099                   | 4%               |                       |
| Voeding                | 41.273                   | 5%               |                       |
| Zorg                   | 178.476                  | 22%              | 16%                   |
| Niet gekend            | 37                       | < 1%             |                       |
| Alle segmenten         | 806.702                  | 100%             |                       |



Niet voor iedereen is er in de toekomst een periodiek onderzoek gepland, bijvoorbeeld personen zonder of met slechts een miniem beroepsrisico (zie Tabel 19). Ook de frequentie van medische consulten is afhankelijk van de beroepsrisico's waar werknemers aan blootgesteld worden (zie Tabel 20). Dit maakt dat ongeveer 65% van de werknemers opgevolgd wordt.

Tabel 19: Frequentie van medische consulten bij werknemers met een beroepsrisico, opgevolgd door IDEWE

|   | Totaal  | Niet onderworpen | Jaarlijks | 3-Jaarlijks | 5-jaarlijks |
|---|---------|------------------|-----------|-------------|-------------|
| N | 715.569 | 255.995          | 442.335   | 16.155      | 1.084       |
| % | 100,0   | 35,7             | 61,8      | 2,3         | 0,2         |

Tabel 20: Frequentie van medische consulten per beroepsrisico

| Risico                                    | Totaal  | Niet onderworpen | Jaarlijks | 3-Jaarlijks | 5-jaarlijks |
|-------------------------------------------|---------|------------------|-----------|-------------|-------------|
| Vergiftiging                              | 52.133  | 166              | 51.967    |             |             |
| Fysische agentia                          | 164.614 | 750              | 159.959   | 2.821       | 1.084       |
| Biologische agentia                       | 305.120 | 1.121            | 303.999   |             |             |
| Dermatose                                 | 260.645 | 962              | 259.682   | 1           |             |
| Inademing                                 | 90.615  | 487              | 90.127    | 1           |             |
| Andere                                    | 295.582 | 10.970           | 281.724   | 2.836       | 52          |
| Externe belasting                         | 407.234 | 248.040          | 152.357   | 5.951       | 886         |
| Fysieke, mentale, psychosociale belasting | 379.125 | 1.960            | 362.053   | 15.112      |             |

De artsen van IDEWE werken ofwel in gespecialiseerde arbeidsgeneeskundige centra, ofwel in de bedrijven zelf. Wanneer we rekruteren via de arbeidsgeneesheren in de bedrijven zelf, is er een grote kans op clusters van bepaalde beroepsgroepen (bv. gezondheidsmedewerkers bij rekrutering in een ziekenhuis). Kleinere bedrijven en bedrijven in de buurt van de centra opteren vaker om hun onderzoeken te laten doorgaan in een arbeidsgeneeskundig centrum van IDEWE zelf. De werknemers van verschillende bedrijven worden ook niet gegroepeerd ingepland, bijgevolg is er bij die onderzoeken dus meestal wel een goede mix van beroepsblootstelling aanwezig.

Opteren voor rekrutering in de **arbeidsgeneeskundige centra** lijkt ook vanuit logistiek standpunt een betere keuze:

- Voordelen:
  - o Transport naar VITO vanuit de arbeidsgeneeskundige centra is (kosten-)efficiënter.
  - o Er kan gemakkelijker een extra lokaaltje voorzien worden voor veldwerkers.
  - o Er moet geen toestemming gevraagd worden bij de werkgevers (bedrijven) zelf voor aanwezigheid van veldwerkers, het aanbieden van promotiemateriaal,... Voor de bijkomende tijd die in beslag zal genomen worden voor het HBM-onderzoek, zal de werkgever wel toestemming moeten geven. Indien de onderzoekstijd beperkt is (zie later), worden geen moeilijkheden verwacht, zo blijkt ook uit de focusgesprekken.

Bij de selectie van de arbeidsgeneeskundige centra zal rekening worden gehouden met de volgende factoren om een representatieve steekproef van werknemers te kunnen bekomen:

- categorieën van bedrijven die opgevolgd worden;
- categorieën van beroepsgroepen die op consult komen en frequentie (eenmalig/jaarlijks/meer dan één keer per jaar);
- categorieën van arbeidsrisico's van mensen die op consult komen (eenmalig/jaarlijks/meer dan één keer per jaar);



- werkgebied: alle postcodes van bedrijven die opgevolgd worden;
- % verdeling van totaal aantal opgevolgde mensen naar leeftijd en geslacht.

Deze gegevens zijn voorhanden in de klanten- en personeelsbestanden van IDEWE.

*Selectie secundaire sampling unit: werknemers*

IDEWE werkt met 2 soorten consultaties: enerzijds periodieke consultaties, waarvan de frequentie bepaald wordt aan de hand van het beroepsrisico, anderzijds thematische consultaties die aangevraagd worden door werkgevers om meer inzicht te krijgen in een bepaald thema (bijv. psychosociaal welzijn, werkhervatting, fitheid,...). Voor de rekrutering worden best de periodieke consultaties gebruikt, teneinde de artsen en de werknemers niet te veel te belasten (de thematische consultaties zijn minder routineus en vaker emotioneel beladen). De meeste werknemers die op thematische consultatie komen, komen tevens op periodieke consultatie en krijgen zo dus ook de kans om deel te nemen aan studie. Consultaties bij indiensttreding van nieuwe werknemers vallen onder de periodieke consultaties. Beroepsgroepen die enkel achter een computer werken worden niet periodiek opgevolgd. Dit zou kunnen worden opgevangen door ook medische check-ups te includeren, die vooral gericht zijn op de kantoor sector (banken, verzekering, etc.). Die check-ups worden door de werkgever aangeboden aan werknemers. Binnen IDEWE is er per regio 1 arts die dit doet. Tijdens check-ups wordt in sommige gevallen urine en/of bloed geïncolteerd.

Met het oog op een representatieve steekproef van de werkende bevolking, dienen we te voorkomen dat er een cluster van bepaalde hoog blootgestelde groepen (waarbij meer frequente opvolging nodig is) wordt gerekruteerd. Verder dienen we een manier te vinden om een representatieve steekproef te selecteren voor wat betreft geslacht, leeftijd, regionale verdeling/verstedelijkingsgraad en mogelijk ook SES (opleiding, afkomst en inkomen). We kunnen dit op verschillende manieren benaderen:

- In de eerste plaats dient hiermee rekening gehouden te worden bij de selectie van de arbeidsgeneeskundige centra. Een regionale verdeling kan vooraf gestuurd worden in de selectie.
- We kunnen een random selectie doen van de werknemers die op onderzoek komen tijdens een periodieke consultatie. In principe bekomen we dan een goede verdeling volgens geografische regio, geslacht, leeftijd en SES. Alhoewel werknemers met een lagere SES ook behoren tot de pool van IDEWE, blijken deze personen moeilijker te rekruteren voor deelname aan wetenschappelijk onderzoek. Maar deze uitdaging zit in alle rekruteringsstrategieën.
- Om clusters van beroepsblootstelling te vermijden kunnen we de ratio van de random selectie laten afhangen van de frequentie van opvolging per groep werknemers met hetzelfde beroepsrisico (zie tabel 18).
  - o Nadeel:
    - Een willekeurige selectie levert enkel een representatieve steekproef op als de onderliggende populatie ook representatief is. Mogelijk is dit niet het geval voor de werknemers die op consult komen.
    - Sturing van de beroepsrisico's vraagt veel inspanningen van de primaire sampling unit. De arbeidsarts moet actief op de ratio's letten tijdens de periodieke consulten.
- We kunnen de selectie van werknemers die op periodieke consultatie komen 'at random' laten verlopen, en via tussentijdse opvolging de basiskennmerken van de deelnemers opvolgen en indelen in strata. Er kan dan beslist worden wanneer een stratum wordt afgesloten voor rekrutering, en ingezet worden op het invullen van de andere strata, waardoor er op het eind een gebalanceerde populatie is gerekruteerd. De keuze van de criteria voor de indeling van strata kunnen worden afgestemd op de steekproefvereisten beschreven in het studieprotocol.



Naast het vermijden van een cluster van beroepsblootstelling, kan er ook gestratificeerd worden naar geslacht, leeftijd, SES factoren (opleiding, afkomst en inkomen) om zo tot een representatieve steekproef te komen. Deze factoren worden altijd mee in rekening genomen bij de rekrutering in de Vlaamse HBM.

- o Voordeel:
  - Dit is minder belastend voor de arbeidsarts of verpleegkundige, waardoor de rekrutering vlotter kan verlopen. Het is arbeidsintensiever voor de onderzoeker die het onderzoek begeleidt, maar leidt wel tot een beter eindresultaat.
- o Nadeel:
  - Tijdsintensiever omdat er naar het einde toe specifieke categorieën van deelnemers getarget worden, waardoor de veldwerkdagen minder efficiënt zullen verlopen in vergelijking met een veldwerkdag waar iedereen in aanmerking komt.
- Er kan een ruime pool aangelegd worden van stalen, waaruit achteraf een representatieve sample geselecteerd wordt. In de praktijk betekent dit een at random selectie van deelnemers tijdens alle soorten consulten (bijv. selectie deelnemers bij 1 op 10 consultaties). Post-hoc kan er dan een selectie gebeuren van deelnemers op basis van een aantal selectievragen, om op die manier tot een representatieve steekproef te komen. Dit kan enkel indien er een ‘snelle’ routine sampling gebeurt, bv. urinestaal samen met een korte vragenlijst.
  - o Voordelen:
    - Er is minder instructie nodig voor de primaire sampling units op vlak van het selecteren van deelnemers, en daardoor zullen niet enkel de sterkst gemotiveerde arbeidsgeneeskundige medewerkers actief deelnemen.
    - Het representatief maken van de steekproef kan gebeuren op vlak van een aantal parameters, zoals socio-economisch profiel, naast beroepsrisico en geografische spreiding.
  - o Nadelen:
    - De staalverzameling en bewaring brengen een financiële kost met zich mee, die voor veel deelnemers niet nodig blijkt te zijn.
    - Ethische aspecten: dit betekent dat mensen deelnemen aan de studie, zich engageren om de vragenlijst in te vullen, en een staal afstaan maar geen garantie hebben dat er iets mee gedaan wordt. Ze kunnen daarna ook geen persoonlijk resultaat ontvangen. Dit is in strijd met de spelregels van het Steunpunt M&G, en wordt ook niet als wenselijk ervaren door de arbeidsartsen (zie verder, uitkomst focusgesprekken).
    - De vragenlijst kan niet te lang zijn. Indien er later interesse is om een bepaalde pollutant te onderzoeken op de biobankstalen, is het mogelijk dat er te weinig recente blootstellingsgegevens over die pollutant verzameld werden via de korte vragenlijst. De deelnemers dan nog contacteren met een vragenlijst zal leiden tot veel drop-out, en brengt telkens extra inspanningen en financiering met zich mee.



Vanwege de belangrijke nadelen, komt deze strategie niet in aanmerking.

**Besluit:**

We hebben verkend welke beroeps populatie we bereiken via de sentinel approach. Onze voornaamste vraag is of we via arbeidsgeneeskundige diensten op een representatieve manier omgevingsblootstelling en gezondheidseffecten kunnen meten.

Om de haalbaarheid van HBM via arbeidsgeneeskundige diensten te evalueren, vertrekken we hier vanuit de populatie van IDEWE, één van de 10 nationale externe diensten met voornamelijk het Vlaams gewest als werkingsgebied. Zij beschikken namelijk over een goede infrastructuur om stalen te verzamelen en te transporteren voor analyse, hebben reeds expertise rond HBM en er is een sterk samenwerkingsverband met de KU Leuven.

De voorkeur gaat uit naar een selectie via verschillende arbeidsartsen per regio, die werken in de gespecialiseerde arbeidsgeneeskundige centra. Via de centra beperken we de kans op rekrutering van clusters van beroepsgroepen en ook vanuit logistiek standpunt is het een slimme keuze.

Voor de selectie van werknemers worden best de periodieke consultaties gebruikt, teneinde de artsen en de werknemers niet te veel te belasten. Om een zo representatief mogelijke steekproef te rekruteren, wordt de voorkeur gegeven aan werken via het opvullen van vooraf gedefinieerde strata, op basis van geslacht, leeftijd, regionale verdeling/verstedelijingsgraad en SES (opleiding, afkomst en inkomen). Een specifiek aandachtspunt is het vermijden van clusters van beroepsblootstelling. Deze rekruteringsstrategie is arbeidsintensiever voor de onderzoekers, maar verhoogt de kans op representativiteit.

### 3.2.3 Veldwerk

Een belangrijk aspect voor het veldwerk is de tijdsinvestering die voorzien wordt voor de uitvoer van het veldwerk omdat:

- Centraal in de HBM staat de afname van biologische stalen (bloed, urine, haar, ...);
- Een ander essentieel deel is het invullen van een vragenlijst;
- Lengte, gewicht en bloeddruk worden routinematig gemeten ;
- Optioneel kunnen ook nog een aantal technische onderzoeken (bv. l longfunctie, , neurologische testen, ...) worden ingepland;
- Voorafgaand aan het onderzoek dient de deelnemer een toestemmingsformulier te ondertekenen;
- De tijdsinvestering is een belangrijk aspect voor de deelnemer en zijn werkgever: aangezien het medisch onderzoek plaatsvindt tijdens de werkuren, dient er vooraf een duidelijk beeld te zijn van de onderzoeksperiode per deelnemer, zodat afspraken gemaakt kunnen worden met de werkgever;
- De tijdsinvestering is ook een belangrijk aspect voor de arbeidsgeneeskundige, die dit dient in te passen in zijn routinetaken (strikt vastgelegd op 15 min per patiënt), of voor de veldwerkers (IDEWE/PIH) die de onderzoeken uitvoeren; het financiële aspect van de rekrutering hangt hiermee samen.

In de volwassenencampagnes van FLEHS I tot III duurde het onderzoek in totaal drie kwartier tot 1 uur. Daarbij hadden deelnemers vooraf het informed consent gekregen en doorgenomen, al vond het veldwerk telkens plaats op een collectief moment op een centrale onderzoekslocatie. Omdat deelnemers verschillende modules dienden te doorlopen, konden zo verschillende deelnemers tegelijkertijd onderzocht worden.





In een arbeidsgeneeskundige context is de tijdsinvestering van 45 minuten tot 1 uur te lang: werkgevers zouden hiermee niet instemmen. Verder zijn er geen collectieve afspraken, maar komen werknemers opeenvolgend naar de arbeidsgeneeskundige.

Een haalbaar scenario waarbij zowel de nodige stalen en gegevens gecollecteerd kunnen worden en de werkgevers zouden instemmen, is een tijdsinvestering van 15 minuten. Een periodieke consultatie duurt doorgaans 15 minuten. Deelnemers van de HBM zullen bijgevolg bovenop de normale consultatietijd 15 minuten extra moeten voorzien voor het onderzoek, en bereid zijn om vooraf thuis het toestemmingsformulier te lezen en een vragenlijst in te vullen.

Hieronder bespreken we de mogelijke pistes per onderzoekonderdeel. Deze bouwblokken leggen we dan samen om tot verschillende scenario's te komen voor de veldwerkprocedure. De scenario's vormen een basis voor de berekening van het financiële plaatje van de rekrutering.

### 3.2.3.1 Geïnformeerd toestemmingsformulier

We zien drie mogelijke pistes om het geïnformeerd toestemmingsformulier (*Informed Consent Form* of ICF) voor te leggen aan de deelnemers:

- Rekrutering tijdens het onderzoek: infolder in de wachtzaal leggen met de vraag of ze willen deelnemen, of via toelichting door de arbeidsarts.
  - Nadelen:
    - De informatiebrochure dient zo kort mogelijk te zijn
    - De tijd die de patiënt doorbrengt in de wachtzaal is vermoedelijk ook te kort en in elk geval moeilijk op voorhand te voorspellen. Dit kan mogelijk resulteren in een heel lage respons.
- Op voorhand per post of bedrijfspost op te sturen. Deelnemers hebben zo meer tijd om de informatie door te nemen, en dit hoeft niet gerekend te worden bij de onderzoekstijd. Op voorhand kan zo ook ingeschat worden hoeveel deelnemers zich aanmelden op een onderzoeksdag. Wel dient er een, weliswaar kortere, tijd te worden voorzien voor eventuele vragen omtrent het onderzoek/ICF op de onderzoeksdag zelf.
- Op voorhand per mail/interne communicatie met link naar ICF, gelijktijdig met de uitnodiging voor de arbeidsgeneeskundige consultatie. Hiervoor is wel wat extra programmatie nodig via ICT, waaraan extra financiering verbonden is. Ook bereiken we personen die geen mailadres opgaven/niet vertrouwd zijn met ICT op deze manier niet. Bij deze personen kan dit alsnog ter plaatse gebeuren.

Een belangrijk aspect bij het toestemmingsformulier is de check van de inclusiecriteria, o.m. hoe lang de deelnemer in Vlaanderen woont. Indien dit vooraf is ingevuld, kan de medewerker van de onderzoeksgroep beslissen dat de persoon niet in aanmerking komt, en is er geen tijdsverlies voor de arbeidsarts, verpleegkundige of veldwerker PIH. Indien dit pas ter plaatse tijdens de consultatie wordt ingevuld, moet er beslist worden wie de check doet (arts, verpleegkundige, medewerker onderzoeksgroep) om onnodige staalafname te vermijden.

#### **Besluit:**

De voorkeur gaat uit naar het ICF op voorhand per mail of interne communicatie te bezorgen aan de deelnemers, gelijktijdig met de uitnodiging voor de arbeidsgeneeskundige consultatie. Om ook deelnemers zonder mailadres te bereiken, kunnen zij de uitnodiging per post of bedrijfspost ontvangen.



### 3.2.3.2 Afname biologische stalen

We beschrijven hieronder wat nodig is voor de verschillende soorten stalen.

#### Urinestaal

Dit is het meest laagdrempelig af te nemen staal. Binnen de 24 uur dient het staal uitverdeeld te worden en getransporteerd te worden naar de biobank om daar gestockeerd (ingevroren) te worden. Staalanalyse gebeurt later in batch, op het einde van de studie.

Bij een standaard arbeidsgeneeskundige onderzoek gebeurt meestal al een urineafname. De urine wordt daarbij opgevangen in een recipiënt (soms gewoon een plastic bekertje) en gecontroleerd met behulp van teststrips. Na controle wordt de urine niet bijgehouden.

Indien een urinestaal nodig is voor HBM, dient dus (een deel van) de reeds afgenomen urine te worden verzameld; vragen aan de deelnemer om tweemaal een urinestaal af te geven is namelijk niet mogelijk. We zien hiervoor de volgende opties:

- We bezorgen de arbeidsarts en/of verpleegkundige een standaard recipiënt voor de werknemers om de urine op te vangen (nu gebeurt dat vaak gewoon in een plastic bekertje), een deel van de urine kan in een ander recipiënt worden overgebracht om te worden gecontroleerd met behulp van teststrips in het kader van het periodiek consult, maar nadien wordt het recipiënt gesloten en bijgehouden voor transport naar VITO en verdere verwerking in het kader van HBM.
- Lokale medewerkers van IDEWE scheiden het urinestaal (deel voor standaard urinestaal; deel voor de HBM), transport naar VITO, VITO zorgt voor uitverdeling staal in biobanktubes.
  - Voordeel:
    - Geen extra veldwerkpersoneel te voorzien.
  - Nadeel:
    - Dit vraagt een (beperkte) extra handeling van medewerkers IDEWE.
    - Om het transport naar VITO kostenefficiënt te kunnen organiseren, is het belangrijk dat er voldoende stalen per dag zijn.
- Veldwerkers PIH/extra medewerker IDEWE scheiden het urinestaal ter plaatse, regelen het transport naar VITO, waarbij VITO opnieuw zorgt voor uitverdeling van het staal in biobanktubes.
  - Voordeel:
    - Geen extra werk voor medewerkers IDEWE.
  - Nadeel:
    - Enkel kostenefficiënt als er voldoende werknemers op een onderzoeksdag deelnemen aan het onderzoek, en de deelnemers elkaar op korte tijd opvolgen.

#### Bloedstaal

Een bloedstaal wordt veel minder vaak afgenomen door IDEWE dan een urinestaal, en vergt ook meer tijd van de arbeidsgeneeskundige of zijn medewerkers. Er mag geen bias worden gecreëerd door enkel de mensen te selecteren die een standaard bloedafname krijgen via IDEWE; dit betekent dat er dus extra bloedafnames dienen te gebeuren. Hiervoor zal extra personeel moeten worden voorzien.

Voor sommige gevoelige analyses is het belangrijk dat de initiële verwerking (eventueel centrifugeren, aliquoteren en invriezen) snel gebeurt; dit varieert van 6 uur tot 24 uur.

Opties om dit te doen zijn:

- Afname door lokale medewerkers IDEWE, transport naar VITO door koerierdienst; VITO zorgt voor uitverdeling staal in biobanktubes. Logistiek is dit voor IDEWE arbeidsartsen enkel mogelijk in arbeidsgeneeskundige centra, en niet op locatie bij bedrijven.
  - Voordeel:
    - Geen extra personeel te voorzien.



- Nadeel:
  - Enkel routinematig gedaan door medewerkers bij hoog blootgestelde groepen. Een bloedafname vraagt extra werk, en dus een hoge graad van engagement van arbeidsartsen.
  - Om het transport naar VITO kostenefficiënt te kunnen organiseren, is het belangrijk dat er voldoende stalen per dag zijn.
- Veldwerkers PIH/extra medewerker IDEWE ter plaatse voor staalafname. Zij regelen transport naar VITO, waarbij VITO opnieuw zorgt voor uitverdeling van het staal volgens de correcte procedures.
  - Voordeel:
    - Gestandaardiseerde staalafname.
    - Geen extra werk voor medewerkers IDEWE
  - Nadeel:
    - Enkel mogelijk als er een apart lokaal kan worden voorzien (i.e. enkel in de centra en niet in de bedrijven).
    - Enkel kostenefficiënt als er voldoende werknemers op een onderzoeksdag deelnemen aan het onderzoek, en de deelnemers elkaar op korte tijd opvolgen.
- Bij check-ups worden bloednames reeds op voorhand gedaan (aparte afspraak), hiervoor zal dus een aparte procedure moeten worden uitgewerkt.
- Er zou in de toekomst ook gebruik gemaakt kunnen worden van self-sampling methodes, al verschilt dit per biomarker, is het niet voor alle biomarkers mogelijk, en dienen deze methodes nog te worden gevalideerd voor HBM.

Opmerking: indien een aparte bloedtube bestemd is voor een bepaald lab, anders dan VITO, dan kan ook rechtstreeks transport van het arbeidsgeneeskundig centrum naar dat lab georganiseerd worden, of het lab kan zelf de stalen rechtstreeks ophalen bij het centrum.

#### Haarstaal

Een haarstaal wordt niet standaard genomen tijdens een consult en zal dus gedaan moeten worden door de arbeidsgeneeskundige, een medewerker IDEWE of een veldwerker PIH. De voorkeur wordt gegeven aan een van de twee laatste actoren, om de arbeidsgeneeskundige zo min mogelijk te belasten.

Een haarstaal dient in het donker bewaard te worden, best in een papieren enveloppe, en op kamertemperatuur. De haarstalen kunnen na elke onderzoeksdag met de urine- en bloedstalen mee getransporteerd worden naar VITO.

#### 3.2.3.3 Afname vragenlijsten

Meestal zijn de vragenlijsten van de HBM-studies uitgebreid, om zoveel mogelijk bronnen van de te onderzoeken blootstellingsmerkers te kunnen onderzoeken.

In de arbeidsgeneeskundige context is afname van een lange vragenlijst ter plaatse echter niet mogelijk: werkgevers zouden er niet mee akkoord gaan dat hun werknemers te lang afwezig zijn van het werk.

Het zou ook te veel engagement en vooral tijd vragen van de arbeidsartsen/verpleegkundigen om dit tijdens het arbeidsgeneeskundig consult samen in te vullen.

We zien daarom enkel volgende opties voor het voorleggen van een vragenlijst:

- Tijdens wachttijd laten invullen op papier, een tablet (IDEWE heeft hiermee reeds ervaring bij voorgaande onderzoeken, hierbij is één tablet per primaire sampling unit nodig) of ander digitaal device, maar zoals eerder vermeld is de wachttijd te variabel/kort om elke vragenlijst te vervolledigen.



- Extra medewerker IDEWE of veldwerker PIH vullen voor of na consult samen de vragenlijst in of controleert de volledigheid van de vragenlijst.
  - Voordeel:
    - Volledigheid vragenlijst.
  - Nadeel:
    - Enkel mogelijk voor de werkgevers als de vragenlijst kort is; slechts bronnen van één groep blootstellingsmerkers in te schatten. Dit zou wel kunnen worden opgevangen door parallel rekruteren van verschillende deelnemersgroepen voor verschillende polluenten. Onderzoek naar mengelstoxiciteit blijft dan echter moeilijk. Enkel kostenefficiënt als er voldoende werknemers op een onderzoeksdag deelnemen aan het onderzoek.
- Vragenlijst voor consult thuis laten invullen, digitaal of indien gewenst op papier.
  - Voordeel:
    - Werknemer niet langer afwezig in organisatie dan nodig.
  - Nadeel:
    - Deelnemersrespons zal veel lager zijn, tenzij verplichting tot volledige vragenlijst wordt ingevoerd voor men kan deelnemen aan het onderzoek.
    - Leesvaardigheden en middelen van deelnemer bepalen mee of deelnemer vragenlijst invult. Dit kan mogelijk leiden tot een scheefverdeling van de populatie, waarbij de vragenlijst meer ontbreekt bij kwetsbare doelgroepen.
    - Zou dus idealiter nog moeten worden gevalideerd door een arts/veldwerker
- Combinatie: korte vragenlijst ter plaatse via één van de vorige opties, langere vragenlijst vooraf opsturen voor bevragen van meer diepgaande informatie. Zie voor- en nadelen die hierboven opgesomd werden.

#### 3.2.3.4 Andere onderzoeken

In de voorbije HBM-campagnes werden volgende lichamelijke parameters onderzocht:

- Lengte, gewicht, buikomtrek
- Bloeddruk
- Soms: ademhalingsstesten (bv. eNO-meting, FOT-meting, spirometrie)
- Soms: neurologische testen.

Lengte, gewicht en bloeddruk worden standaard geregistreerd in het medisch dossier van de arbeidsarts. De arbeidsarts of veldwerker kan deze gegevens overnemen op het 'intake' formulier van de studie. Hieronder bij 'Gegevensoverdracht uit databank arbeidsgeneeskundige dienst' wordt ook de mogelijkheid om dit toe te voegen aan de HBM-data besproken.

Een aantal gegevens uit het dossier van de arbeidsarts zoals verhuishistoriek, beroepssector, gezondheidsinformatie zit, al dan niet in gecodeerde vorm, in het dossier van IDEWE. Indien er toestemming is van de deelnemer om deze informatie over te nemen vanuit het arbeidsgeneeskundig dossier naar het HBM-onderzoek, kan dit een tijdswinst betekenen voor het onderzoek en voor de deelnemer zelf (minder lange vragenlijst). Om de volledigheid van deze data te maximaliseren kan dan ook specifiek aan de arbeidsgeneesheer gevraagd worden om voor de deelnemers aan de HBM de informatie te updaten of te vervolledigen tijdens het consult.

Indien nog extra testen nodig zijn voor het HBM-onderzoek (bijv. ademtesten) dient dit te gebeuren door een extra medewerker bij IDEWE of een veldwerker van het PIH. Dit kost opnieuw meer tijd van de werknemer (en onrechtstreeks voor de werkgever). Algemeen streven we naar een maximum tijdsinvestering van 15 minuten per persoon omdat dit als aanvaardbaar werd beoordeeld in de focusgroepgesprekken.



### 3.2.3.5 Gegevensoverdracht uit databank arbeidsgeneeskundige dienst

De hierboven beschreven mogelijkheden tot dataverzameling maken dat de verzamelde gegevens behoren tot het HBM-onderzoek, en niet tot het arbeidsgeneeskundig dossier.

Via het toestemmingsformulier kan gevraagd worden aan de deelnemers of bepaalde parameters (bv. lengte, gewicht, bloeddruk, klachten, medicatiegebruik geregistreerd op de dag van het onderzoek, rookgedrag, fysieke activiteit, reden van ziekteverzuim) opgevraagd mogen worden bij de arbeidsgeneeskundige dienst om toe te voegen aan de databank van het onderzoek. Op deze manier werd ook reeds in het verleden gewerkt, bv. in de jongerencampagnes waarbij we data van het CLB opvragen rond evolutie lengte, gewicht en puberteit. Deze aanpak dient voorgelegd te worden aan het ethisch comité die de studie goedkeurt, en aan de interne ethische commissie van IDEWE.

### 3.2.3.6 Koppeling met gezondheidsdata

Een meerwaarde van een HBM-onderzoek bij een representatieve groep Vlaamse volwassenen, naast een onderzoek bij jongeren, is de diversiteit van gezondheidsproblemen bij deze groep, die gekoppeld kunnen worden aan de HBM-data. Indien een langere vragenlijst (digitaal, op papier of telefonisch) vervolledigd kan worden bij geselecteerde deelnemers, kunnen vragen naar gezondheidsgegevens daarin bevestigd worden. Het aantal en soort deelnemers zal afhangen van powerberekeningen. Zo niet, dan dienen andere pistes verkend te worden om gezondheidsgegevens te verkrijgen, bv. via e-health (Suhmer of regionale kluizen (e-hubs)). Gegevens van medische historiek verzameld binnen IDEWE zijn niet altijd volledig: enerzijds deelt niet iedere werknemer alle medische informatie, anderzijds is er veel in- en uitstroom van werknemers bij IDEWE door veranderingen in werksituatie. De gegevens zouden wel als 'additioneel' kunnen toegevoegd worden aan de onderzoeksdatabase. Ook kunnen we de arbeidsartsen aanmoedigen om de volledigheid van de medische historiek na te kijken/aan te vullen.

### 3.2.4 Haalbaarheidsanalyse

In januari 2022 werd een focusgroep georganiseerd met de betrokken gezondheidsmedewerkers van IDEWE, om de bereidheid en essentiële voorwaarden voor deelname te identificeren. Het panel bestond uit 10 personen, waaronder de globaal medisch directeur, een regionaal medisch directeur, enkele arbeidsartsen werkzaam in de centra, enkele arbeidsartsen werkzaam in de bedrijven (zowel groot als klein), een preventiedeskundige, een arbeidsarts die zich bezighoudt met medische check-ups, en enkele regionaal verpleegkundig coördinatoren.

Volgende punten kwamen uit de focusgesprekken naar voren:

- Algemeen:
  - Alles dient zoveel mogelijk buiten het medisch onderzoek om te gebeuren; gezien de strikte tijdsplanning en de huidige verhoogde belasting door de COVID19-pandemie, moeten we verzekeren dat hetgeen we van de arbeidsartsen/verpleegkundigen zelf vragen binnen de tijd van de consultatiezitting kan worden afgehandeld (i.e. 15 minuten).
  - Het inzetten van veldwerkers vraagt minder inspanningen van de arbeidsarts, geeft uitgebreidere onderzoeksmogelijkheden en betere datakwaliteit.
- Procedure:
  - Rekrutering: via arbeidsgeneeskundige centra zal een representatiever sample geven, met minder clusters van bepaalde beroepsblootstelling.
  - ICF en vragenlijsten: zo veel als mogelijk digitaal, IDEWE zet sterk in op digitalisering. Alles kan verlopen via het werknemersportaal van IDEWE. Dit portaal is reeds ontwikkeld, en wordt momenteel uitgetest bij een aantal grote bedrijven. Werknemers kunnen hiervoor op voorhand worden uitgenodigd, via de sms die standaard gestuurd wordt met herinnering voor onderzoek.



- Staalafname: urine kan de arts/verpleegkundige van IDEWE zeker afnemen, bloedstalen preferentieel veldwerkers. In dat laatste geval is het nodig een apart lokaal te voorzien.
- Andere onderzoeken: over te nemen uit het verslag van de consultatie.
- Gezondheidsdata/medische voorgeschiedenis: over te nemen uit het verslag van de consultatie, het behoort tot de taken van de arbeidsarts de volledigheid hiervan na te kijken, we kunnen dit zeker nog eens extra benadrukken. Bij het eerste consult (consult indiensttreding) van een nieuwe werknemer bij IDEWE dient die werknemer enkele vragenlijsten in te vullen betreffende voorgaande ziektes, letsels, aandoeningen, operaties, infecties, vaccinaties, huidige behandelingen, huidige klachten/symptomen, en beweging/eetgewoonten/beeldschermwerk.
- Administratieve gegevens: kunnen uit databank IDEWE gehaald worden en uit arbeidsgeneeskundig dossier, mits toestemming.
- Bereidheid tot deelname gezondheidsprofessionals:
  - Tijdsinvestering, cf. hierboven
  - ‘Return on investment’:
    - Communicatie van de groepsresultaten en regelmatige update van de voortgang van rekrutering.
    - Mogelijkheid verkennen om de individuele resultaten ook in het dossier van IDEWE te laten verschijnen, meeste artsen zullen dit zeker interessant vinden. Voor de communicatie van de individuele resultaten naar de werknemers zeker voorzien dat er aanspreekpunten zijn vanuit het onderzoek; bedrijfsarts/huisarts is niet voldoende op de hoogte en heeft geen tijd voor specifieke vragen.
  - Indien er externe veldwerkers komen, vraag naar aansprakelijkheid.
- Bereidheid tot deelname werknemers:
  - Info zo laagdrempelig maken dat iedereen gemakkelijk kan instappen.
  - Geen dubbele informatie verzamelen. Er is al een standaard vragenlijst vanuit IDEWE. Data overdracht doen vanuit standaard dossier, en niet zaken dubbel vragen, want dit gaat tot frustratie leiden.
  - ‘Return on investment’:
    - Eigen resultaten ontvangen is absoluut een meerwaarde. Voorbeeld van PFAS hieronder: zal voor vele interessant zijn, maar kunnen ze er iets mee doen? Heeft een individueel resultaat een betekenis? Handlingsperspectief is belangrijk (tips om blootstelling te vermijden), en ook aftoetsen tegenover richtwaarden is voor deelnemer (en arts) interessant.
    - Medewerkers enthousiasmeren. Buiten de resultaten nog een kleine attentie voorzien, bijv. pin.
- Bereidheid tot deelname werkgevers:
  - Extra tijdinvestering niet te lang: max. 10-15 minuten bovenop het consult (standaard 15 minuten), daarom voorstel om per werknemer slechts een beperkt aantal biomerkers te meten.
  - In bedrijven moet de werkgever vooraf op de hoogte worden gebracht en toestemming geven; bij centrum onderzoeken is toestemming niet nodig. Toestemming voor de extra tijdinvestering van de werknemer zal wel vereist zijn. Er kan een mailing via krantje naar de werkgevers gebeuren om te melden dat deze studie zal lopen. Onderwerpen als PFAS zullen zeker veel interesse wekken.

Voor een effectieve studie is het aangeraden om nog een focusgroep met werkgevers en werknemers te organiseren, van zowel grote als kleinere bedrijven behorende tot verschillende beroepssectoren. Op die manier worden ook hun perspectieven en bijhorende uitdagingen in rekening gebracht bij de uitrol van rekrutering via arbeidsgeneeskunde.



**Besluit:**

Bij sentinel surveillance via arbeidsgeneeskundige diensten is zo weinig mogelijk belasting van de artsen nodig, en dienen we dus veldwerkpersoneel te voorzien. De duurtijd van de aanwezigheid van de werknemers moet tot een minimum worden beperkt in het belang van de werkgevers. De individuele resultaten alsook finale resultaten dienen steeds te worden meegedeeld aan de deelnemende werknemers en artsen, met het onderzoeksteam als aanspreekpunt hiervoor.

### 3.2.5 Voorbeeldcase: PFAS

In het vorige hoofdstuk werden de mogelijke pistes per onderzoekonderdeel opgesomd, met hun voor- en nadelen. Deze bouwblokken worden in dit hoofdstuk samengelegd in een theoretische voorbeeldcase, teneinde de voeling met de praktijk te vergroten (deze case wordt hier (nog) niet gedetailleerd uitgewerkt, maar dient eerder als basishandvat voor de studie. Dit had even goed een andere case kunnen zijn, zoals bijvoorbeeld zware metalen.

#### 3.2.5.1 Agens

Zoals eerder aangegeven, dienen de vragenlijsten in een arbeidsgeneeskundige context kort te zijn, alsook staalafname niet te veel tijd in beslag te nemen. Daarom wordt voorgesteld om per werknemer 1 type biomarker te meten, zodat ook telkens slechts bronnen van één groep blootstellingsmarkers dienen te worden bevraagd.

Gezien de recente berichtgevingen (juni 2021) over verhoogde concentraties van poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) in het leefmilieu (bodem, grondwater, eieren) rondom de 3M site in Zwijndrecht (8), alsook in het serum van de inwoners van Zwijndrecht en omstreken (9), lijkt dit ons een ideaal startpunt voor deze theoretische case. Het bevolkingsonderzoek werd uitgevoerd door PIH en VITO, waardoor we kunnen verder bouwen op de reeds opgedane ervaring. We anticiperen hiermee ook op de groeiende interesse/ongerustheid hieromtrent vanuit de Vlaamse bevolking, de media, etc.

PFAS worden gebruikt in allerhande toepassingen om producten water-, vet of stofafstotend te maken, bv. in voedselverpakkingsmaterialen, blusschuim, anti-aanbaklagen van pannen, textiel, cosmetica. Ook worden ze gebruikt in verschillende industriële toepassingen en processen. De mens kan er dus op verschillende manieren mee in contact komen, bv. via voedsel, drinkwater, bodem en consumentenproducten. Van een aantal PFAS is bekend dat ze schadelijke effecten kunnen hebben op milieu en gezondheid; de bekendste voorbeelden zijn perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) en perfluorooctaanzuur (PFOA). De precieze eigenschappen verschillen per specifieke PFAS, maar dit reikt buiten de scope van dit onderzoek. In Tabel 21 wordt een voorbeeld gegeven van PFAS die gemeten zouden kunnen worden.

Tabel 21: Lijst van PFAS (perfluorverbindingen) die gemeten worden in serum

| PFAS                     | Afkorting | CAS nr    |
|--------------------------|-----------|-----------|
| perfluorbutaanzuur       | PFBA      | 375-22-4  |
| perfluorpentaanzuur      | PFPeA     | 2706-90-3 |
| perfluorhexaanzuur       | PFHxA     | 307-24-4  |
| perfluorheptaanzuur      | PFHpA     | 375-85-9  |
| perfluorooctaanzuur      | PFOA      | 335-67-1  |
| perfluornonaanzuur       | PFNA      | 375-95-1  |
| perfluordecaanzuur       | PFDA      | 335-76-2  |
| perfluorundecaanzuur     | PFUnA     | 2058-94-8 |
| perfluordodecaanzuur     | PFDoA     | 307-55-1  |
| perfluorbutaansulfonzuur | PFBS      | 375-73-5  |

| PFAS                      | Afkorting | CAS nr    |
|---------------------------|-----------|-----------|
| perfluorhexaansulfonzuur  | PFHxS     | 355-46-4  |
| perfluorheptaansulfonzuur | PFHpS     | 375-92-8  |
| perfluoroctaansulfonzuur  | PFOS      | 1763-23-1 |

### 3.2.5.2 Rekrutering

#### Primaire sampling unit

Er wordt in elke regio 1 arbeidsgeneeskundig centrum van IDEWE geselecteerd waar driemaandelijks telkens 1 dag deelnemers zullen worden gerekruteerd (d.w.z. 4x/jaar/regio, voor een totaal van 8 Vlaamse regio's, dus 32 veldwerkdagen per jaar; In een referentie HBM campagne wordt steeds staalafname voorzien gedurende 1 jaar om seizoensvariatie mee in te calculeren; specifiek voor PFAS is dat minder van belang).

Alle arbeidsartsen en verpleegkundigen werkend bij IDEWE zullen van de studie op de hoogte worden gebracht via de interne pagina van IDEWE, iNet, met ook een link naar extra informatie indien gewenst (zoals de informatiebrochures, vragenlijsten, een webinar met meer uitleg, ...).

De arbeidsartsen werkzaam in de geselecteerde centra op de dag van consultatie zullen hiervan ook nog apart op de hoogte worden gebracht via mail. Op de dag van de studie zullen de instructies bij aankomst nog eens kort herhaald worden door de veldwerker(s).

#### Secundaire sampling unit

Op 1 dag worden 26 consulten uitgevoerd per arts/verpleegkundige. Indien we uitgaan van een respons van 30%, betekent dit dat er een 8-tal personen arts/verpleegkundige per dag gerekruteerd kunnen worden. Het is mogelijk dat meerdere artsen/verpleegkundigen per centrum op dezelfde dag deelnemen. We zullen hiermee in elk geval rekening houden, teneinde onze onderzoeksdagen zo 'vol' mogelijk te plannen.

Alle werknemers ontvangen enkele dagen voor hun consultatie standaard een herinnering aan hun afspraak via mail/sms vanuit het ICT-systeem van IDEWE. Aan deze mail/sms zal voor de onderzoeksdagen ook een uitnodiging tot de studie worden gekoppeld. Er wordt duidelijk gemaakt wat de voordelen zijn van deelname (bv. ontvangen van persoonlijke analyseresultaten, en finale uitkomsten van het onderzoek achteraf), alsook wat de nadelen zijn (bv. bloedafname en bijhorende extra duurtijd van het onderzoek). Bij toestemming vragen we geïnteresseerde werknemers om hun deelname op voorhand te bevestigen door een online toestemmingsformulier in te vullen. Na deze bevestiging krijgen ze een elektronische vragenlijst toegestuurd. Deze bevraagt enkele selectieparameters (geslacht, leeftijd, SES), blootstellingsgegevens, gezondheidseffecten en de medische voorgeschiedenis.

### 3.2.5.3 Veldwerk

#### Taken van de arbeidsarts/verpleegkundige

Aan deelnemende artsen/verpleegkundigen wordt gevraagd om de volledigheid en correctheid van de medische voorgeschiedenis extra na te kijken.

Na de consultatie verwijzen ze de werknemers naar het onderzoeksteam in een aparte onderzoeksruimte.

#### Taken van de veldwerker(s)

Op de dag van het onderzoek wordt er een ruimte voorzien in het arbeidsgeneeskundig centrum voor extra personeel (studiemedewerker van IDEWE of veldwerkers PIH). Het aantal extra personeelsleden dat voorzien moet worden, wordt bepaald afhankelijk van het aantal werknemers dat deelneemt die dag en de spreiding doorheen de dag.





Bij aankomst wordt een kopie gegeven van het reeds ingevulde toestemmingsformulier. Verder wordt gecheckt of de elektronische vragenlijst ingevuld werd; zo niet wordt gevraagd de vragenlijst ter plaatse te vervolledigen. Er wordt dan een bloedstaal (en eventueel een beperkte set extra onderzoeken) afgenomen. De totale tijd mag maximaal 15 minuten per persoon bedragen. Op deze manier is ook standaardisering van de staalname gegarandeerd: steeds dezelfde, ervaren HBM-veldwerkers en staalafnameprocedure.

Bijkomend kan in parallel een self-sampling methode worden getest, bijvoorbeeld de volatile absorption methods sampling (VAMS), waarbij gebruik wordt gemaakt van een vingerprik uitgevoerd door de werknemer zelf. Dit wordt reeds experimenteel toegepast voor PFAS bij de medewerkers van VITO, en kan een grote meerwaarde betekenen voor staalafname in eventuele vervolgstudies, ook in het kader van citizen science. Het onderzoeksteam regelt het transport naar VITO, waar de stalen verdeeld worden. De deelnemers krijgen op het einde een beloning.

De routinematig afgenomen data op de dag van het onderzoek door de arbeidsarts (lengte, gewicht, bloeddruk, medicatiegebruik/huidige behandelingen, voorgaande ziektes/letsels/aandoeningen/operaties, infecties en vaccinatiegegevens, huidige klachten/symptomen) worden opgevraagd vanuit de IDEWE databank en toegevoegd aan de onderzoeksdatabase, op basis van toestemming in het toestemmingsformulier.

#### 3.2.5.4 Contingentieplan

Tijdens de veldwerkperiode kan er nog bijgestuurd worden bij het selecteren van deelnemers, bv. als er een groep deelnemers oververtegenwoordigd is. Om bij te sturen kan eventueel afgesproken worden om één of meerdere dagen mee te gaan op locatie (dus in een bepaald bedrijf, best met mix van beroepsrisico's maar met een bepaalde ondervertegenwoordigde onderzoekspopulatie) om daar het onderzoek te doen van werknemers. Hiervoor kan ook gebruik worden gemaakt van de IDEWE-bussen, die zijn ingericht als mobiele medische kabinetten. Zo worden deze bussen momenteel ook ingezet in als 'vaccinbussen' ter logistieke ondersteuning van de mobiele vaccinatieteams.

#### 3.2.5.5 Datacollectie

Er kan gebruik gemaakt worden van surveysystemen zoals Limesurvey, Qualtrics, of volledige datacollectietools zoals RedCap (Research Electronic Data Capturing)(10): dit is een Browser-gebaseerde, beveiligde software specifiek om onderzoek databases te creëren; enkel het studieteam heeft toegang m.b.v. twee-staps verificatie tot de data en wijzigingen worden steeds getrackt. Deze systemen worden reeds gebruikt en ondersteund binnen IDEWE/KUL.

Indien de deelnemers de vragenlijsten online invullen (m.b.v. een RedCap survey) worden hun antwoorden automatisch in de database opgeslagen. Er zal in dat geval een kwaliteitsvollere databank bekomen worden; deelnemers krijgen enkel vragen aangeboden die op hen van toepassing zijn, en onmogelijke antwoorden kunnen direct gecorrigeerd worden. Voor de deelnemers die de vragenlijsten op papier invullen, zal een medewerker deze vragenlijsten handmatig in deze database ingeven.

Meetresultaten worden overgenomen uit de elektronische datasheets die worden aangeleverd door de uitvoerende laboratoria. De koppeling van de vragenlijst gegevens met de toxicologische gegevens gebeurt op basis van een uniek codenummer.

De biometrische en gezondheidsparameters uit het medisch verslag worden ook overgenomen als de deelnemer hiervoor toestemming gaf.

Na het koppelen van de gegevens wordt alles nog eens nagekeken/gevalideerd door een onderzoeksmedewerker.



Updates van rekrutering, ondervonden moeilijkheden e.d. zullen op regelmatige basis worden bediscussieerd in een multidisciplinair team (arbeidsartsen, onderzoekers,...).  
Data-analyse zal gebeuren volgens de richtlijnen van HBM.

### 3.2.5.6 Communicatie

Tijdens de rekruteringsfase verloopt de communicatie met arbeidsartsen, verpleegkundigen, werkgevers en werknemers via de respectievelijke online portalen van IDEWE. Daar zal basisinformatie beschikbaar zijn over de studie, alsook regelmatige updates van de rekruteringsstatus. Na staalanalyse wordt allereerst de individuele uitslag van de metingen persoonlijk meegedeeld aan de deelnemers. Na verwerking van alle individuele resultaten worden de collectieve resultaten gecommuniceerd, in eerste instantie binnen ons eigen multidisciplinair team, en vervolgens naar de deelnemende arbeidsartsen, de deelnemende bedrijven en de deelnemers zelf. Tenslotte is er de wetenschappelijke publicatie en communicatie naar het grote publiek via pers, social media, etc. De communicatie zal te allen tijde in lijn zijn met de spelregels van het Steunpunt Milieu & Gezondheid.

### 3.2.5.7 Financieel aspect

Aantal deelnemers voor een HBM-studie wordt geschat op ~250 (32 dagen x 8 deelnemers per dag). Volgende financiële meerkost ten opzichte van de standaard kosten verbonden aan een HBM-studie zullen in rekening gebracht moeten worden bij rekrutering via arbeidsgeneeskundige centra:

- Prijzen voor programmatie ICT: het ter beschikking stellen van de informatie (info over de studie, vragenlijsten,...) op de verschillende online portalen van IDEWE, uitnodiging tot de studie via sms/mail, evt. gegevensoverdracht uit andere databanken
- Staaltransport vanuit de 8 verschillende centra naar VITO

#### **Algemeen besluit:**

Werken via de arbeidsgeneeskundige dienst IDEWE als peilpraktijk voor omgevingsblootstelling in de Vlaamse HBM-campagnes is haalbaar voor:

- De selectie van een representatieve deelnemersgroep voor de tewerkgestelde Vlaamse volwassen populatie, representatief op vlak van leeftijd, geslacht, geografische spreiding/verstedelijkingsgraad en SES (opleiding, afkomst, inkomen). Er zal extra gelet moeten worden op het vermijden van clusters van beroepsblootstelling.
- De rekrutering van het nodige aantal volwassen deelnemers (N = 200-250) voor een Vlaamse HBM. Dit zou verlopen via de rekrutering van 8 deelnemers per onderzoeksdag en 4 dagen per jaar in 8 arbeidsgeneeskundige diensten.
- De rekrutering zou via de gekende communicatiekanalen van IDEWE verlopen. Ook de ICF en vragenlijsten zouden via deze weg verspreid en afgenomen worden. Hiervoor moet wel een ICT-gerelateerde meerkost gerekend worden.
- De tijd voor de onderzoeken is beperkt (15'), waardoor men zal moeten opteren voor kortere vragenlijsten, vragenlijsten vooraf afnemen en een beperktere set van biomerkers van blootstelling.
- Gezondheidseffecten zullen zowel via effectmerkers als vragenlijsten gemeten kunnen worden. De mogelijkheid bestaat om ook gezondheidsdata uit het medisch arbeidsgeneeskundig dossier en de IDEWE-databank te halen.
- Voor bloedafname en/of bijkomende onderzoeken naar gezondheidseffecten die ruimer zijn dan het routine arbeidsgeneeskundig onderzoek, zullen veldwerkpersoneel en een extra koerierdienst ingeschakeld moeten worden.
- Communicatie van individuele resultaten en groepsresultaten zal verlopen volgens de Spelregels van het Steunpunt Milieu en Gezondheid.
- Een belangrijke derde partij waar rekening mee gehouden zal moeten worden, is de werkgever.



Naast deze algemene besluiten zoomen we graag nog even in op enkele aparte vragen.

### **Sentinel approach versus onderzoeksprogramma**

- De huidige verkenning werd gedaan door te vertrekken vanuit de bestaande richt- en krijtlijnen van een VHBM zoals uitgevoerd door het Steunpunt Milieu en Gezondheid en te bekijken hoe deze kan worden ingebed in de routinewerking van de arbeidsgeneeskundige dienst van IDEWE. Het uitgewerkte scenario illustreert dat rekrutering, sampling en communicatie via IDEWE een mogelijke piste is. De grootste aanpassing ten opzichte van de 'klassieke' HBM is dat de tijd voor onderzoek gelimiteerd is, waardoor een beperkt aantal metingen per persoon mogelijk zijn. Er is echter wel een mogelijkheid om te werken met verschillende parallelle deelnemersgroepen, waardoor toch een brede set van biomerkers gemeten kan worden. Een inherente beperking is dat niet alle merkers in dezelfde persoon worden gemeten, waardoor het bestuderen van mengseltoxiciteit beperkter zal zijn.
- Indien er vanuit de HBM specifieke onderzoeksvragen zijn (zoals bijv. een uitgebreid onderzoek naar mengseltoxiciteit) kan bekeken worden of het opzetten van een apart onderzoeksprogramma binnen IDEWE kan worden opgezet, bijv. naar analogie met het onderzoek rond Cr(VI) dat werd uitgevoerd binnen de studie rond arbeidsblootstelling in HBM4EU. Het opzetten van een specifiek onderzoeksprogramma binnen arbeidsgeneeskundige diensten is een ander concept; het doel van de huidige oefening was om na te gaan hoe HBM kan passen in de standaard arbeidsgeneeskundige werking via de sentinel approach.

### **Vergelijking rekrutering van volwassenen via arbeidsgeneeskunde vs. provinciepersoneel (FLEHS-II)**

In FLEHS-II werden 200 volwassenen (20-40 jaar) gerekruteerd via het provinciepersoneel van de provinciebesturen. We vergelijken deze rekruteringsstrategie met een rekrutering via arbeidsgeneeskunde door een oplistijng van de voor- en nadelen van de rekruteringsstrategie via provinciepersoneel. De voor- en nadelen van rekrutering via arbeidsgeneeskunde zijn te vinden doorheen het rapport.

#### *Voordelen van rekrutering via provincie-personeel:*

- Bij de provincie werken mensen van verschillende sociale klassen (niveau A, B, C, D) die verschillende activiteiten uitoefenen (administratie, poetspersoneel, buitendiensten, ...) afkomstig uit een groot geografisch gebied. Via arbeidsgeneeskunde bereiken we ook mensen van verschillende sociale klassen die verschillende beroepstypes uitoefenen. Bij de selectie van arbeidsgeneeskundige centra zal rekening gehouden worden met het werkgebied, waarbij het mogelijk is om een arbeidsgeneeskundig centrum per provincie te selecteren.
- Het merendeel van de provincie medewerkers heeft geen beroepsblootstelling (tenzij in het verleden). Via arbeidsgeneeskunde zal men extra inspanningen moeten leveren om clusters van beroepsblootstelling te vermijden. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat een deel van de Vlaamse bevolking blootgesteld is, waardoor een representatieve steekproef van de Vlaamse bevolking ook beroepsblootgestelde mensen moet bevatten.
- Het veldwerk vereenvoudigt sterk als men via provinciebesturen werkt. De deelnemers kunnen tijdens de werkuren gecontacteerd worden en de bloedafname of andere metingen kunnen – mits toestemming van de provinciebesturen – in het hoofgebouw en tijdens de werkuren gebeuren. Het veldwerk via arbeidsgeneeskunde kan ook tijdens de werkuren en op centrale locaties, m.n. de arbeidsgeneeskundige centra, gebeuren.



### *Nadelen of uitdagingen van rekrutering via provincie-personeel:*

- Rekruteren via provinciepersoneel vraagt extra aandacht voor representativiteit voor de Vlaamse bevolking: het sluit werklozen, zieken, huismoeders en anderen op voorhand uit. Deze beperkingen gelden ook voor rekrutering via arbeidsgeneeskunde en iedere rekruteringsmethode heeft een vorm van selectiebias. Hoe deze hiaten opgevangen kunnen worden, wordt beschreven in het rapport.
- Werken via provinciebesturen vraagt aandacht voor mogelijke syndicale weerstand. Een syndicale weerstand wordt niet of in mindere mate verwacht bij rekrutering via arbeidsgeneeskunde.
- De provinciebesturen kunnen geen lijsten bezorgen met adres, leeftijd en niveau van de provincie-medewerkers (wet op privacy). Dit betekent dat er vooraf geen selectie kan gemaakt worden om deelnemers aan te schrijven. Daarom werd in FLEHS-II een algemene oproep voor deelname via de loonbrief gedaan en werd er aan iedereen gevraagd om een korte vragenlijst in te vullen met adres, leeftijd, geslacht en opleiding. Hieruit werd dan een selectie gedaan. Via arbeidsgeneeskunde is het wel mogelijk om vooraf op leeftijd, geslacht en regio te selecteren. Vooraf selecteren op SES is niet mogelijk en moet ook bevestigd worden via een vragenlijst.
- De overall respons was lager dan verwacht bij de provincie-medewerkers : 16,2% stuurde een antwoord en 79,6% van deze respondenten wenste deel te nemen. Daarom werd er een rappel gestuurd via de provinciebesturen, met een extra oproep voor laaggeschoold personeel. Hoe de respons zal liggen bij rekrutering via arbeidsgeneeskunde is moeilijk in te schatten. Er wordt verwacht dat er ook via arbeidsgeneeskunde extra inspanningen geleverd zullen moeten worden om mensen met een lagere SES te includeren in de studie.
- Rekruteren via provinciebesturen zorgde voor een oververtegenwoordiging van hoog opgeleiden en vrouwen. Deze bias komt vaak voor in wetenschappelijk onderzoek en kan ook voorkomen bij rekruteren via arbeidsgeneeskunde.

### **Besluit:**

De voor- en nadelen van rekruteren via provinciebesturen zijn gelijkaardig aan die van rekruteren via arbeidsgeneeskunde. Een nadeel van werken via provinciebesturen is de moeizame en niet-gerichte rekrutering van provincie-medewerkers omwille van de wet op privacy. Een nadeel van werken via arbeidsgeneeskunde is de beperkte tijdsinvestering die beschikbaar is, waardoor slechts een selectie van biomerkers van blootstelling gemeten kunnen worden. In het vooruitzicht van toekomstige HBM campagnes kan een onderscheid worden gemaakt tussen brede (cfr voorgaande VHBM) en gerichte campagnes (beperkt tot beperkt aantal biomerkers), waarbij dan respectievelijk via de provincies en de arbeidsgeneeskundige diensten kan worden gerekruteerd. De twee rekruteringsmethodes kunnen ook parallel plaatsvinden en zo mekaar aanvullen.

### **Mogelijkheid tot uitbreiding naar andere externe en interne diensten**

Om de haalbaarheid van HBM via arbeidsgeneeskundige diensten te evalueren, verkennen hier we in eerste instantie de **samenwerking via IDEWE**, omdat we hier de juiste informatie beschikbaar hebben om de haalbaarheid in kaart te brengen, en eventuele bottlenecks te identificeren. Met de ervaring van deze studie in de HBM-campagne kan nadien nog worden uitgebreid naar andere externe en interne diensten. Via deze uitbreiding bereiken we meer arbeidsartsen/verpleegkundigen, en dus ook meer werknemers. Aangezien elke externe dienst zijn eigen werking heeft, kunnen we het protocol gebruikt in IDEWE aanpassen naargelang de dienst. Hierbij dient speciale aandacht uit te gaan naar het aligneren van de verschillende databanken.



### **Advies naar de toekomst toe**

Concreet adviseren we om deze theoretische verkenning in de praktijk om te zetten en sentinel via arbeidsgeneeskunde, zoals in dit rapport verkend werd, toe te passen binnen het volgend gericht HBM-project. Op die manier zal deze theoretische roadmap geëvalueerd kunnen worden en waar nodig bijgestuurd worden. Tussendoor bijsturen is natuurlijk wel mogelijk en zal hoogstwaarschijnlijk ook nodig zijn.

### 3.2.6 Aansluiting bij PARC

De eenheid Omgeving en Gezondheid van de KU Leuven onder leiding van Lode Godderis, Sara Pauwels en Katrien Poels is binnen PARC verantwoordelijk voor 'WP 4.1 Occupational studies: Assessment of exposure through a sentinel surveillance system'. Het doel is om humaan biomonitoringsonderzoek uit te voeren door gebruik te maken van een Europees sentinel netwerk. We willen de totale blootstelling (omgevings –en werkgebonden) van de algemene bevolking bepalen via een Europees netwerk van arbeidsartsen. Tot hiertoe hebben 14 Europese landen interesse getoond om deel te nemen aan WP 4.1.

### 3.2.7 Referenties

1. Peter Nsubuga, Mark E. White, Stephen B. Thacker, Mark A. Anderson, Stephen B. Blount, Claire V. Broome, Tom M. Chiller, Victoria Espitia, Rubina Imtiaz, Dan Sosin, Donna F. Stroup, Robert V. Tauxe, Maya Vijayaraghavan, and Murray Trostle. Chapter 53: Public Health Surveillance: A Tool for Targeting and Monitoring Interventions. In: Disease Control Priorities in Developing Countries. 2nd edition. Jamison DT, Breman JG, Measham AR, et al., editors. New York: Oxford University Press; 2006.
2. Havet N, Penot A, Morelle M, Perrier L, Charbotel B, Fervers B. Trends in occupational disparities for exposure to carcinogenic, mutagenic and reprotoxic chemicals in France 2003-10. Eur J Public Health. 2017;27:425–432.
3. Sara Pauwels, Celien Swinnen, Anne-Marie Temmerman, Steven Ronsmans, Dorina Rusu, Antoon De Schryver, Lutgart Braeckman, Lode Godderis. PROBE Study: A Sentinel Surveillance System to Monitor Exposure of Belgian Employees to Hazardous Chemicals: A Feasibility Study. J Occup Environ Med 2020;62:e748-e753. doi: 10.1097/JOM.0000000000002055.
4. <https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=8b82b79e-4696-45ec-a082-254756db6be6>. Geraadpleegd op 11/05/2021.
5. <https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=8b82b79e-4696-45ec-a082-254756db6be6>. Geraadpleegd op 11/05/2021.
6. Schoeters G, Govarts E, Bruckers L, Den Hond E, Nelen V, De Henauw S, Sioen I, Nawrot TS, Plusquin M, Vriens A, Covaci A, Loots I, Morrens B, Coertjens D, Van Larebeke N, De Craemer S, Croes K, Lambrechts N, Colles A, Baeyens W. Three cycles of human biomonitoring in Flanders - Time trends observed in the Flemish Environment and Health Study. Int J Hyg Environ Health. 2017;220:36-45. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.11.006.
7. <https://werk.belgie.be/nl/erkenningen/erkenning-externe-diensten-voor-preventie-en-bescherming-op-het-werk-edpbw>. Geraadpleegd op 11/05/2021.
8. <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/zwijndrecht/pfos-vervuiling-extra-bodemonderzoek-op-3m-site-en-bredere-regio>. Geraadpleegd op 1/12/2021
9. <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/zwijndrecht/pfas-bevolkingsonderzoek-bij-omwonenden-van-de-3m-site-in-zwijndrecht>. Geraadpleegd op 1/12/2021

## 4 WERKPAKKET 4 EXTERNE BLOOTSTELLING EN GEZONDHEID

### 4.1 RUIMTEGEBRUIK EN GEZONDHEID

#### 4.1.1 Achtergrond en Doelstelling

De doelstelling van WP 4.1 is om verder te bouwen op de resultaten van FLEHS IV met betrekking tot het ruimtegebruik van de adolescenten in verband met cognitie en immuun-gerelateerde effecten. In FLEHS IV, hebben we verstedelijking, groene ruimte in een 50m tot 2000m radius rondom de woning, verkeersindicatoren en luchtvervuiling bepaald op basis van het thuisadres van alle deelnemers. Urinaire koolstof werd gemeten bij 140 adolescenten. Dit is een nieuwe biomarker van blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtvervuiling die bijdraagt aan het ontrafelen van de rol van luchtvervuiling in het verband tussen het residentiële ruimtegebruik en cognitie. Daarnaast werden biomarkers van blootstelling aan potentieel immuunverstorende chemicaliën gemeten: verbranding-gerelateerde polluenten zoals benzeen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), persistente organische polluenten (POP's) zoals perfluorverbindingen (PFAS), polychloorbifenylen (PCB's) en organochloorpesticiden (OCP's). Ruimtegebruik en blootstelling aan PAK's werden bij FLEHS IV jongeren ook in verband gebracht met biomarkers van de biologische stress respons. De bijkomende analyse van cytokines als merkers van het immuunsysteem zal bijdragen aan een beter inzicht in de immuunrespons van FLEHS IV jongeren in relatie tot ruimtegebruik en blootstelling aan potentieel immuunverstorende chemicaliën. De verkregen kennis is een aanvulling zijn op de geplande blootstellinggezondheid analyses in HMB4EU.

De concrete doelstellingen binnen WP 4.1 met VITO en UHasselt als partners zijn:

- Het begrijpen van de impact van het residentiële landgebruik op interne koolstof concentraties. Het beter begrijpen van de associatie tussen groen rondom de woning en cognitie en de mediatie van de geïnhaleerde partikels.
- Het bestuderen van de associatie tussen urinaire koolstof en de biologische stress respons.
- Het inschatten van de respons van het immuunsysteem in Vlaamse adolescenten in relatie tot ruimtegebruik variabelen en potentieel immunotoxische blootstellingsmerkers.

#### 4.1.2 De rol van luchtvervuiling, gemeten als interne koolstof concentraties, in het verband tussen het residentiële ruimtegebruik en cognitie bij FLEHS IV jongeren

##### 4.1.2.1 Achtergrond

Het doel van de huidige Steunpunt campagne is om verder te bouwen op de resultaten van FLEHS IV met betrekking tot het ruimtegebruik van de adolescenten in verband met immuun-gerelateerde effecten en cognitie. In FLEHS IV, werd de hoeveelheid groen voor elke jongere berekend in een straal van 50 m tot 2000 m rondom het thuis- en schooladres op basis van de hoge resolutie Groenkaart Vlaanderen van 2012. Tevens werd de verstedelijkingsgraad en de gemodelleerde luchtvervuiling bepaald op basis van het woon- en schooladres voor alle deelnemers. De blootstelling van jongeren aan verkeer werd bepaald aan de hand van de koolstof lading in bloed en urine. Saenen et al. (2017) bracht urinaire koolstoflading eerder al in verband met blootstelling aan luchtvervuiling op de woonplaats en met de afstand tot grote wegen bij kinderen. Resultaten van het voorgaande Steunpunt (n=149) toonden aan dat meer groene ruimte rondom de woning en school geassocieerd is met een betere selectieve en aanhoudende oplettendheid in adolescenten. Dit toont het belang aan van groen in de leefomgeving van opgroeiende adolescenten.



Dit stemt overeen met studies die aantoonde dat groen belangrijk is voor de cognitieve ontwikkeling van kinderen (Dadvand et al., 2015, 2017). De associatie tussen groen en cognitie kan verklaard worden door verschillende mogelijke onderliggende mechanismen (Markevych et al., 2017). Een mogelijk verklaring zou kunnen zijn dat meer groen gepaard gaat met minder luchtvervuiling.

Door metingen van de urinaire koolstof uit te breiden van 149 naar 251 deelnemers wordt de statistische power vergroot. Dit geeft inzicht in de rol die luchtvervuiling speelt tussen groene ruimte en cognitie. Ruimtegebruik werd ook in verband gebracht met biomerkers van de biologische stress respons. Zowel ruimtegebruik als biologische stress hebben mogelijks een effect op het functioneren van het immuunsysteem.

#### 4.1.2.2 Benadering

De hoeveelheid groen werd reeds berekend voor elke jongere in een straal van 50 m tot 2000 m rondom het thuis- en schooladres op basis van de hoge resolutie Groenkaart Vlaanderen van 2012. De verstedelijkingsgraad en de gemodelleerde luchtvervuiling werden bepaald voor het woon- en schooladres op basis van gegevens van IRCEL voor alle deelnemers. Koolstofdeeltjes in bloed en urine werden gemeten op basis van de generatie van wit licht bij illuminatie met een pulsed laser.

Statistische analyses werden uitgevoerd met logaritmisch getransformeerde data om de normaliteit te garanderen. De urinaire koolstoflading werd bijkomend gecorrigeerd voor het soortelijk gewicht.

#### 4.1.2.3 Resultaten

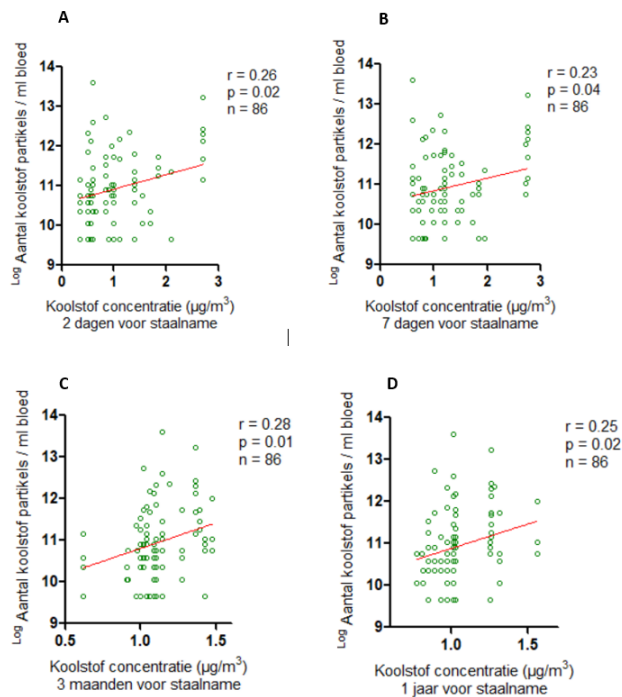
##### *Koolstoflading in bloed*

Jongeren stonden een bloedstaal af (n=86) ter bepaling van het aantal koolstofdeeltjes. Het gemiddelde aantal koolstofdeeltjes bedroeg  $8.79 \times 10^4$  ( $1.15 \times 10^5$ ) per mL bloed.

##### **Impact van gemodelleerde zwarte koolstof in de leefomgeving op interne koolstof concentratie**

We vonden een positieve associatie tussen de koolstoflading gemeten in bloed en de korte termijn concentratie aan zwarte koolstof in de leefomgeving (combinatie woning en school) bepaald aan de hand van een interpolatie model (2 dagen:  $r=0.22$ ,  $p=0.04$ ; 7 dagen:  $r=0.19$ ,  $p=0.08$ ; 3 maanden:  $r=0.21$ ,  $p=0.06$ ). Wanneer enkel het schooladres in acht werd genomen komt deze associatie nog sterker naar voren op korte termijn (2 dagen:  $r=0.26$ ,  $p=0.02$ ; 7 dagen:  $r=0.23$ ,  $p=0.04$ ; 3 maanden:  $r=0.28$ ,  $p=0.01$ ), alsook op lange termijn (jaar:  $r=0.25$ ,  $p=0.02$ ). Deze resultaten tonen aan dat de concentratie aan zwarte koolstof rondom de school een bepalende factor is voor het aantal koolstofdeeltjes dat aanwezig is in het bloed van deze jongeren.





Figuur 17: aantal koolstof deeltjes per mL bloed (log) in functie van de blootstelling aan zwarte koolstof ter hoogte van het schooladres, in een periode van 2 dagen (A), 7 dagen (B), 3 maanden (C) en 1 jaar (D) voor de bloedafname ( $n=86$ ).

### Aanwezigheid van metalen in bloed

Naast de bepaling van het aantal koolstofdeeltjes in bloed werd ook de aanwezigheid van enkele metalen bepaald. We konden een randsignificante, positieve associatie vaststellen tussen de concentratie aan lood en het aantal koolstofdeeltjes in bloed ( $r=0.28$ ,  $p=0.09$ ,  $n=38$ ). Deze associatie kan verklaard worden doordat lood, net zoals de koolstofdeeltjes, een belangrijke component is van luchtvervuiling (PM<sub>2.5</sub>). Zowel lood als koolstofpartikels zijn bijproducten van de onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen in het verkeer (bv. diesel) (Jiang N, 2020). In tegenstelling tot lood, werd er een negatieve associatie gevonden tussen de concentratie zilver en het aantal koolstofdeeltjes in bloed ( $r= -0.32$ ,  $p=0.05$ ,  $n=38$ ) en een positieve associatie met de afstand tot de dichtstbijzijnde weg ( $r=0.20$ ,  $p=0.07$ ,  $n=84$ ). Zilver is een natuurlijk voorkomend metaal en wordt gebruikt voor onder meer fotografische, medische en elektronica doeleinden (WHO, 2002; McGillicuddy et al., 2017). De negatieve associatie met de koolstoflading in bloed is daarom moeilijker te verklaren. De resultaten moeten met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd omwille van het lage aantal jongeren in deze subset.

### Koolstoflading in urine

Naast een bloedstaal werd ook een urinestaal verzameld voor de bepaling van het aantal koolstofdeeltjes. Deze bijkomende koolstofmetingen in urine ( $n=251$ ) vonden één jaar na de metingen uit de vorige Steunpunt campagne ( $n=149$ ) plaats, waardoor een sterk batch effect aanwezig is. Om deze reden werden de twee batches niet met elkaar gecombineerd.

### Impact van zwarte gemodelleerde luchtvervuiling in de leefomgeving op interne koolstof concentratie

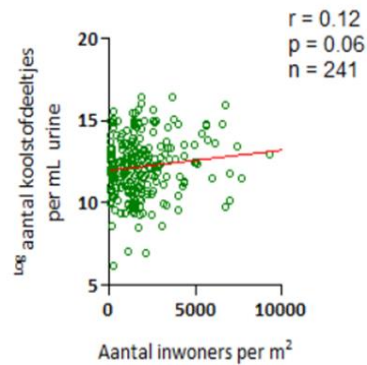
We konden een randsignificante, positieve associatie vaststellen tussen de urinaire koolstoflading en de totale gemodelleerde concentratie aan PM<sub>2.5</sub> in de leefomgeving op korte termijn (0 dagen:  $r=0.11$ ,  $p=0.09$ ; 2 dagen:  $r=0.12$ ,  $p=0.08$ ; 7 dagen:  $r=0.10$ ,  $p=0.11$ ;  $n=239$ ).





Daarnaast vonden we een positieve associatie met het aantal koolstofdeeltjes in de urine en de afstand van de dichtstbijzijnde weg tot de school ( $r=0.13$ ,  $p=0.05$ ,  $n=239$ ). Dit impliceert dat er een verband is met de duur dat de jongeren zich in het verkeer bevinden op weg naar school en de opstapeling van koolstof in de urine.

Verder stelden we een positieve associatie vast tussen de urinaire koolstoflading en de bevolkingsdichtheid ( $r=0.12$ ,  $p=0.06$ ,  $n=241$ ), weergegeven in 8. Deze associatie duidt erop dat er een stijging is van de urinaire koolstoflading naarmate er meer inwoners per vierkante meter aanwezig zijn.

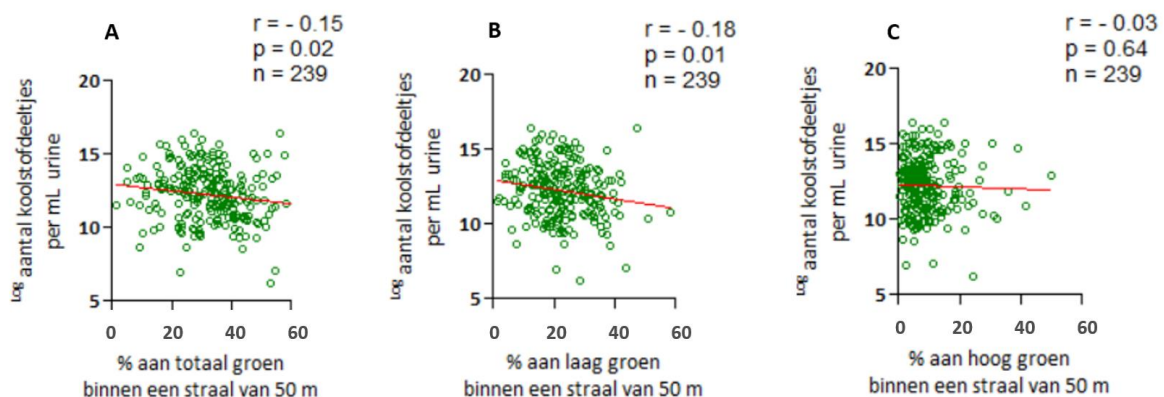


Figuur 18: urinaire koolstoflading (log) in functie van het aantal inwoners per vierkant meter ( $n=241$ ).

### Associatie tussen urinaire koolstoflading en groen rondom de woning

Naast gemodelleerde blootstelling van luchtvervuiling, werd ook het percentage groen rondom de woning en de school bekeken. Een onderscheid werd hierbij gemaakt tussen hoog groen en laag groen. Hoog groen duidt op vegetatie groter dan 3 m en laag groen en laag groen impliceert vegetatie lager dan 3 m. De combinatie van hoog en laag groen vormen samen totaal groen.

We vonden een negatieve associatie met de urinaire koolstoflading en totaal groen in een straal van 50 m ( $r= -0.15$ ,  $p=0.02$ ,  $n=239$ ) rondom de woning en de school. Deze associatie kon ook doorgetrokken worden naar het percentage laag groen in een straal van 50 m ( $r= -0.18$ ,  $p=0.01$ ,  $n=239$ ), maar niet naar hoog groen in een straal van 50 m ( $r=-0.03$ ,  $p=0.64$ ,  $n=239$ ). De percentages laag groen binnen een straal van 100 m ( $r= -0.15$ ,  $p=0.02$ ,  $n=239$ ) en 300 m ( $r= -0.05$ ,  $p=0.02$ ,  $n=239$ ) vertoonden eveneens een negatieve associatie met de urinaire koolstoflading. Deze resultaten benadrukken het belang van groene ruimte rondom de woning, waarbij groen op korte afstand van de woning en de school een belangrijke rol speelt voor de koolstoflading in de urine.

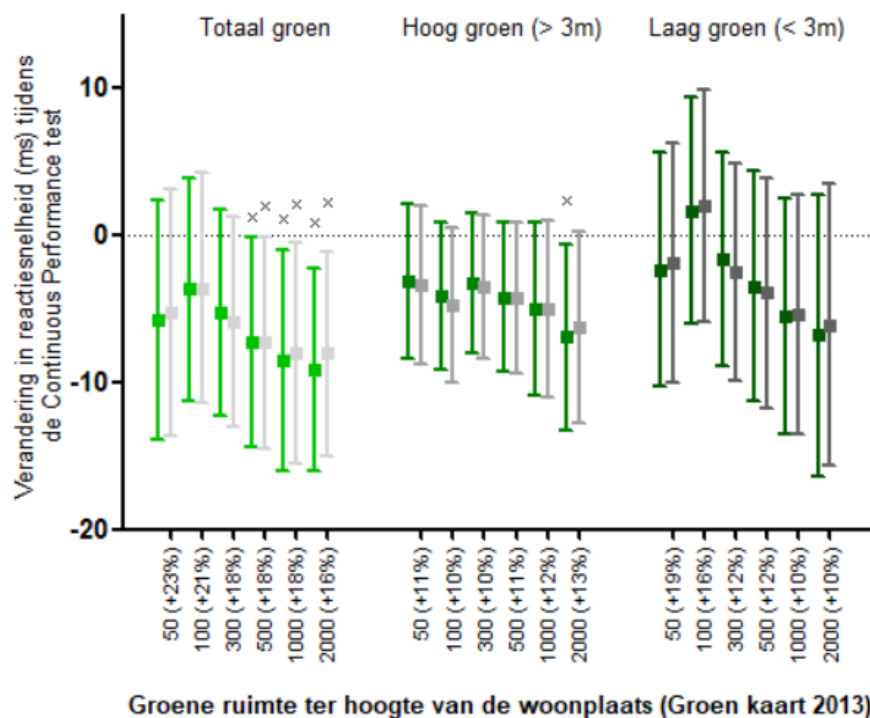


Figuur 19: urinaire koolstoflading en groene ruimte in een straal van 50 m, voor totaal groen (A), laag groen (B) en hoog groen (C) rondom de woning en het schooladres ( $n=239$ ).

### Associatie tussen groen rondom de woning en cognitie en de mediatie van urinaire koolstof

Cognitie werd bepaald door de Stroop test (selectieve aandacht) en de Continuous Performance Test (aanhoudende en selectieve aandacht). Groene ruimte werd bepaald voor verschillende afstanden rondom het huidige woon- en schooladres, gebaseerd op hoge-resolutie land cover data.

In Figuur 20 wordt de verandering in reactietijd weergegeven voor een interkwartiel-stijging in groene ruimte in een straal van 50-2000 m rondom de woning, gecorrigeerd voor geslacht, leeftijd, kansarmoede index, seizoen en het diploma van de moeder. In de subset van 251 deelnemers werd er nog steeds een significante associatie vastgesteld tussen groen rondom de woning en cognitie, op basis van de Continuous Performance Test, waarbij meer totaal groen in een straal van 500 – 2000 m rondom de woning leidt tot een snellere reactietijd. Dit wil zeggen dat een toename van 16% (interkwartielafstand) in totaal groen binnen een straal van 2000 m rondom de woning is geassocieerd met een daling van 8.5 ms (95 BI: -15.7 tot -1.2;  $p = 0.02$ ) in reactietijd. Dit is in lijn met de vorige bevinden in de volledige groep van deelnemers ( $n=596$ ).



Figuur 20: De verandering in reactietijd (ms) op basis van de Continuous Performance Test voor een interkwartiele stijging in groene ruimte rondom de woning in een straal van 50 – 2000 m van de deelnemers ( $n = 251$ ). Een onderverdeling tussen totaal groen, hoog groen (> 3m) en laag groen (< 3m) wordt gemaakt. De groene foutenbalken tonen de resultaten zonder correctie voor koolstoflading, de grijze foutenbalken tonen de resultaten wanneer koolstoflading in rekening wordt gebracht. xX = statistisch significant 95% betrouwbaarheidsinterval.

Zelfs door rekening te houden met de urinaire koolstoflading blijft het verband tussen totaal groen en cognitie ook significant na correctie voor leeftijd, geslacht, kansarmoede-index, seizoen, diploma van de moeder en urinaire koolstof. Dit geeft aan dat de associatie tussen groen en cognitie onafhankelijk is van verkeersblootstelling.



### Aanwezigheid van metalen in urine

We vonden een randsignificante, negatieve correlatie tussen het aantal koolstofdeeltjes in urine en lithium ( $r = -0.30$ ,  $p = 0.05$ ,  $n = 44$ ). Er werd geen significante correlatie gevonden met metalen in urine en afstand tot de wegen. De resultaten moeten met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd omwille van het lage aantal jongeren in deze subset.

#### 4.1.2.4 Conclusies en beleidsrelevantie

Uit de resultaten van de MG 2021 campagne kunnen we besluiten dat in de onderzochte populatie van jongeren een positief verband kon worden aangetoond tussen de koolstoflading in bloed en de omgevingsblootstelling aan zwarte koolstof op korte- en lange termijn, geschat op basis van geïnterpoleerde modellen. Een gelijkaardige associatie met PM2.5 werd gevonden in de urinestalen van jongeren op korte termijn. Een andere belangrijke parameter die een rol speelt in de urinaire koolstoflading is de bevolkingsdichtheid. Een hoger aantal inwoners per vierkante meter staat in verband met een hogere urinaire koolstoflading. Verder benadrukken we het belang van groene ruimte rondom de woonplaats en de school op korte afstand. Meer groen in de nabijheid leidt tot een lagere urinaire koolstoflading.

Groene ruimte rondom de woning werd geassocieerd met een verbetering in cognitie, op basis van de reactiesnelheid bij de Continuous Performance Test, waarbij meer totaal groen in een straal van 500 – 2000 meter rondom de woning resulteert in een betere reactiesnelheid. Op basis van de koolstoflading aanwezig in de urine van de jongeren, konden we aantonen dat dit verband onafhankelijk is van de verkeersgerelateerde luchtvervuiling.

Deze resultaten tonen aan dat het niet voldoende is om de luchtkwaliteit te verbeteren maar dat het ook essentieel is dat er voldoende groen beschikbaar is in de leefomgeving van jongeren. Zowel rondom de woonplaats als in de buurt van de school.

#### 4.1.2.5 Referenties

- Saenen ND, Bové H, Steuwe C, et al. Children's Urinary Environmental Carbon Load. A Novel Marker Reflecting Residential Ambient Air Pollution Exposure? *Am J Respir Crit Care Med* 2017; 196(7): 873-81.
- Dadvand P, Nieuwenhuijsen MJ, Esnaola M, et al. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2015; 112(26): 7937-42.
- Dadvand P, Tischer C, Estarlich M, et al. Lifelong Residential Exposure to Green Space and Attention: A Population-based Prospective Study. *Environ Health Perspect* 2017; 125(9): 097016.
- Markevych I, Schoierer J, Hartig T, et al. Exploring pathways linking greenspace to health: Theoretical and methodological guidance. *Environmental research* 2017; 158: 301-17.
- Jiang N, Wen H, Zhou M, et al. Low-dose combined exposure of carboxylated black carbon and heavy metal lead induced potentiation of oxidative stress, DNA damage, inflammation, and apoptosis in BEAS-2B cells. *Ecotoxicol Environ Saf* 2020; 206: 111388.
- Organization WH. SILVER AND SILVER COMPOUNDS: ENVIRONMENTAL ASPECTS, 2002.
- McGillcuddy E, Murray I, Kavanagh S, et al. Silver nanoparticles in the environment: Sources, detection and ecotoxicology. *Science of The Total Environment* 2017; 575: 231-46.

### 4.1.3 De biologische stress respons in relatie tot de urinaire koolstoflading

VITO: Veerle Verheyen, Gudrun Koppen, Sylvie Remy, Ann Colles, Greet Schoeters, Eva Govarts  
UHasselt: Liesa Engelen, Esmée Bijmens, Tim Nawrot

Recente internationale studies en onderzoek bij FLEHS IV jongeren tonen een significant verband tussen de gemodelleerde luchtkwaliteit op het woonadres en een verhoogde endocriene stress respons, gemeten als cortisolwaarden. De interne koolstoflading is een nieuwe biomarker van de persoonlijke blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtvervuiling.



Met multi-pele lineaire regressiemodellen, gecorrigeerd voor leeftijd, geslacht, Body Mass Index (BMI), socio-economische status van het huishouden en van de woonbuurt werd de associatie van de urinaire koolstoflading met HCC bekeken. We zagen een randsignificant positief verband tussen de urinaire koolstoflading en haar cortisol concentraties bij 210 FLEHS IV-jongeren. Onderzoek in een grotere onderzoekspopulatie is aangewezen om dit verband te bevestigen.

#### 4.1.3.1 Achtergrond

Recente internationale studies tonen een verband tussen blootstelling aan luchtvervuiling en een verhoogde endocriene stress respons, gemeten als cortisolwaarden in bloed of speeksel (Hajat et al., 2019; Snow et al., 2018; Thomson, 2019). Cortisol concentraties in deze matrices geven de biologische stress respons weer over een periode van uren tot dagen. Aangezien we dagelijks blootgesteld worden aan luchtvervuiling, is het belangrijk om ook het verband tussen luchtvervuiling in de woonomgeving en biologische stress op lange termijn te onderzoeken. Chronische biologische stress verhoogt immers het risico op hart- en vaatziekten, luchtweg- en cognitieve aandoeningen (Chrousos, 2009). De cortisol concentraties in een haarstaal van 3 cm dat dicht tegen de hoofdhuid genomen wordt, geven een geïntegreerd beeld van de cortisol concentraties over een periode van 3 maanden voor staalname. De haar cortisol concentratie (HCC) is dus een biomerker voor chronische biologische stress. Eerder onderzoek bij FLEHS IV jongeren toonde een significant verband tussen de jaargemiddelde blootstelling aan NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> en hogere HCC bij jongens. Daarnaast was de urinaire concentratie van 1-hydroxy-pyreen, een merker voor blootstelling aan de verbanding-gerelateerde PAK's, significant geassocieerd met hogere HCC bij zowel FLEHS IV jongens als meisjes (Verheyen et al., 2021b, 2021a). Humane blootstelling aan PAK's verloopt niet enkel via luchtvervuiling, ook voeding is een belangrijke bron (Abdel-Shafy and Mansour, 2016). De interne koolstoflading is echter een nieuwe biomerker van blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtvervuiling die de translocatie van roetpartikels van de longen naar de organen reflecteert (Saenen et al., 2017). Een studie bij 289 schoolkinderen (9-12 jaar) toonde een verband aan tussen urinaire koolstof en medium tot chronische blootstelling (1 maand of meer) aan luchtvervuiling op het woonadres (Saenen et al., 2017). De relatie tussen de interne koolstoflading en HCC als biomerker voor chronische biologische stress werd bij adolescenten nog niet onderzocht.

Doel van dit deel van de studie was om deze relatie bij 250 FLEHS IV adolescenten te onderzoeken. Daarbij werd ook het verschil in associaties tussen jongens en meisjes onderzocht.

#### 4.1.3.2 Benadering

Haar cortisol concentratie (HCC) van 410 FLEHS IV werden eerder bepaald, de urinaire koolstoflading werd in dit project bepaald in een subset van 250 jongeren ( $n = 250$ ), beide analyses werden eerder beschreven in het rapport "Onderzoek naar de relatie tussen ruimtegebruik en gezondheid met specifieke aandacht voor het gebruik van humane biomonitoring en ruimtelijke aspecten" (Verheyen et al., 2020). In het onderzoek uit 2020 werd reeds de UC bepaald in een groep van 149 FLEHS IV jongeren. Urinaire koolstoflading en HCC werden logaritmisch getransformeerd (ln) om de normaliteit van de verdeling te verbeteren. Associaties werden in beide subset afzonderlijk geëvalueerd. Met multi-pele lineaire regressiemodellen werd de associatie van de urinaire koolstoflading met HCC bekeken. De modellen werden gecorrigeerd voor *a priori* geselecteerde potentiële confounders: leeftijd, geslacht, Body Mass Index (BMI), socio-economische status van het huishouden en van de woonbuurt (Kansarmoede index Kind en Gezin).

#### 4.1.3.3 Resultaten

We zagen een randsignificant positief verband ( $p = 0.055$ ) tussen de urinaire koolstoflading en haar cortisol concentraties bij 210 FLEHS IV jongeren na correctie voor leeftijd, geslacht, BMI, SES van het huishouden en van de woonbuurt. Er was geen significant verschil in de associatie volgens geslacht.



Het verband bleef randsignificant na bijkomend correctie voor seizoen van staalname ( $p = 0.058$ ) en voor geluid door wegverkeer ( $p = 0.099$ ). Analyse in de beperktere FLEHS IV subset van 133 jongeren, wijst op een associatie in dezelfde richting ( $p = 0.117$ ).

#### 4.1.3.4 Conclusies en beleidsrelevantie

Onze resultaten wijzen op een randsignificant positief verband tussen urinaire koolstoflading van Vlaamse jongeren en de cortisol concentratie in haar als maat voor chronische biologische stress. Deze bevindingen zijn in lijn met het voorgaand onderzoek bij FLEHS IV jongeren, dat wees op een significante impact van luchtvervuilende stoffen op chronische biologische stress bij jongeren (Verheyen et al., 2021a, 2021b). Onderzoek in een grotere onderzoekspopulatie is aangewezen om dit verband te bevestigen.

#### 4.1.3.5 Referenties

- Abdel-Shafy, H.I., Mansour, M.S.M., 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egypt. J. Pet.* <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>
- Chrousos, G.P., 2009. Stress and disorders of the stress system. *Nat. Rev. Endocrinol.* <https://doi.org/10.1038/nrendo.2009.106>
- Hajat, A., Hazlehurst, M.F., Golden, S.H., Merkin, S.S., Seeman, T., Szpiro, A.A., Kaufman, J.D., Roux, A.D., 2019. The cross-sectional and longitudinal association between air pollution and salivary cortisol: Evidence from the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Environ. Int.* 131, 105062. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105062>
- Saenen, N.D., Bové, H., Steuwe, C., Roeffaers, M.B.J., Provost, E.B., Lefebvre, W., Vanpoucke, C., Ameloot, M., Nawrot, T.S., 2017. Children's urinary environmental carbon load: A novel marker reflecting residential ambient air pollution exposure? *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* <https://doi.org/10.1164/rccm.201704-0797OC>
- Snow, S.J., Henriquez, A.R., Costa, D.L., Kodavanti, U.P., 2018. Neuroendocrine Regulation of Air Pollution Health Effects: Emerging Insights. *Toxicol. Sci.* 164, 9–20. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfy129>
- Thomson, E.M., 2019. Air Pollution, Stress, and Allostatic Load: Linking Systemic and Central Nervous System Impacts. *J. Alzheimer's Dis.* <https://doi.org/10.3233/JAD-190015>
- Verheyen, V.J., Bijmens, E.M., Vos, S., Koppen, G., Coertjens, D., Morrens, B., Colles, A., Govarts, E., Remy, S., Ooms, D., Bruckers, L., Nielsen, F., Den Hond, E., Nelen, V., Covaci, A., Loots, I., De Henauw, S., Leermakers, M., Nawrot, T.S., Schoeters, G., 2020. Onderzoek naar de relatie tussen ruimtegebruik en gezondheid met specifieke aandacht voor het gebruik van humane biomonitoring en ruimtelijke aspecten, uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. Brussel.
- Verheyen, V.J., Remy, S., Bijmens, E.M., Colles, A., Govarts, E., Martin, L.R., Koppen, G., Bruckers, L., Nielsen, F., Vos, S., Morrens, B., Coertjens, D., De Decker, A., Franken, C., Den Hond, E., Nelen, V., Covaci, A., Loots, I., De Henauw, S., van Larebeke, N., Teughels, C., Nawrot, T.S., Schoeters, G., 2021a. Long-term residential exposure to air pollution is associated with hair cortisol concentration and differential leucocyte count in Flemish adolescent boys. *Environ. Res.* 201, 111595. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111595>
- Verheyen, V.J., Remy, S., Govarts, E., Colles, A., Rodriguez Martin, L., Koppen, G., Voorspoels, S., Bruckers, L., Bijmens, E.M., Vos, S., Morrens, B., Coertjens, D., De Decker, A., Franken, C., Den Hond, E., Nelen, V., Covaci, A., Loots, I., De Henauw, S., Van Larebeke, N., Teughels, C., Nawrot, T.S., Schoeters, G., 2021b. Urinary Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Metabolites Are Associated with Biomarkers of Chronic Endocrine Stress, Oxidative Stress, and Inflammation in Adolescents: FLEHS-4 (2016–2020). *Toxics* 9, 245. <https://doi.org/10.3390/toxics9100245>

#### 4.1.4 Serum cytokine gehalten in relatie tot ruimtegebruik en potentieel immunotoxische blootstellingsmerkers

VITO: Veerle Verheyen, Gudrun Koppen, Sylvie Remy, Daniëlla Ooms, Ann Colles, Greet Schoeters, Eva Govarts  
UHasselt: Liesbeth Bruckers

De adolescentie is een kwetsbare periode voor de impact van milieublootstelling op het immuunsysteem. Eerder epidemiologische onderzoek en onderzoek bij FLEHS IV jongeren toonden een significante impact van luchtvervuiling en chemische stoffen op vroege merkers van de immuunrespons. Immunosysteemverstooring kan mee aan de basis liggen van chronische aandoeningen en een verhoogde gevoeligheid voor infecties. Een beter inzicht in de immuunrespons in relatie tot milieublootstelling bij jongeren is daarom aangewezen. De cytokine concentraties in serum kunnen een beter beeld geven van de immuunrespons in relatie tot milieublootstelling. Het onderzoek naar cytokines in relatie tot milieublootstelling bij jongeren is echter zeer beperkt.

Bij 544 FLEHS IV jongeren werd een panel van 9 inflammatoire cytokines gemeten in serum, de interleukines 6 en 8 (IL-6, IL-8), interferon- $\gamma$  (IFN- $\gamma$ ) en Tumor Necrosis Factor-  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) worden beschouwd als belangrijkste biomerkers voor inflammatie en immuunrespons.

De cytokine serumwaarden werden gerelateerd aan parameters in de woonomgeving: korte en lange termijn luchtvervuiling en geluidsblootstelling door wegverkeer op het woonadres, aandeel groen in de woonomgeving, en met biomerkers van blootstelling aan potentieel immuunverstorende stoffen: benzeen, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), niet-persistente pesticiden, persistente organische pollutanten (POP's) zoals perfluorverbindingen (PFAS), polychloorbifenylen (PCB's) en organochloorpesticiden (OCP's).

We zagen significante schommelingen in serumwaarden van IL-8, IL-6 en TNF- $\alpha$  in relatie tot korte en lange termijn luchtvervuiling, maar geen significant verband tussen geluidsblootstelling door wegverkeer en cytokine serumwaarden. Het aandeel groen in de woonomgeving was significant geassocieerd met schommelingen in serumwaarden van IL-8, TNF- $\alpha$  en IFN- $\gamma$ .

Blootstelling aan biomerkers van de verbranding-gerelateerde stoffen benzeen en fenantreen was significant geassocieerd met hogere serumwaarden van IL-6 en IFN- $\gamma$ . Voor persistente stoffen zagen we significante associaties van PCB-153 en PFOS concentraties in respectievelijk bloed en serum met lagere IL-6 serumwaarden. Daarnaast was de PFOA concentratie in serum significant geassocieerd met hogere IL-8 serumwaarden. Er werden significante verschillen in de verbanden vastgesteld volgens geslacht en astma-status, waarbij jongeren met astma gevoeliger lijken voor de impact van milieublootstelling op het immuunsysteem.

Onze resultaten geven aan dat de immuunrespons van Vlaamse jongeren significant verstoord wordt door milieublootstelling. Meer onderzoek en een meer gedetailleerde inschatting van de woonomgeving parameters is nodig om deze resultaten te bevestigen en verder te onderbouwen. De onderzoeksresultaten kunnen relevant zijn om preventieve gezondheidsmaatregelen, adviezen en beleid mee te onderbouwen.

##### 4.1.4.1 Achtergrond

De adolescentie is een kwetsbare ontwikkelingsperiode, waarin het immuunsysteem nog volop in ontwikkeling is (Golub, 2000). De effecten van blootstelling aan milieuvervuilende stoffen op het immuunsysteem kunnen tijdens de adolescentie dan ook bijzonder schadelijk zijn (Brenhouse and Schwarz, 2016). Een goed functionerend immuunsysteem moet efficiënt reageren op infecties en ontsteking, en tegelijkertijd goedaardige omgevingsinvloeden tolereren.



Verstoring van het immuunsysteem kan mee aan de basis liggen van diverse ziektebeelden, zoals een verhoogde gevoeligheid voor infecties, een verhoogd risico op allergische aandoeningen en een verhoogd risico op hart- en vaatziekten (Glencross et al., 2020; Prunicki et al., 2020). De communicatie tussen immuun cellen zoals witte bloedcellen verloopt via cytokines, eiwitten die fungeren als belangrijke regulator en als effector in de immuunrespons (Sun et al., 2020). Om het immuunsysteem goed te laten functioneren, moeten de aanmaak van cytokines strak gereguleerd en georkestreerd verlopen (Lacy and Stow, 2011).

Vooraf de interleukines 6 en 8 (IL-6, IL-8), interferon- $\gamma$  (IFN- $\gamma$ ) en Tumor Necrosis Factor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) worden beschouwd als belangrijke biomerkers voor inflammatie (Dorn et al., 2016; Tang et al., 2020).

Langdurige blootstelling aan luchtvervuiling wordt bij jongeren in verband gebracht met een toename van de incidentie van bronchitis, astma, het metabool syndroom en hypertensie, een negatieve neurocognitieve impact (Braga et al., 2001; Braithwaite et al., 2019; Gauderman et al., 2004; Götschi et al., 2008; Islam et al., 2007; Zhang et al., 2021). De onderliggende biologische mechanismen zijn echter onvoldoende gekend. Mogelijk liggen inflammatie en een verstoorde immuunrespons mee aan de basis van luchtvervuiling-gerelateerde gezondheidseffecten (Prunicki et al., 2020). Studies van korte en langdurige blootstelling aan luchtverontreiniging tonen gemengde effecten op inflammatoire biomerkers (Gruzieva et al., 2017; Tang et al., 2020; Xu et al., 2022).

Ook overmatige blootstelling aan omgevingsgeluid werd eerder reeds in verband gebracht met inflammatie en een verstoorde immuunrespons (Frye et al., 2019; Kim et al., 2017), hypertensie en cardiovasculaire effecten (Biel et al., 2020; Daiber et al., 2020; Münzel et al., 2018). Meer contact met groen in de woonomgeving wordt in de literatuur daarentegen in verband gebracht met een positieve invloed op het immuunsysteem (Frumkin et al., 2017; Russette et al., 2021), en een positieve impact op de fysieke en mentale gezondheid (Rook, 2013). Eerdere studies hebben aangetoond dat de impact van luchtvervuiling op het immuunsysteem mee kan weerspiegeld worden door serum cytokine niveaus (Gruzieva et al., 2017; Pope et al., 2016; Prunicki et al., 2020; Shakya et al., 2019; Tang et al., 2020). Het onderzoek naar luchtverontreiniging en inflammatoire cytokines bij adolescenten is echter zeer beperkt (Prunicki et al., 2020). Ook het aantal studies naar de impact van geluid en groen in de woonomgeving op cytokines is heel beperkt (Daiber et al., 2020; Frumkin et al., 2017).

Blootstelling aan verschillende klassen chemische stoffen werd in epidemiologisch onderzoek eveneens in verband gebracht met immuunverstoring bij kinderen en adolescenten. Studies tonen een immuunverstorende impact van verbranding-gerelateerde polluenten zoals benzeen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) (Verheyen et al., 2021b; Wang et al., 2021; Zhang et al., 2020); persistente organische polluenten (POP's) zoals perfluorverbindingen (PFAS) (Bulka et al., 2021; Stein et al., 2016), polychloorbifenylen (PCB's) en organochloorpesticiden (OCP's) (Daniel et al., 2001; Oulhote et al., 2017). Ook de niet-persistente, maar veelgebruikte, pesticiden glyfosaat, pyrethroïden en chloorpyrifos werden reeds geassocieerd met immuunverstoring (Gangemi et al., 2016; Mokarizadeh et al., 2015). Hoewel het immuunsysteem zeer gevoelig is voor toxische effecten, zeker tijdens de ontwikkeling, is weinig bekend over de effecten van langdurige blootstelling aan PCB's, OCP's of PFAS in de algemene de bevolking (Oulhote et al., 2017).

Uit FLEHS-onderzoek en uit internationale studies blijkt dat de impact van chemische stoffen op biologische mechanismen zoals de immuunrespons kan verschillen volgens geslacht (De Coster et al., 2013; Hoffmann et al., 2009; Verheyen et al., 2021a). Daarnaast geeft onderzoek aan dat kinderen en jongeren met astma gevoeliger zijn voor de impact van chemische blootstelling op het immuunsysteem (Gruzieva et al., 2017; Klümper et al., 2015).



De doelstelling van dit onderzoek was om verder te bouwen op de resultaten van de FLEHS IV studie en de associatie tussen de woonomgeving en immuunverstorende effecten bij jongeren verder te onderbouwen aan de hand van inflammatoire cytokine waarden in serum. Naast de relatie met de woonomgeving werd ook de relatie met potentieel immuunverstorende chemicaliën onderzocht. Hierbij werden ook verschillen in associaties volgens geslacht en astma status geëvalueerd.

#### 4.1.4.2 Benadering

Om cytokine gehalten in serum van 544 jongeren te bepalen werd een gevalideerd pro-inflammatoir cytokinepanel van MSD geselecteerd (Meso Scale Discovery, Rockville, MD, VS), bestaande uit negen cytokines die een belangrijke rol spelen in de immuunrespons: interferon-gamma (IFN- $\gamma$ ), tumornecrosefactor-alfa (TNF- $\alpha$ ) en de interleukines IL-2, IL-4, IL-6, IL-8, IL-10, IL-12p70, IL-13. De individuele cytokine concentraties werden bepaald met behulp van een high-performance immunoassay (MSD MESO QuickPlex). Elk staal werd volgens het protocol van de fabrikant in duplo gemeten om de accuraatheid van de meetresultaten te optimaliseren en uitgedrukt als picogram per milliliter serum (pg/mL). Cytokine concentraties onder de detectielimiet (LOD) vielen ofwel in het bereik of onder het bereik van de immunoassay standaardcurve. Resultaten in het bereik van de standaardcurve werden behouden, waarden onder het bereik van de curve werden geïmputeerd met een willekeurige waarde tussen 0 en LOD. De geïmputeerde waarden werden volgens een schatting van de lognormale verdeling van alle waarden bepaald, door een lognormale verdeling te fitten met alleen waarden boven de LOD (Lubin et al., 2004).

Gemodelleerde concentraties van luchtvervuilende stoffen (BC, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) op het woonadres over een periode van 1 week en 1 jaar, blootstelling aan geluid door wegverkeer en de hoeveelheid laag groen, hoog groen en totaal groen (laag + hoog groen) in verschillende buffers rond de woning (100 tot 2000 m) werden bepaald zoals eerder beschreven (Bijnens et al., 2022; Verheyen et al., 2021a), biomerkers voor interne blootstelling aan PAK's, PFAS, PCB's, organochloorpesticiden en niet-persistente pesticiden (Buekers et al., 2021; Steunpunt Milieu en Gezondheid, 2020). Daarnaast werd in een subset van 250 deelnemers de urinaire koolstoflading bepaald, zoals eerder beschreven. Cytokine en biomarker concentraties werden logaritmisch getransformeerd (ln) om de normaliteit van de verdeling te verbeteren. Cytokines en biomerkers waarvan de detectiefrequentie minder dan 60% was, werden bekeken als binaire variabelen boven of onder de LOD. Cytokines waarvoor minder dan 10% van de resultaten boven de detectielimiet lag, werden uitgesloten van verdere analyse. Met multiële lineaire regressiemodellen en binaire logistische regressiemodellen werd de individuele associatie van elk cytokine met de omgevingsparameters of blootstellingsmerker bekeken. Associaties met *p*-waarde  $\leq 0.05$  werden als significant beschouwd. De modellen werden gecorrigeerd voor a priori geselecteerde potentiële confounders: leeftijd, geslacht, Body Mass Index (BMI), socio-economische status (SES) van het huishouden, actief en passief roken, seizoen, recente gezondheidsklachten (14 dagen) en astma-status; modellen met omgevingsparameters als onafhankelijke variabele werden bijkomend gecorrigeerd voor de socio-economische status (SES) van de woonbuurt (Kansarmoede index Kind en Gezin); de luchtkwaliteitsmodellen werden daarnaast bijkomend gecorrigeerd voor verkeersgeluid. Verschillen in associaties volgens geslacht en astma status werden bekeken.

#### 4.1.4.3 Resultaten

De serum concentraties van TNF- $\alpha$ , IL-8 en IFN- $\gamma$  lagen bij alle 544 deelnemers boven de LOD, de concentraties van IL-10 en IL-6 waren meetbaar bij meer dan 80% van de deelnemers. IL-2, IL-4 en IL12p70 concentraties lagen boven LOD bij 20 tot 25% van de deelnemers, serum IL-13 was meetbaar bij minder dan 10% van de deelnemers. De hoogste geometrisch gemiddelde concentratie werd gemeten voor IL-8, gevolgd door IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$ , IL-6 en IL-10. TNF- $\alpha$  houdt verband met inflammatie, atherosclerose en bevordert insulineresistentie (Tang et al., 2020). IFN- $\gamma$  stuurt mee de activering van het aangeboren immuunsysteem aan (Dorn et al., 2016).





Deze cytokines waren bij de meeste jongeren in de studie goed meetbaar. IL-2, IL-4, IL12p70 en IL-13 waren slechts bij een klein deel van de deelnemers meetbaar. Deze cytokines zijn vaak niet detecteerbaar of vertonen weinig variatie bij gezonde jongeren (Dorn et al., 2016). De resultaten van associaties tussen omgevingsfactoren, biomerkers en deze cytokines zijn dan ook moeilijk te interpreteren.

### Cytokines in relatie tot luchtvervuiling en verkeersgeluid op het woonadres

Zoals weergegeven in tabel 22, waren hogere PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> weekgemiddelden na correctie voor leeftijd, geslacht, BMI, SES) van het huishouden en de buurt, actief en passief roken, seizoen, verkeersgeluid, recente gezondheidsklachten en astma-status significant geassocieerd met hogere IL-8 concentraties in serum, er werden geen significante verbanden gevonden tussen weekgemiddelden en de overige cytokines. Hogere BC jaargemiddelden waren significant geassocieerd met lagere serum IL-8 concentraties, een associatie in dezelfde richting met PM<sub>2.5</sub> was randsignificante. Hogere NO<sub>2</sub> jaargemiddelden waren significant geassocieerd met hogere TNF- $\alpha$  waarden. Hogere NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> jaargemiddelden waren geassocieerd met hogere IL-6 waarden. Hogere jaargemiddelden van BC, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> waren significant geassocieerd met minder kans op detecteerbare IL-12p70 niveaus. We observeerden geen significante associaties tussen de urinaire koolstoflading van 202 FLEHS IV deelnemers en cytokines, noch tussen blootstelling aan verkeersgeluid in de woonomgeving en serum cytokines.

Significante positieve associaties van PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> weekgemiddelden met TNF- $\alpha$  werden enkel geobserveerd bij jongens ( $n = 252$ ). We observeerden een bijkomende significante positieve associatie tussen BC weekgemiddelden en IL-8 bij jongeren met astma ( $n = 66$ ), deze associatie werd niet waargenomen in jongeren die geen astma rapporteerden ( $n = 452$ ). De negatieve associatie tussen de jaargemiddelde BC-concentratie en IL-8 werd enkel waargenomen in jongeren die geen astma rapporteerden. Ook het negatief verband tussen jaargemiddelde BC, NO<sub>2</sub>, en detecteerbare IL-12p70 niveaus enkel waargenomen bij jongeren die geen astma rapporteerden.

Tabel 21: Significante associaties tussen luchtvervuiling, geluid op het woonadres, urinaire koolstoflading en cytokine concentraties in serum ( $n = 522$ )

|                                       | IL-8 | TNF- $\alpha$ | IFN- $\gamma$ | IL-6 | IL-10 | IL-4 | IL-2 | IL-12p70 |
|---------------------------------------|------|---------------|---------------|------|-------|------|------|----------|
| weekgemiddelde BC                     |      |               |               |      |       |      |      |          |
| weekgemiddelde NO <sub>2</sub>        |      |               |               |      |       |      |      |          |
| weekgemiddelde PM <sub>10</sub>       | ↑    |               |               |      |       |      |      |          |
| weekgemiddelde PM <sub>2.5</sub>      | ↑    |               |               |      |       |      |      |          |
| jaargemiddelde BC                     | ↓    |               |               |      |       |      |      | ↓        |
| jaargemiddelde NO <sub>2</sub>        |      | ↑             |               | ↑    |       |      |      | ↓        |
| jaargemiddelde PM <sub>10</sub>       |      |               |               | ↑    |       |      |      | ↓        |
| jaargemiddelde PM <sub>2.5</sub>      | ↓    |               |               | ↑    |       |      |      | ↓        |
| Geluid wegverkeer (L <sub>den</sub> ) |      |               |               |      |       |      |      |          |
| Urinaire koolstoflading ( $n = 202$ ) |      |               |               |      |       |      |      |          |

Associaties met  $p$ -waarde  $\leq 0.05$ : groene pijlen voor significante positieve associaties in lineaire regressiemodellen, paars voor negatieve associaties, oranje voor randsignificante associaties, grijs voor significante odds ratio's. Modellen gecorrigeerd voor leeftijd, geslacht, Body Mass Index (BMI), socio-economische status (SES) van het huishouden en woonbuurt, actief en passief roken, seizoen, recente gezondheidsklachten (14 dagen) en astma-status. Modellen voor luchtkwaliteit bijkomend gecorrigeerd voor geluid door wegverkeer

### Cytokines in relatie tot de hoeveelheid groen in de woonomgeving

Zoals weergegeven in Tabel 23, was meer totaal groen in de 2000 m buffer en meer hoog groen in buffers van 300 tot 2000 m na correctie voor leeftijd, geslacht, BMI, SES) van het huishouden en de buurt, actief en passief roken, seizoen, recente gezondheidsklachten en astma-status significant geassocieerd met lagere IL-8 concentraties.



Meer laag groen in de 2000 m buffer was geassocieerd met hogere TNF- $\alpha$  concentraties. Meer totaal groen en laag groen in de 100 m buffer was geassocieerd met lagere IFN- $\gamma$  concentraties.

De kans op detecteerbare IL-12p70 niveaus was groter bij meer laag groen in 100 en 300 m buffers. Het significant verband tussen meer laag groen en de kans op detecteerbare IL-12p70 niveaus was enkel bij meisjes significant, niet bij jongens. Daarnaast waren bij meisjes ook meer totaal groen in de 300 m buffer en meer laag groen in 500 en 1000 m buffers significant geassocieerd met de kans op detecteerbare IL-12p70 niveaus. Bij jongeren die astma rapporteerden, zagen we aanvullend een significant verband tussen meer laag groen in 50 tot 300 m buffers en lagere IL-8 concentraties, deze verbanden waren niet significant in jongeren die geen astma rapporteerden. We zagen bijkomend een significante associatie tussen meer laag groen in 1000 en 2000 m buffers en detecteerbare IL-12p70 niveaus bij jongeren met astma, niet bij jongeren die geen astma rapporteerden.

Tabel 22: Significante associaties tussen het aandeel groen in de woonomgeving (totaal groen, laag en hoog groen) en cytokine concentraties in serum (n = 522)

|                     | IL-8 | TNF- $\alpha$ | IFN- $\gamma$ | IL-6 | IL-10 | IL-4 | IL-2 | IL-12p70 |
|---------------------|------|---------------|---------------|------|-------|------|------|----------|
| % groen 50 m        |      |               |               |      |       |      |      |          |
| % groen 100 m       |      |               | ↓             |      |       |      |      |          |
| % groen 300m        |      |               |               |      |       |      |      |          |
| % groen 500 m       |      |               |               |      |       |      |      |          |
| % groen 1000 m      |      |               |               |      |       |      |      |          |
| % groen 2000 m      | ↓    |               |               |      |       |      |      |          |
| % laag groen 50 m   |      |               |               |      |       |      |      |          |
| % laag groen 100 m  |      |               | ↓             |      |       |      |      | ↑        |
| % laag groen 300m   |      |               |               |      |       |      |      | ↑        |
| % laag groen 500 m  |      |               |               |      |       |      |      |          |
| % laag groen 1000 m |      |               |               |      |       |      |      |          |
| % laag groen 2000 m |      | ↑             |               |      |       |      |      |          |
| % hoog groen 50 m   |      |               |               |      |       |      |      |          |
| % hoog groen 100 m  |      |               |               |      |       |      |      |          |
| % hoog groen 300m   | ↓    |               |               |      |       |      |      |          |
| % hoog groen 500 m  | ↓    |               |               |      |       |      |      |          |
| % hoog groen 1000 m | ↓    |               |               |      |       |      |      |          |
| % hoog groen 2000 m | ↓    |               |               |      |       |      |      |          |

Associaties met p-waarde  $\leq 0.05$ : groene pijlen voor significante positieve associaties in lineaire regressiemodellen, paars voor negatieve associaties, oranje voor randsignificante associaties, grijs voor significante odds ratio's. Modellen gecorrigeerd voor leeftijd, geslacht, Body Mass Index (BMI), socio-economische status (SES) van het huishouden en woonbuurt, actief en passief roken, seizoen, recente gezondheidsklachten (14 dagen) en astma-status.

### Cytokines in relatie tot blootstelling aan verbranding-gerelateerde stoffen, POP's en niet-persistente pesticiden

Zoals weergegeven in Tabel 24, waren hogere gehalten van de benzeen en fenantreen metabolieten t,t'-muconzuur en 2-hydroxy-fenantreen in urine na correctie voor leeftijd, geslacht, BMI, SES) van het huishouden, actief en passief roken, seizoen, recente gezondheidsklachten en astma-status significant geassocieerd met hogere IL-6 en IFN- $\gamma$  waarden.

Bij de persistente polluenten zagen we een randsignificant verband tussen een hoger gehalte van de som van PCB-congeneren 138, 153 en 180 en lagere IL-6 concentraties in serum, voor PCB-153 was dit verband significant. Hogere PFOA serumconcentraties waren significant geassocieerd met hogere IL-8 waarden, hogere PFOS concentraties met lagere IL-6 waarden.



De kans op detecteerbare IL-4 concentraties was kleiner bij hogere DDT concentraties, kans op detectie van IL-2 was groter bij hogere gehalten aan hexachloorbenzeen (HCB), oxychlordaan (OXC), en trans-nonachloor (TN). De kans op detectie van IL-12p70 was groter bij hogere HCB gehalten. We stelden significante verschillen in associaties volgens geslacht vast.

Bij jongens was de PFOA serumconcentratie bijkomend significant geassocieerd met hogere TNF- $\alpha$  waarden. Daarnaast was 2-hydroxy-naftaleen enkel bij jongens geassocieerd met hogere IL-8 waarden. De significante associaties tussen t,t'-muconzuur, 2-hydroxy-fenantreen en IL-6 werden gedreven door een significant verband bij meisjes, niet bij jongens. Er waren ook significante verschillen in associaties volgens astma-status. PFOA was significant geassocieerd met hogere TNF- $\alpha$  waarden bij jongeren met astma. We zagen in deze groep ook een significant negatief verband tussen trans-nonachloor en IL-6.

Tabel 23: Significante associaties tussen biomerkers van chemische blootstelling en cytokine concentraties in serum

| STOF                        | IL-8 | TNF- $\alpha$ | IFN- $\gamma$ | IL-6 | IL-10 | IL-4 | IL-2 | IL-12P70 |
|-----------------------------|------|---------------|---------------|------|-------|------|------|----------|
| <b>VERBRANDING</b>          |      |               |               |      |       |      |      |          |
| tt'-MUCONZUUR (n = 348)     |      |               | ↑             | ↑    |       |      |      |          |
| 2-OH-NAFTALEEN (n = 346)    |      |               |               |      |       |      |      |          |
| 2,3-OH-FLUOREEN (n = 346)   |      |               |               |      |       |      |      |          |
| 2-OH-FENANTREEN (n = 347)   |      |               | ↑             | ↑    |       |      |      |          |
| 3-OH-FENANTREEN (n = 347)   |      |               |               |      |       |      |      |          |
| 1,9-OH-FENANTREEN (n = 347) |      |               |               |      |       |      |      |          |
| 1-OH-PYREEN (n = 345)       |      |               |               |      |       |      |      |          |
| <b>PESTICIDEN</b>           |      |               |               |      |       |      |      |          |
| AMPA (BIN) (n = 357)        |      |               |               |      |       |      |      |          |
| GLYFOSAAT (BIN) (n = 357)   |      |               |               |      |       |      |      |          |
| 2,4-D (n = 348)             |      |               |               |      |       |      |      |          |
| PBA (n = 348)               |      |               |               |      |       |      |      |          |
| TCP $\gamma$ (n = 348)      |      |               |               |      |       |      |      |          |
| <b>POPs</b>                 |      |               |               |      |       |      |      |          |
| DDE (n = 514)               |      |               |               |      |       |      |      |          |
| DDT (n = 514)               |      |               |               |      |       | ↓    |      |          |
| BHCH (n = 514)              |      |               |               |      |       |      |      | ↑        |
| HCB (n = 514)               |      |               |               |      |       |      | ↑    |          |
| OXC (n = 514)               |      |               |               |      |       |      | ↑    |          |
| TN (n = 514)                |      |               |               |      |       |      | ↑    |          |
| SOMPCB (n = 514)            |      |               |               | ↓*   |       |      |      |          |
| <b>PFAS</b>                 |      |               |               |      |       |      |      |          |
| PFOA (n = 512)              | ↑    |               |               |      |       |      |      |          |
| PFOS (n = 512)              |      |               |               | ↓    |       |      |      |          |
| PFHxS (n = 512)             |      |               |               |      |       |      |      |          |
| PFNA (n = 512)              |      |               |               |      |       |      |      |          |
| PFDA (BIN) (n = 512)        |      |               |               |      |       |      |      |          |

Associaties met p-waarde  $\leq 0.05$ : groene pijlen voor significante positieve associaties in lineaire regressiemodellen, paars voor negatieve associaties, oranje voor randsignificante associaties, grijs voor significante odds ratio's. Modellen gecorrigeerd voor leeftijd, geslacht, Body Mass Index (BMI), socio-economische status (SES) van het huishouden, actief en passief roken, seizoen, recente gezondheidsklachten (14 dagen) en astma-status. Afkortingen: AMPA aminomethylfosfonzuur, 2,4-D 2,4-dichlorofenoxy-azijnzuur, PBA 3-fenoxybenzoëzuur (pyrethroïden metaboliet), TCP $\gamma$  3,5,6-trichloor-2-pyridinol (chloorpyrifos metaboliet), DDE 1,1-dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl) ethyleen, DDT dichlorodiphenyltrichloroethaan, BHCH beta-hexachloorcyclohexaan, HCB hexachloorbenzeen, OXC oxychlordaan, TN trans-nonachloor, SOMPCB som van polygechloroerde bifenyl 138, 153 en 180, PFOA perfluor-n-octaanzuur, PFOS perfluor-1-octaansulfonzuur, PFHxS perfluor-1-hexaansulfonzuur, PFNA perfluor-n-nonaanzuur, PFDA perfluor-n-decaanzuur, BIN binair

#### 4.1.4.4 Conclusies en beleidsrelevantie

##### Discussie

Om de homeostase van het immuunsysteem te handhaven, moet de expressie van cytokines goed gebalanceerd zijn; zodra het cytokinenetwerk ontregeld wordt, kunnen cellen en organen schade oplopen (Nakao, 2014).

Onze resultaten geven een significant verband aan tussen de luchtkwaliteit op het woonadres, groen in de woonomgeving en belangrijke inflammatoire cytokines. Op korte termijn zagen we een significante associatie van gemodelleerde PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> met hogere IL-8 concentraties in serum en hogere TNF- $\alpha$  concentraties in serum van enkel jongens, niet van meisjes. Uit een recente meta-analyse blijkt dat de resultaten van studies naar kortdurende blootstelling aan luchtvervuilende stoffen in relatie tot cytokines niet eenduidig zijn (Tang et al., 2020). De meta-analyse rapporteerde significante veranderingen van TNF- $\alpha$  en niet-significante veranderingen van IL-6 en IL-8 bij korte termijn blootstelling aan PM<sub>2.5</sub> (Tang et al., 2020). De urinaire koolstoflading van FLEHS IV jongeren correleert randsignificant met de korte termijn PM<sub>2.5</sub> concentratie in de leefomgeving, een combinatie van woonadres en schooladres (zie 4.1.2.3.). We zien geen significante verbanden tussen urinaire koolstoflading en cytokines. Er is nog geen literatuur beschikbaar omtrent associaties van interne koolstoflading met cytokines of andere immuunparameters. Een meta-analyse van inflammatoire biomerkers in relatie tot gasvormige pollutanten toonde een significant verband tussen korte termijn NO<sub>2</sub> blootstelling en TNF- $\alpha$  (Xu et al., 2022). Ook in vitro studies geven geen eenduidig beeld van de impact van luchtvervuiling op cytokine productie (Audi et al., 2017; Rodríguez-Cotto et al., 2014). Verschillen in samenstelling van PM naargelang de onderzoek locatie of weersomstandigheden, verschillen in blootstellingsniveaus en verschillen in onderzoeksopzet kunnen de bron zijn van deze heterogeniteit van resultaten (Audi et al., 2017).

De NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> jaargemiddelden waren in onze studiepopulatie positief geassocieerd met serum IL-6 niveaus. Deze bevinding is in lijn met in vitro studies en epidemiologische studies rond langdurige blootstelling aan luchtvervuiling bij volwassenen (Chuang et al., 2011; Hajat et al., 2015; Panasevich et al., 2009; Tang et al., 2020). Bij Zweedse kinderen was NO<sub>2</sub> blootstelling tijdens de kindertijd geassocieerd met een significante stijging van het IL-6 niveau op 8-jarige leegtijd. Het NO<sub>2</sub> jaargemiddelde was bij FLEHS IV jongeren positief geassocieerd met serum TNF- $\alpha$ , zoals eerder ook geobserveerd in een volwassen referentiepopulatie door Tsai et al. (2012). We zagen een significant negatief verband tussen de jaargemiddelde BC-concentratie en serum IL-8. Verschillende recente studies toonden eveneens lagere IL-8 concentraties in serum van volwassenen in relatie tot langdurige blootstelling aan NO<sub>x</sub> (Mostafavi et al., 2015) en in serum van landbouwers in relatie tot langdurige blootstelling aan PM<sub>2.5</sub> (Audi et al., 2017). De reden voor de waargenomen tegengestelde associaties tussen blootstelling aan luchtverontreiniging op korte en lange termijn en IL-8 is onduidelijk. De onderdrukkende werking van langdurige blootstelling aan luchtverontreiniging op IL-8 zou het resultaat kunnen zijn van adaptatie na voortdurende blootstelling aan hoge luchtverontreinigingsniveaus (Audi et al., 2017). IL-8 heeft niet enkel pro-inflammatoire eigenschappen, maar speelt ook een belangrijke rol in het afweersysteem. Remming van de IL-8 secretie kan de influx en activatie van neutrofielen vertragen en zo een voordeel creëren voor de overleving van pathogenen, met een verhoogde kans op infecties als gevolg (Benakanakere et al., 2016). Daarnaast heeft IL-8 een beschermend effect op het endotheel en op diverse andere epitheliale celtypes (Jaworska-Wilczyńska et al., 2014). De resultaten van de studie tonen enkele verschillen in associaties volgens geslacht en volgens astma status. Significante positieve associaties van PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> weekgemiddelde met TNF- $\alpha$  werden enkel geobserveerd bij jongens. Eerder onderzoek bij FLEHS IV jongeren toonde eveneens een significant verband tussen lange-termijn blootstelling aan luchtvervuiling bij jongens en de hoeveelheid witte bloedcellen (WBC) als inflammatoire immuunparameters (Verheyen et al., 2021a), gelijkaardige bevindingen worden ook in de literatuur gerapporteerd (Hoffmann et al., 2009).



Enkel bij jongeren met astma zagen we een positieve associatie tussen BC-blootstelling op korte termijn en IL-8, de associatie tussen BC-blootstelling en lagere IL-8 was daarentegen enkel significant in jongeren zonder astma. Eerder onderzoek toonde eveneens aan dat kinderen en jongeren met astma gevoeliger zijn voor de impact van luchtvervuiling op het immuunsysteem (Gruzieva et al., 2017; Klümper et al., 2015).

Er werd in deze studie geen significant verband gevonden tussen blootstelling aan verkeersgeluid op het woonadres en serum cytokines. Mogelijk worden stress- en immunrespons meer beïnvloed door de gevoeligheid voor geluid dan door het geluidsniveau van wegverkeer op zich (Kim et al., 2017; Wallas et al., 2018).

Bovendien weerspiegelen de gemodelleerde geluidsniveaus van het woonverkeer wellicht niet het totale geluidlandschap, met inbegrip van andere veel voorkomende geluidsbronnen zoals lawaai van burens, bouwterreinen en windturbines (Kim et al., 2017). Toekomstige studies kunnen een meer persoonlijke inschatting van de blootstelling aan luchtverontreiniging en lawaai in overweging nemen, mogelijk via een participatieve aanpak die rekening houdt met persoonlijke mobiliteit (Boniardi et al., 2021).

We zagen in deze studie een significant verband tussen een groter aandeel groen in de ruime woonomgeving en lagere IL-8 gehalten. Meer groen in de dichte woonomgeving was geassocieerd met lagere IFN- $\gamma$  gehalten. Voor zover ons bekend, werden beide cytokines nog niet eerder onderzocht in relatie tot groen in de woonomgeving. IFN- $\gamma$  wordt hoofdzakelijk afgescheiden door geactiveerde T-cellen en NK-cellen (natural killer cellen) (Dorn et al., 2016). Onze bevinding lijkt niet aan te sluiten bij eerder onderzoek, waarbij vastgesteld werd dat contact met groen op korte termijn tot een toename van NK-cellen kan leiden (Frumkin et al., 2017; Li and Kawada, 2011). In de literatuur wordt voorgesteld dat een langdurig positief effect van groen in de woonomgeving op de immunrespons deels zou kunnen verlopen via blootstelling aan een verscheidenheid van natuurlijke microbiële organismen, zoals geformuleerd in de hygiëne hypothese, via stress reductie, meer fysieke beweging en sociale contacten (Frumkin et al., 2017). Het is niet duidelijk of de hoeveelheid groen of de biodiversiteit van groen hierbij een rol speelt (Rook, 2013). Bij FLEHS IV jongeren was meer groen rondom de woning eerder geassocieerd met een betere cognitie (Bijnens et al., 2022). Het onderzoek naar inflammatoire en immuun merkers in relatie tot groen is beperkt, de indicatoren die gebruikt worden zijn bovendien heel divers: hoeveelheid groen in woonomgeving, toegang tot publiek park/bos, bezoek aan bos/park, zicht op groen (Frumkin et al., 2017). Bovendien kan meer groen ook een nadelige impact hebben op immuun-gerelateerde aandoeningen zoals allergie en luchtwegaandoeningen door blootstelling aan pollen, schimmels, andere met vegetatie samenhangende allergenen, de productie van koolwaterstoffen (ozonprecursoren), of een combinatie van deze factoren (Frumkin et al., 2017). Naast informatie over de hoeveelheid groen, is informatie over biodiversiteit, groentypes, de aanwezigheid van pollen en schimmels nodig om het verband tussen groen en immunrespons goed in kaart te kunnen brengen (Kumar et al., 2019).

In onze populatie jongeren zagen we een significante impact van verschillende alomtegenwoordige en/of persistente pollutanten op cytokines IL-8, IFN- $\gamma$ , IL-6 en TNF- $\alpha$ . Blootstelling aan de verbranding-gerelateerde pollutanten benzeen en fenantreen was positief geassocieerd met de inflammatoire cytokines IL-6 en IFN- $\gamma$ . De urineconcentratie van t,t'-muconzuur wordt in een epidemiologisch onderzoek voornamelijk gebruikt als een proxy voor blootstelling aan luchtvervuiling door verkeer (Kicinski et al., 2016), PAK's worden gegenereerd door onvolledige verbranding van organisch materiaal en zijn als complex mengsel aanwezig in voeding en in verbranding-gerelateerde luchtvervuiling (Abdel-Shafy and Mansour, 2016). Beroepsmatige blootstelling aan benzeen werd eerder reeds geassocieerd met een verstoorde immunrespons bij volwassenen (Uzma et al., 2010).



De significant verbanden tussen 2-hydroxy-fenantreen, IL-6 en IFN- $\gamma$  sluiten aan bij eerder FLEHS IVonderzoek, waarin we een significant verband vaststelden tussen deze PAK's metaboliet en de neutrofiel-lymfocyt ratio (NLR), een gekende klinische merker van inflammatie en immuunverstoring (Verheyen et al., 2021b). Ook internationaal onderzoek naar inflammatiemarkers bij adolescenten in relatie tot PAK's blootstelling ondersteunt dit resultaat (Farzan et al., 2016). We zagen significante verschillen in de associatie van t,t'-muconzuur en PAK's met cytokines, met sterkere associaties bij meisjes. Dit is in lijn met eerder FLEHS IV en internationaal onderzoek bij adolescenten naar blootstelling aan PAK's en inflammatoire biomerkers (Verheyen et al., 2021b; Xu et al., 2021).

We zagen in deze studiepopulatie geen significante verbanden tussen blootstelling aan niet-persistente pesticiden en cytokines. Het universele gebruik van pesticiden veroorzaakt wereldwijd milieuverontreiniging. In de algemene bevolking is de blootstelling aan pesticiden lager dan bij beroepsblootstelling, de meeste epidemiologisch studies naar immuun effecten van niet-persistente pesticiden hebben betrekking op beroepsblootstelling of hoog blootgestelde populaties (Gangemi et al., 2016). Experimentele dierstudies en in-vitro tests hebben immuunverstorende effecten aangetoond van persistente stoffen zoals PCB's, OCP's en PFAS (Devos et al., 2004; Oulhote et al., 2017; Serdar et al., 2014). Humane blootstelling van de mens aan POP's zoals OCP's, PCB's en PFAS verloopt voornamelijk via voeding, waarbij blootstelling aan PFAS ook optreedt via drinkwater, lucht en via consumentenproducten (bijv. kookgerei en waterdicht textiel) (Karlsen et al., 2017). PCB's zijn door IARC ingedeeld als kankerverwekkend voor de mens (groep 1) en verschillende studies linken PCB's aan onderdrukking van zowel de humorale als de cellulaire immuunrespons (Serdar et al., 2014). Ondanks het productieverbod van meer dan drie decennia geleden zijn er nog steeds meetbare hoeveelheden PCB's en OCP's aanwezig bij Vlaamse jongeren (Buekers et al., 2021). Bij Vlaamse jongeren zagen we een significant verband tussen PCB-153 waarden en lagere IL-6 concentraties in serum, wat mogelijk kan wijzen op immuunsuppressie. Een significant negatief verband zagen we ook tussen PFOS waarden in serum en IL-6. Hoewel IL-6 vooral gekend is om zijn nadelige inflammatoire effecten, speelt IL-6 ook een essentiële rol tijdens de acute fase van de immuunrespons (Scheller et al., 2011). Een adequate IL-6 respons bij inflammatie is ondermeer belangrijk voor de rekrutering en differentiatie van T-cellen tijdens de immuunrespons (Scheller et al., 2011). IL-6 speelt ook een rol in de metabole homeostase en regeneratieve processen van het bot (Scheller et al., 2011). Eerder werd blootstelling aan PFOS en PFOA bij kinderen en jongeren gelinkt aan een verminderde immuunrespons (Fenton et al., 2021; Grandjean et al., 2017, 2012). Blootstelling aan PFAS werd eerder gelinkt aan een verhoogd risico op astma bij jongeren, de resultaten zijn van verschillende studies wijzen echter niet eenduidig in die richting (Kvalem et al., 2020). Hogere PFOA serumconcentraties waren significant geassocieerd met hogere IL-8 waarden. IL-8 speelt een rol in allergie-gebonden aandoeningen (Dorn et al., 2016). Het resultaat is in lijn met experimenteel onderzoek waarbij PFOA de genexpressie induceerde van TNF- $\alpha$  en IL-8 in mestcellen (Singh et al., 2012). Bij jongens en jongeren met astma zagen we bovendien een significant verband tussen PFOA gehalten en hogere TNF- $\alpha$  waarden. Verschillen in associaties tussen PFAS en immuunmarkers volgens geslacht en astma-status werden eerder reeds gerapporteerd (Kvalem et al., 2020).

### **Conclusie en Beleidsrelevantie**

- De resultaten van deze studie geven aan dat de immuunbalans bij Vlaamse jongeren significant verstoord wordt door blootstelling aan luchtvervuilende en persistente chemische stoffen. Meer onderzoek naar immuunverstoring in relatie tot milieublootstelling bij Vlaamse jongeren is relevant om preventieve gezondheidsmaatregelen, adviezen en beleid te ondersteunen.
- Vanuit beleidsoogpunt is het belangrijk dat een immuunverstorende impact bij jongeren werd vastgesteld bij concentraties aan residentiële luchtvervuiling die ver onder de huidige Europese grenswaarden voor langdurige blootstelling aan PM en NO<sub>2</sub> lagen.



Beleid inzake luchtkwaliteit is in hoge mate afhankelijk van de beschikbare gegevens over de schadelijke gezondheidseffecten ervan. De resultaten van deze studie suggereren dat Vlaamse jongeren gebaat zijn bij huidige en toekomstige maatregelen om het niveau van luchtverontreinigende stoffen zoals PM, NO<sub>2</sub>, PAK's en benzeen te verlagen.

- Om in toekomstig onderzoek het verband tussen woonomgeving en immuunrespons beter in kaart te kunnen brengen, zijn bijkomende data nodig. Een meer persoonlijke inschatting van de blootstelling aan luchtvervuiling en geluid, en ook perceptie van geluid, kunnen mogelijk via wearables en/of sensoren geoptimaliseerd worden.

De impact van groen op de immuunrespons zou beter in kaart gebracht kunnen worden indien ook informatie beschikbaar is over biodiversiteit (inclusief groensoorten), de persoonlijke blootstelling aan pollen en de allergeniciteit van deze pollen.

- De waarden van verschillende cytokines zijn bij een algemene populatie jongeren niet detecteerbaar. Deze cytokines komen voornamelijk tot expressie bij ziekte en zijn daarom een beperkte meerwaarde bij het inschatten van de impact van milieublootstelling op een referentiepopulatie. Mogelijk is het aangewezen om in toekomstig onderzoek te focussen op een kleinere set van inflammatoire cytokines: IL-6, IL-8, TNF- $\alpha$  en IFN- $\gamma$ , eventueel aangevuld met andere immuunmerkers zoals C-reactief proteïne (CRP).
- Jongeren zijn een zeer relevante leeftijdsgroep voor milieugezondheidsonderzoek. Jongeren kennen nog geen beroepsblootstelling en spenderen het merendeel van hun tijd in de woonomgeving, hun blootstelling weerspiegelt dus de lokale omgeving. Bovendien is de puberteit is een belangrijke ontwikkelingsperiode en zijn jongeren dus extra gevoelig voor de gezondheidsimpact van milieublootstelling. Aanvullend onderzoek in andere leeftijdsgroepen of gericht op kwetsbare populatie (vb. astma patiënten) kan de kennisbasis over de associaties tussen milieublootstelling en gezondheid verder verbreden.
- Prospectief onderzoek in het kwaliteitsvol kader van de FLEHS-studies kan een meerwaarde zijn om de relatie tussen milieublootstelling en gezondheidseffecten op latere leeftijd te onderzoeken. Het is belangrijk om daarbij aandacht te hebben voor continuïteit en uniformiteit van het onderzoek.
- Onderzoek op grote studiepopulaties is een meerwaarde bij het inschatten van blootstelling-effect relaties. De integratie van een Vlaamse adolescenten-cohorte binnen het Europese PARC-consortium kan in dit opzicht een belangrijke meerwaarde bieden. Ook hier is uniformiteit tussen de studies belangrijk.

#### 4.1.4.5 Referenties

- Abdel-Shafy, H.I., Mansour, M.S.M., 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egypt. J. Pet.* <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>
- Audi, C., Baiz, N., Maesano, C.N., Ramousse, O., Reboulleau, D., Magnan, A., Caillaud, D., Annesi-Maesano, I., 2017. Serum cytokine levels related to exposure to volatile organic compounds and PM<sub>2.5</sub> in dwellings and workplaces in french farmers – A mechanism to explain nonsmoking COPD. *Int. J. COPD* 12, 1363–1374. <https://doi.org/10.2147/COPD.S117866>
- Benakanakere, M.R., Finoti, L.S., Tanaka, U., Grant, G.R., Scarel-Caminaga, R.M., Kinane, D.F., 2016. Investigation of the functional role of human Interleukin-8 gene haplotypes by CRISPR/Cas9 mediated genome editing. *Sci. Rep.* 6, 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep31180>
- Biel, R., Danieli, C., Shekarizfard, M., Minet, L., Abrahamowicz, M., Baumgartner, J., Liu, R., Hatzopoulou, M., Weichenthal, S., 2020. Acute cardiovascular health effects in a panel study of personal exposure to traffic-related air pollutants and noise in Toronto, Canada. *Sci. Rep.* 10, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73412-6>
- Bijnens, E.M., Vos, S., Verheyen, V. V., Bruckers, L., Covaci, A., De Henauw, S., Den Hond, E., Loots, I., Nelen, V., Plusquin, M., Schoeters, G., Nawrot, T.S., 2022. Higher surrounding green space is associated with better attention in Flemish adolescents. *Environ. Int.* 159, 107016. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107016>



- Boniardi, L., Dons, E., Longhi, F., Scuffi, C., Campo, L., Van Poppel, M., Int Panis, L., Fustinoni, S., 2021. Personal exposure to equivalent black carbon in children in Milan, Italy: Time-activity patterns and predictors by season. *Environ. Pollut.* 274. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116530>
- Braga, A.L.F., Saldiva, P.H.N., Pereira, L.A.A., Menezes, J.J.C., Conceição, G.M.S., Lin, C.A., Zanobetti, A., Schwartz, J., Dockery, D.W., 2001. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. *Pediatr. Pulmonol.* 31, 106–113. [https://doi.org/10.1002/1099-0496\(200102\)31:2<106::AID-PPUL1017>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1099-0496(200102)31:2<106::AID-PPUL1017>3.0.CO;2-M)
- Braithwaite, I., Zhang, S., Kirkbride, J.B., Osborn, D.P.J., Hayes, J.F., 2019. Air pollution (Particulate matter) exposure and associations with depression, anxiety, bipolar, psychosis and suicide risk: A systematic review and meta-analysis. *Environ. Health Perspect.* <https://doi.org/10.1289/EHP4595>
- Brenhouse, H.C., Schwarz, J.M., 2016. Immunoadolescence: Neuroimmune development and adolescent behavior. *Neurosci. Biobehav. Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.05.035>
- Buekers, J., Verheyen, V., Remy, S., Covaci, A., Colles, A., Koppen, G., Govarts, E., Bruckers, L., Leermakers, M., St-Amand, A., Schoeters, G., 2021. Combined chemical exposure using exposure loads on human biomonitoring data of the 4th Flemish Environment and Health Study (FLEHS IV). *Int. J. Hyg. Environ. Health* 238, 113849. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113849>
- Bulka, C.M., Avula, V., Fry, R.C., 2021. Associations of exposure to perfluoroalkyl substances individually and in mixtures with persistent infections: Recent findings from NHANES 1999–2016. *Environ. Pollut.* 275, 116619. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116619>
- Chuang, K.J., Yan, Y.H., Chiu, S.Y., Cheng, T.J., 2011. Long-term air pollution exposure and risk factors for cardiovascular diseases among the elderly in Taiwan. *Occup. Environ. Med.* <https://doi.org/10.1136/oem.2009.052704>
- Daiber, A., Kröll-Schön, S., Oelze, M., Hahad, O., Li, H., Schulz, R., Steven, S., Münzel, T., 2020. Oxidative stress and inflammation contribute to traffic noise-induced vascular and cerebral dysfunction via uncoupling of nitric oxide synthases. *Redox Biol.* <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101506>
- Daniel, V., Huber, W., Bauer, K., Suesal, C., Conradt, C., Opelz, G., 2001. Associations of blood levels of PCB, HCHs and HCB with numbers of lymphocyte subpopulations, in vitro lymphocyte response, plasma cytokine levels, and immunoglobulin autoantibodies. *Environ. Health Perspect.* 109, 173–178. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109173>
- De Coster, S., van Leeuwen, D.M., Jennen, D.G.J., Koppen, G., Den Hond, E., Nelen, V., Schoeters, G., Baeyens, W., van Delft, J.H.M., Kleinjans, J.C.S., van Larebeke, N., 2013. Gender-specific transcriptomic response to environmental exposure in Flemish adults. *Environ. Mol. Mutagen.* <https://doi.org/10.1002/em.21774>
- Devos, S., Van Den Heuvel, R., Hooghe, R., Hooghe-Peters, E.L., 2004. Limited effect of selected organic pollutants on cytokine production by peripheral blood leukocytes. *Eur. Cytokine Netw.* 15, 145–151.
- Dorn, L.D., Gayles, J.G., Engeland, C.G., Houts, R., Cizza, G., Denson, L.A., 2016. Cytokine patterns in healthy adolescent girls: Heterogeneity captured by variable and person-centered statistical strategies. *Psychosom. Med.* 78, 646–656. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000321>
- Farzan, S.F., Chen, Y., Trachtman, H., Trasande, L., 2016. Urinary polycyclic aromatic hydrocarbons and measures of oxidative stress, inflammation and renal function in adolescents: NHANES 2003–2008. *Environ. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.11.012>
- Fenton, S.E., Ducatman, A., Boobis, A., DeWitt, J.C., Lau, C., Ng, C., Smith, J.S., Roberts, S.M., 2021. Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research. *Environ. Toxicol. Chem.* <https://doi.org/10.1002/etc.4890>
- Frumkin, H., Bratman, G.N., Breslow, S.J., Cochran, B., Kahn, P.H., Lawler, J.J., Levin, P.S., Tandon, P.S., Varanasi, U., Wolf, K.L., Wood, S.A., 2017. Nature contact and human health: A research agenda. *Environ. Health Perspect.* <https://doi.org/10.1289/EHP1663>
- Frye, M.D., Ryan, A.F., Kurabi, A., 2019. Inflammation associated with noise-induced hearing loss. *J. Acoust. Soc. Am.* 146, 4020–4032. <https://doi.org/10.1121/1.5132545>
- Gangemi, S., Gofita, E., Costa, C., Teodoro, M., Briguglio, G., Nikitovic, D., Tzanakakis, G., Tsatsakis, A.M., Wilks, M.F., Spandidos, D.A., Fenga, C., 2016. Occupational and environmental exposure to pesticides and cytokine pathways in chronic diseases (Review). *Int. J. Mol. Med.* <https://doi.org/10.3892/ijmm.2016.2728>
- Gauderman, W.J., Avol, E., Gilliland, F., Vora, H., Thomas, D., Berhane, K., McConnell, R., Kuenzli, N., Lurmann, F., Rappaport, E., Margolis, H., Bates, D., Peters, J., 2004. The Effect of Air Pollution on Lung Development from 10 to 18 Years of Age. *N. Engl. J. Med.* 351, 1057–1067. <https://doi.org/10.1056/nejmoa040610>
- Glencross, D.A., Ho, T.R., Camiña, N., Hawrylowicz, C.M., Pfeffer, P.E., 2020. Air pollution and its effects on the immune system. *Free Radic. Biol. Med.* 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.179>





- Golub, M.S., 2000. Adolescent health and the environment. *Environ. Health Perspect.* 108, 355. <https://doi.org/10.1289/EHP.00108355>
- Götschi, T., Heinrich, J., Sunyer, J., Künzli, N., 2008. Long-term effects of ambient air pollution on lung function: A review. *Epidemiology* 19, 690–701. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318181650f>
- Grandjean, P., Andersen, E.W., Budtz-Jørgensen, E., Nielsen, F., Mølbak, K.R., Weihe, P., Heilmann, C., 2012. Serum vaccine antibody concentrations in children exposed to perfluorinated compounds. *JAMA - J. Am. Med. Assoc.* 307, 391–397. <https://doi.org/10.1001/jama.2011.2034>
- Grandjean, P., Heilmann, C., Weihe, P., Nielsen, F., Mogensen, U.B., Budtz-Jørgensen, E., 2017. Serum vaccine antibody concentrations in adolescents exposed to perfluorinated compounds. *Environ. Health Perspect.* <https://doi.org/10.1289/EHP275>
- Gruzjeva, O., Merid, S.K., Gref, A., Gajulapuri, A., Lemonnier, N., Ballereau, S., Gigante, B., Kere, J., Auffray, C., Melén, E., Pershagen, G., 2017. Exposure to traffic-related air pollution and serum inflammatory cytokines in children. *Environ. Health Perspect.* 125. <https://doi.org/10.1289/EHP460>
- Hajat, A., Allison, M., Diez-Roux, A. V., Jenny, N.S., Jorgensen, N.W., Szpiro, A.A., Vedal, S., Kaufman, J.D., 2015. Long-term exposure to air pollution and markers of inflammation, coagulation, and endothelial activation a repeat-measures analysis in the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA). *Epidemiology* 26, 310–320. <https://doi.org/10.1097/eDe.0000000000000267>
- Hoffmann, B., Moebus, S., Dragano, N., Stang, A., Möhlenkamp, S., Schmermund, A., Memmesheimer, M., Bröcker-Preuss, M., Mann, K., Erbel, R., Jöckel, K.H., 2009. Chronic residential exposure to particulate matter air pollution and systemic inflammatory markers. *Environ. Health Perspect.* <https://doi.org/10.1289/ehp.0800362>
- Islam, T., Gauderman, W.J., Berhane, K., McConnell, R., Avol, E., Peters, J.M., Gilliland, F.D., 2007. Relationship between air pollution, lung function and asthma in adolescents. *Thorax* 62, 957–963. <https://doi.org/10.1136/thx.2007.078964>
- Jaworska-Wilczyńska, M., Magalska, A., Piwocka, K., Szymański, P., Kuśmierczyk, M., Wąsik, M., Hryniewiecki, T., 2014. Low interleukin - 8 level predicts the occurrence of the postpericardiotomy syndrome. *PLoS One* 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108822>
- Karlsen, M., Grandjean, P., Weihe, P., Steuerwald, U., Oulhote, Y., Valvi, D., 2017. Early-life exposures to persistent organic pollutants in relation to overweight in preschool children. *Reprod. Toxicol.* 68, 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2016.08.002>
- Kicinski, M., Saenen, N.D., Viaene, M.K., Den Hond, E., Schoeters, G., Plusquin, M., Nelen, V., Bruckers, L., Sioen, I., Loots, I., Baeyens, W., Roels, H.A., Nawrot, T.S., 2016. Urinary t,t-muconic acid as a proxy-biomarker of car exhaust and neurobehavioral performance in 15-year olds. *Environ. Res.* 151, 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.035>
- Kim, A., Sung, J.H., Bang, J.H., Cho, S.W., Lee, J., Sim, C.S., 2017. Effects of self-reported sensitivity and road-traffic noise levels on the immune system. *PLoS One.* <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187084>
- Klümper, C., Krämer, U., Lehmann, I., von Berg, A., Berdel, D., Herberth, G., Beckmann, C., Link, E., Heinrich, J., Hoffmann, B., Schins, R.P.F., 2015. Air pollution and cytokine responsiveness in asthmatic and non-asthmatic children. *Environ. Res.* 138, 381–390. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.02.034>
- Kumar, P., Druckman, A., Gallagher, J., Gatersleben, B., Allison, S., Eisenman, T.S., Hoang, U., Hama, S., Tiwari, A., Sharma, A., Abhijith, K. V., Adlakha, D., McNabola, A., Astell-Burt, T., Feng, X., Skeldon, A.C., de Lusignan, S., Morawska, L., 2019. The nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environ. Int.* <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105181>
- Kvalem, H.E., Nygaard, U.C., Lødrup Carlsen, K.C., Carlsen, K.H., Haug, L.S., Granum, B., 2020. Perfluoroalkyl substances, airways infections, allergy and asthma related health outcomes – implications of gender, exposure period and study design. *Environ. Int.* 134, 105259. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105259>
- Lacy, P., Stow, J.L., 2011. Cytokine release from innate immune cells: Association with diverse membrane trafficking pathways. *Blood.* <https://doi.org/10.1182/blood-2010-08-265892>
- Li, Q., Kawada, T., 2011. Effect of forest environments on human natural killer (NK) activity. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* 24, 39S-44S.
- Lubin, J.H., Colt, J.S., Camann, D., Davis, S., Cerhan, J.R., Severson, R.K., Bernstein, L., Hartge, P., 2004. Epidemiologic Evaluation of Measurement Data in the Presence of Detection Limits. *Environ. Health Perspect.* 112, 1691. <https://doi.org/10.1289/EHP.7199>
- Mokarizadeh, A., Faryabi, M.R., Rezvanfar, M.A., Abdollahi, M., 2015. A comprehensive review of pesticides and the immune dysregulation: Mechanisms, evidence and consequences. *Toxicol. Mech. Methods* 25, 258–278. <https://doi.org/10.3109/15376516.2015.1020182>



- Mostafavi, N., Vlaanderen, J., Chadeau-Hyam, M., Beelen, R., Modig, L., Palli, D., Bergdahl, I.A., Vineis, P., Hoek, G., Kyrtopoulos, S.A., Vermeulen, R., 2015. Inflammatory markers in relation to long-term air pollution. *Environ. Int.* 81, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.04.003>
- Münzel, T., Sørensen, M., Schmidt, F., Schmidt, E., Steven, S., Kröller-Schön, S., Daiber, A., 2018. The Adverse Effects of Environmental Noise Exposure on Oxidative Stress and Cardiovascular Risk. *Antioxid. Redox Signal.* 28, 873–908. <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7118>
- Nakao, A., 2014. Temporal regulation of cytokines by the circadian clock. *J. Immunol. Res.* <https://doi.org/10.1155/2014/614529>
- Oulhote, Y., Shamim, Z., Kielsen, K., Weihe, P., Grandjean, P., Ryder, L.P., Heilmann, C., 2017. Children’s white blood cell counts in relation to developmental exposures to methylmercury and persistent organic pollutants. *Reprod. Toxicol.* <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2016.08.001>
- Panasevich, S., Leander, K., Rosenlund, M., Ljungman, P., Bellander, T., De Faire, U., Pershagen, G., Nyberg, F., 2009. Associations of long- and short-term air pollution exposure with markers of inflammation and coagulation in a population sample. *Occup. Environ. Med.* 66, 747–753. <https://doi.org/10.1136/oem.2008.043471>
- Pope, C.A., Bhatnagar, A., McCracken, J.P., Abplanalp, W., Conklin, D.J., O’Toole, T., 2016. Exposure to Fine Particulate Air Pollution Is Associated with Endothelial Injury and Systemic Inflammation. *Circ. Res.* 119, 1204–1214. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.309279>
- Prunicki, M., Cauwenberghs, N., Ataam, J.A., Movassagh, H., Kim, J.B., Kuznetsova, T., Wu, J.C., Maecker, H., Haddad, F., Nadeau, K., 2020. Immune biomarkers link air pollution exposure to blood pressure in adolescents. *Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source.* <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00662-2>
- Rodríguez-Cotto, R.I., Ortiz-Martínez, M.G., Rivera-Ramírez, E., Mateus, V.L., Amaral, B.S., Jiménez-Vélez, B.D., Gioda, A., 2014. Particle pollution in Rio de Janeiro, Brazil: Increase and decrease of pro-inflammatory cytokines IL-6 and IL-8 in human lung cells. *Environ. Pollut.* 194, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.07.010>
- Rook, G.A., 2013. Regulation of the immune system by biodiversity from the natural environment: An ecosystem service essential to health. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 18360–18367. <https://doi.org/10.1073/pnas.1313731110>
- Russette, H., Graham, J., Holden, Z., Semmens, E.O., Williams, E., Landguth, E.L., 2021. Greenspace exposure and COVID-19 mortality in the United States: January–July 2020. *Environ. Res.* 198, 111195. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111195>
- Scheller, J., Chalaris, A., Schmidt-Arras, D., Rose-John, S., 2011. The pro- and anti-inflammatory properties of the cytokine interleukin-6. *Biochim. Biophys. Acta - Mol. Cell Res.* <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2011.01.034>
- Serdar, B., LeBlanc, W.G., Norris, J.M., Miriam Dickinson, L., 2014. Potential effects of polychlorinated biphenyls (PCBs) and selected organochlorine pesticides (OCPs) on immune cells and blood biochemistry measures: A cross-sectional assessment of the NHANES 2003–2004 data. *Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source* 13, 1–12. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-114>
- Shakya, K.M., Peltier, R.E., Zhang, Y., Pandey, B.D., 2019. Roadside exposure and inflammation biomarkers among a cohort of traffic police in Kathmandu, Nepal. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16. <https://doi.org/10.3390/ijerph16030377>
- Singh, T.S.K., Lee, S., Kim, H.H., Choi, J.K., Kim, S.H., 2012. Perfluorooctanoic acid induces mast cell-mediated allergic inflammation by the release of histamine and inflammatory mediators. *Toxicol. Lett.* 210, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.01.014>
- Stein, C.R., McGovern, K.J., Pajak, A.M., Maglione, P.J., Wolff, M.S., 2016. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances and indicators of immune function in children aged 12–19 y: National Health and Nutrition Examination Survey. *Pediatr. Res.* 79, 348–357. <https://doi.org/10.1038/pr.2015.213>
- Steunpunt Milieu en Gezondheid, 2020. Vlaamse Humane-Biomonitoringprogramma 2016–2020: Referentiewaarden Bij Jongeren.
- Sun, Y., Huang, J., Zhao, Y., Xue, L., Li, H., Liu, Q., Cao, H., Peng, W., Guo, C., Xie, Y., Liu, X., Li, B., Liu, K., Wu, S., Zhang, L., 2020. Inflammatory cytokines and DNA methylation in healthy young adults exposure to fine particulate matter: A randomized, double-blind crossover trial of air filtration. *J. Hazard. Mater.* 398. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122817>
- Tang, H., Cheng, Z., Li, N., Mao, S., Ma, R., He, H., Niu, Z., Chen, X., Xiang, H., 2020. The short- and long-term associations of particulate matter with inflammation and blood coagulation markers: A meta-analysis. *Environ. Pollut.* 267, 115630. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115630>



- Tsai, D.H., Amyai, N., Marques-Vidal, P., Wang, J.L., Riediker, M., Mooser, V., Paccaud, F., Waeber, G., Vollenweider, P., Bochud, M., 2012. Effects of particulate matter on inflammatory markers in the general adult population. Part. Fibre Toxicol. 9. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-9-24>
- Uzma, N., Kumar, S.S., Hazari, M.A.H., 2010. Exposure to benzene induces oxidative stress, alters the immune response and expression of p53 in gasoline filling workers. Am. J. Ind. Med. 53, 1264–1270. <https://doi.org/10.1002/ajim.20901>
- Verheyen, V.J., Remy, S., Bijmens, E.M., Colles, A., Govarts, E., Martin, L.R., Koppen, G., Bruckers, L., Nielsen, F., Vos, S., Morrens, B., Coertjens, D., De Decker, A., Franken, C., Den Hond, E., Nelen, V., Covaci, A., Loots, I., De Henauw, S., van Larebeke, N., Teughels, C., Nawrot, T.S., Schoeters, G., 2021a. Long-term residential exposure to air pollution is associated with hair cortisol concentration and differential leucocyte count in Flemish adolescent boys. Environ. Res. 201, 111595. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111595>
- Verheyen, V.J., Remy, S., Govarts, E., Colles, A., Rodriguez Martin, L., Koppen, G., Voorspoels, S., Bruckers, L., Bijmens, E.M., Vos, S., Morrens, B., Coertjens, D., De Decker, A., Franken, C., Den Hond, E., Nelen, V., Covaci, A., Loots, I., De Henauw, S., Van Larebeke, N., Teughels, C., Nawrot, T.S., Schoeters, G., 2021b. Urinary Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Metabolites Are Associated with Biomarkers of Chronic Endocrine Stress, Oxidative Stress, and Inflammation in Adolescents: FLEHS IV (2016–2020). Toxics 9, 245. <https://doi.org/10.3390/toxics9100245>
- Wallas, A., Eriksson, C., Gruzjeva, O., Lind, T., Pyko, A., Sjöström, M., Ögren, M., Pershagen, G., 2018. Road traffic noise and determinants of saliva cortisol levels among adolescents. Int. J. Hyg. Environ. Health 221, 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.11.003>
- Wang, J., Guo, X., Chen, Y., Zhang, W., Ren, J., Gao, A., 2021. Association between benzene exposure, serum levels of cytokines and hematological measures in Chinese workers: A cross-sectional study. Ecotoxicol. Environ. Saf. 207, 111562. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111562>
- Xu, C., Liu, Q., Liang, J., Weng, Z., Xu, J., Jiang, Z., Gu, A., 2021. Urinary biomarkers of polycyclic aromatic hydrocarbons and their associations with liver function in adolescents. Environ. Pollut. 278, 116842. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116842>
- Xu, Z., Wang, W., Liu, Q., Li, Z., Lei, L., Ren, L., Deng, F., Guo, X., Wu, S., 2022. Association between gaseous air pollutants and biomarkers of systemic inflammation: A systematic review and meta-analysis. Environ. Pollut. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118336>
- Zhang, Hanxiyue, Han, Y., Qiu, X., Wang, Y., Li, W., Liu, J., Chen, X., Li, R., Xu, F., Chen, W., Yang, Q., Fang, Y., Fan, Y., Wang, J., Zhang, Hongyin, Zhu, T., 2020. Association of internal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with inflammation and oxidative stress in prediabetic and healthy individuals. Chemosphere. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126748>
- Zhang, J.S., Gui, Z.H., Zou, Z.Y., Yang, B.Y., Ma, J., Jing, J., Wang, H.J., Luo, J.Y., Zhang, X., Luo, C.Y., Wang, H., Zhao, H.P., Pan, D.H., Bao, W.W., Guo, Y.M., Ma, Y.H., Dong, G.H., Chen, Y.J., 2021. Long-term exposure to ambient air pollution and metabolic syndrome in children and adolescents: A national cross-sectional study in China. Environ. Int. 148, 106383. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106383>

## 4.2 HET INWENDIG EXPOSOOM

### 4.2.1 Opkomende chemicaliën

#### **Toegevoegde waarde van een databank en opslagplaats van referentiestandaarden op centraal Vlaams niveau**

Een databank en gecentraliseerde opslag van referentiestandaarden voor onderzoek naar organische contaminanten zou moeten bestaan uit chemische standaarden met een hoge zuiverheid en een hoge concentraties. Aanvullende informatie die aanwezig moet zijn is de commerciële beschikbaarheid, leveranciers, IUPAC-nomenclatuur, SMILE, InChI en InChIKeys, CAS-nummer, chemische formules, en eventueel andere nuttige chemische schrijfwijzen omvatten. Referentiestandaarden zijn van groot belang voor de identificatie van verbindingen en zijn noodzakelijk voor de kwantificering van deze chemische stoffen in diverse milieu- en menselijke matrices. Het ontbreken van dergelijke standaarden of van informatie over deze standaarden is vaak de beperkende factor bij dit soort onderzoek.



Standaarden zijn vaak moeilijk commercieel verkrijgbaar, vooral voor verontreinigende stoffen die van opkomende zorg zijn. Bovendien is aangepaste synthese door partnerlaboratoria duur en tijdrovend, waardoor deze optie vaak niet haalbaar is, vooral voor individuele laboratoria. De Vlaamse overheid zal naar alle waarschijnlijkheid een betere onderhandelingspositie hebben dan individuele laboratoria om dergelijke standaarden aan te schaffen.

Een centrale Vlaamse databank en opslagplaats van referentiestandaarden zal ook het aantal verbindingen verhogen dat in (suspect en non-target) screeningstudies kan worden geïdentificeerd. Wat een op zijn beurt leidt tot een beter beeld van de blootstelling aan verontreinigende stoffen in Vlaanderen. Bovendien, als de Vlaamse overheid dergelijke standaarden in komende projecten zou kunnen voorzien, zou dit de competitiviteit tussen de laboratoria die willen deelnemen aan dit project kunnen verhogen.

#### 4.2.1.1 Afkortingen

|                  |                                                                         |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>2,4-DNP</b>   | 2,4-dinitrofenol                                                        |
| <b>ADI</b>       | Aanvaardbare dagelijkse inname                                          |
| <b>AP's</b>      | Alternatieve weekmakers                                                 |
| <b>CEC</b>       | Contaminanten van opkomende zorg                                        |
| <b>CL</b>        | Betrouwbaarheidsniveau                                                  |
| <b>COPD</b>      | Chronisch obstructieve longziekte                                       |
| <b>CPDat</b>     | Databank voor chemische stoffen en producten                            |
| <b>DEHA</b>      | Bis(2-ethylhexyl)adipaat                                                |
| <b>DEHP</b>      | Diethylhexylftalate                                                     |
| <b>DF</b>        | Aantoonbaarheidsfrequentie                                              |
| <b>DiDP</b>      | Diisodecyl ftalaat                                                      |
| <b>DiNP</b>      | Diisononyl ftalaat                                                      |
| <b>DnBP</b>      | Di-n-butyl ftalaat                                                      |
| <b>DPHP</b>      | Difenylwaterstoffosfaat                                                 |
| <b>EDTA</b>      | Ethyleendiaminetetra-azijnzuur                                          |
| <b>EHDPHP</b>    | Ethylhexyldifenylfosfaat                                                |
| <b>EHPHP</b>     | Ethylhexylfenylfosfaat                                                  |
| <b>FC</b>        | Fold change                                                             |
| <b>FDA</b>       | Amerikaanse Food and Drug Administration                                |
| <b>Gluc-MEHA</b> | Glucuronide mono(2-ethylhexyl)adipaat                                   |
| <b>HBM</b>       | Humane biomonitoring                                                    |
| <b>IS</b>        | Gelabelde interne standaarden                                           |
| <b>LC-HRMS</b>   | Vloeistofchromatografie gekoppeld aan hoge resolutie massaspectrometrie |
| <b>MEHP</b>      | Monoethylhexylftalate                                                   |
| <b>MiDP</b>      | Monoisodecyl ftalaat                                                    |
| <b>MiNP</b>      | Monoisononyl ftalaat                                                    |
| <b>MnBP</b>      | Mono-n-butyl ftalaat                                                    |
| <b>OP's</b>      | Organofosfaat vlamvertragers                                            |
| <b>PCP</b>       | Personal care product                                                   |
| <b>PFAS's</b>    | Per- en polyfluoralkylstoffen                                           |
| <b>PM's</b>      | Polaire en mobiele stoffen                                              |
| <b>PMT</b>       | Potentieel toxisch PM                                                   |
| <b>QA</b>        | Kwaliteitsborging                                                       |
| <b>QC</b>        | Kwaliteitscontrole                                                      |

|                 |                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------|
| <b>TDCIPP</b>   | Tris(1,3-dichloor-isopropyl)fosfaat           |
| <b>U.S. EPA</b> | United states environmental protection agency |
| <b>UBA</b>      | Duitse milieugentschap                        |

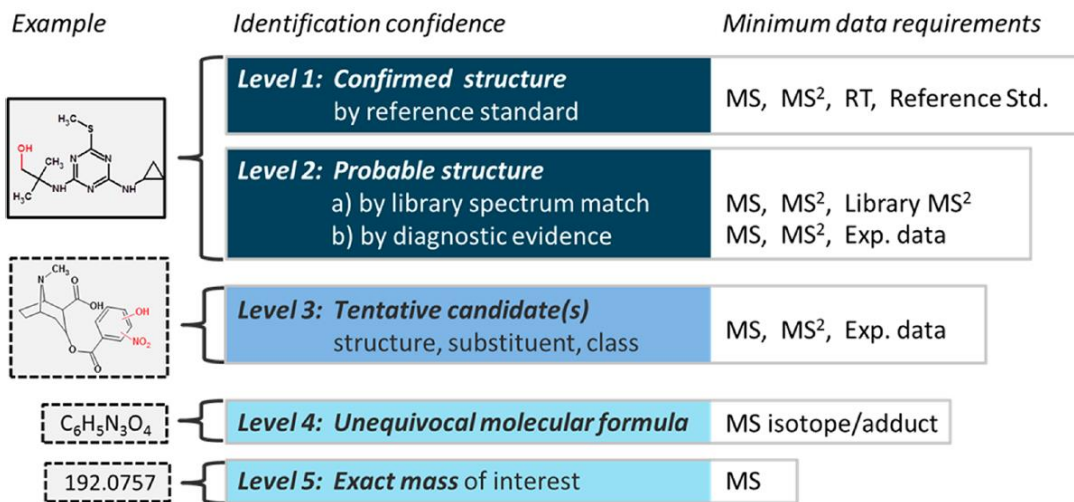
#### 4.2.1.2 Achtergrond

Humane biomonitoringstudies, zoals in de 4<sup>e</sup> cyclus van de Vlaamse Milieu en Gezondheid Studie (FLEHS IV, 2016-2020) (Schoeters et al. 2017), hebben tot doel de blootstelling van de mens aan milieuchemicaliën te beoordelen door het analyseren van in biologische stalen. Deze studies zijn van groot belang voor het verzamelen van kwantitatieve gegevens over de interne blootstelling aan bekende verontreinigende stoffen. Dergelijke chemische stoffen kunnen worden gemonitord op voorwaarde dat precieze informatie over de chemische identiteit van de analyten en de overeenkomstige referentiestandaarden beschikbaar zijn. In het kader van de laatste FLEHS-cyclus zijn bijvoorbeeld in verscheidene gerichte studies biomonitoringresultaten gerapporteerd voor bekende verbindingen uit diverse klassen, zoals ftalaten, alternatieve weekmakers, organofosfaat-vlamvertragers, polycyclische aromatische koolwaterstoffen, en andere (Bastiaensen, Gys, Colles, Malarvannan, et al. 2021; Bastiaensen, Gys, Colles, Verheyen, et al. 2021; Verheyen et al. 2021; Gys et al. 2021).

Hoewel deze studies onontbeerlijk zijn om kwantitatieve biomonitoringsgegevens te verkrijgen, laten target benaderingen veel onbekende of recent ontdekte chemische stoffen, gewoonlijk contaminanten van opkomende zorg (CEC's = contaminant of emerging concern) genoemd (Sauve en Desrosiers 2014), onopgespoord. Aangezien de toxiciteit van veel CEC's of hun invloed op het milieu en de mens nog niet goed worden begrepen, worden ze niet uitgebreid opgenomen in (bio)monitoringprogramma's. Daarom zijn aanvullende analytische benaderingen nodig om het vóórkomen van CEC's bij de mens te documenteren.

Verdachte screeningbenaderingen op basis van vloeistofchromatografie gekoppeld aan hoge resolutie massaspectrometrie (LC-HRMS) zijn waardevolle hulpmiddelen voor de identificatie van CEC's en hun metabolieten in menselijke stalen (Pourchet et al. 2020). LC-HRMS maakt de gelijktijdige verwerving van nauwkeurige-massagegegevens voor een groot aantal analyten mogelijk. Bovendien kunnen MS<sup>2</sup>-fragmentatiespectra aanvullende spectrale informatie verschaffen die wordt gebruikt voor de identificatie van verbindingen (Zedda en Zwiener 2012). De verkregen nauwkeurige massagegegevens kunnen vervolgens worden vergeleken met een vooraf gedefinieerde lijst van CEC's waarvan wordt vermoed dat ze in de monsters aanwezig zijn (verdachtenlijst). De lijst van verdachte stoffen kan ook metabolieten van CEC's bevatten die zijn voorspeld op basis van modificaties van bekende verontreinigende stoffen of bekende metaboliserings pathway, zodat bekende en onbekende verbindingen tegelijk kunnen worden opgespoord. Bovendien is deze analytische benadering gericht op het probleem dat milieucontaminanten vaak in gemetaboliseerde vorm in menselijke monsters aanwezig zijn. De opname van de oorspronkelijke verbindingen alleen kan dus leiden tot een groot aantal fout-negatieve detecties (del Mar Gómez-Ramos et al. 2011; Huntscha et al. 2014). Om het identificatievertrouwen te bespreken, werden de door Schymanski et al. (Schymanski et al. 2014) voorgestelde principes gebruikt (Figuur 21).





Figuur 21: Proposed identification confidence levels in high resolution mass spectrometric analysis. MS = mass spectrometry data; MS<sup>2</sup> = mass spectrometry fragmentation data; library MS<sup>2</sup> = fragmentation data matching library data; RT = retention time

Naast het matchen van accurate-massagegevens kunnen de verkregen MS<sup>2</sup>-spectra worden vergeleken met referentie massaspectrum bibliotheken of voorspelde MS<sup>2</sup>-spectra afgeleid van computergestuurde voorspellingstools (Kind et al. 2018; Djoumbou-Feunang et al. 2019; Ruttkies et al. 2016) om het identificatievertrouwen verder te vergroten. Optimaal kunnen binnen suspect screening studies betrouwbaarheidsniveaus tot 2 worden bereikt (Schymanski et al. 2014). Indien experimentele MS<sup>2</sup>-spectra ondubbelzinnig overeenkomen met referentiegegevens.

Hoewel de beschreven technieken een groot potentieel vertonen voor de identificatie van CEC's en hun metabolieten, moet bij de ontwikkeling van verdachte screeningbenaderingen rekening worden gehouden met verschillende beperkende factoren. Ondanks de voortdurende ontwikkelingen en uitbreiding van massaspectrumbibliotheken is de beschikbaarheid van MS<sup>2</sup>-referentiespectra van nieuwe CEC's en hun metabolieten beperkt, wat de identificatie van verbindingen met een hoge betrouwbaarheidsgraad belemmert (Oberacher et al. 2020; Stein 2012). De analyse van complexe menselijke matrices zoals urine, bloed of serum kan gepaard gaan met sterke matrixeffecten die leiden tot signaalonderdrukking en een verminderde detectie van exogene verbindingen. Dit is vooral een uitdaging omdat deze laatste in lage concentraties aanwezig zijn (sub ng/mL-niveaus) en bovendien kunnen worden onderdrukt door endogene verbindingen, die normaliter hogere concentraties vertonen (Hu et al. 2019; Raposo en Barceló 2021).

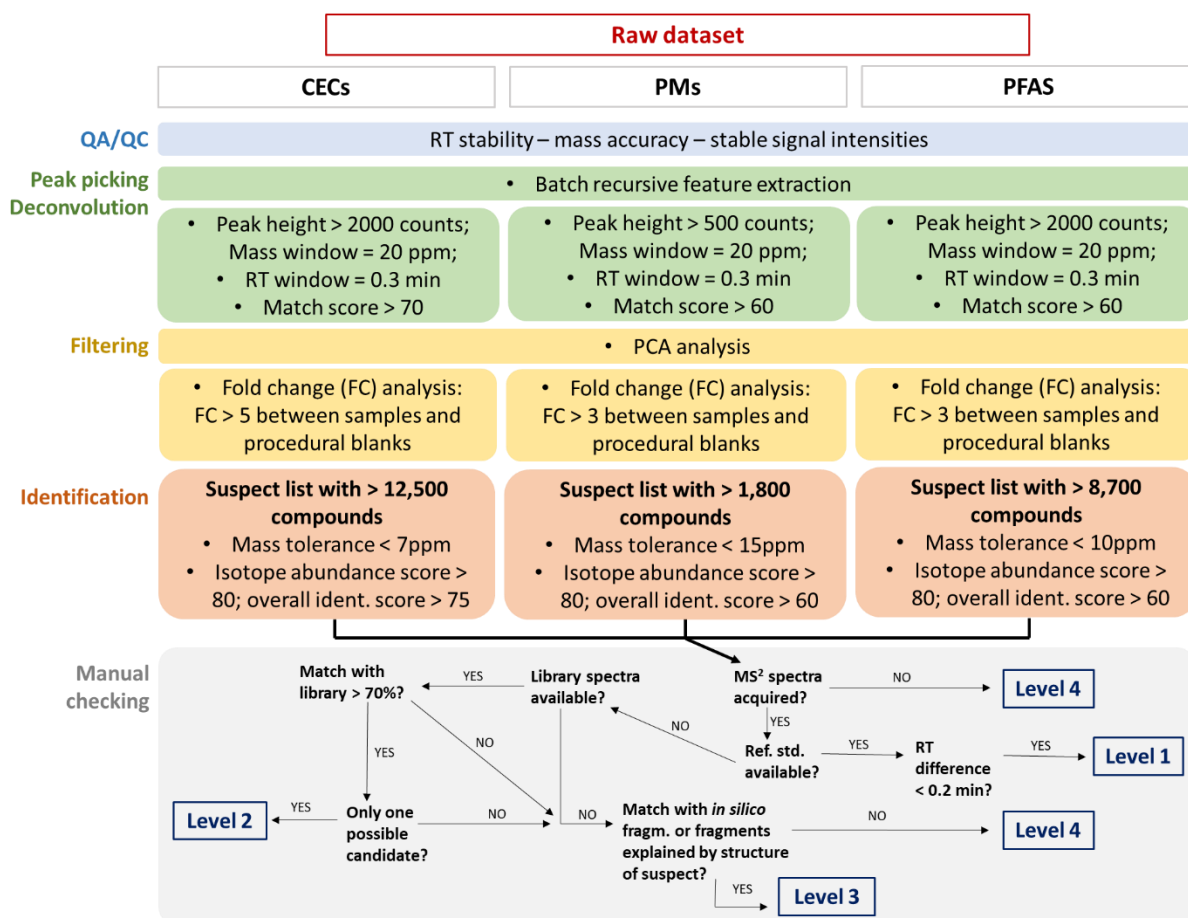
#### 4.2.1.3 Aanpak

Uitgebreide optimalisatie van elke analyse stap is van cruciaal belang om betrouwbare resultaten voor het screenen van verdachte componenten te verkrijgen. Dit probleem is aangepakt in een eerdere pilotstudie die tijdens FLEHS IV is uitgevoerd door Caballero-Casero et al. (Caballero-Casero et al. 2021). In deze studie is een uitgebreide verdachte screeningaanpak beschreven voor de detectie van CEC's en hun metabolieten in urinemonsters. Deze aanpak werd in de huidige studie verder geoptimaliseerd. Twee verschillende monstervoorbereidingsmethoden werden toegepast, rekening houdend met de verschillende fysisch-chemische eigenschappen van de verbindingen. Er werd een monstervoorbereidingsmethode ontwikkeld die per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS's) en de polaire en mobiele stoffen (PM's) (e.g. Paracetamol, Edetic acid, Trifluoroacetic acid, 4-aminophenol) combineert, alsook een methode voor CEC's van verschillende samenstellingsklassen, zoals (alternatieve) weekmakers, organofosfaat-vlamvertragers, synthetische antioxidanten, UV-lichtstabilisatoren, pesticiden, en andere.

Bij de monstervoorbereidingsmethode voor CEC's werd enerzijds gebruik gemaakt van vaste fase extractie met behulp van Captiva® -non-drip-patronen (Agilent Technologies). Anderzijds werd voor de PM/PFAS-monstervoorbereidingsmethode vloeistof-vloeistofextractie toegepast met behulp van ethylacetaat/isopropanol (95:5, v/v). Na de optimalisatie van de staalvoorbereiding werden de analysemethoden gebaseerd op LC-HRMS geoptimaliseerd.

De geoptimaliseerde methoden werden vervolgens toegepast op urinemonsters van 83 Vlaamse adolescenten die deelnamen aan de FLEHS IV (2016-2020), met als doel de identificatie van componenten en hun metabolieten van CEC's, verontrustende PM's en een brede waaier van PFAS. Deze verbindingen waren niet opgenomen in eerdere gerichte biomonitoringstudies van de FLEHS. Voor zover wij weten, is dit de eerste toepassing van een verdachte screeningaanpak voor PM's en opkomende PFAS in menselijke urine en zal dit helpen om de bestaande kennis leegte op te vullen en onze kennis over menselijke blootstelling aan PM's en opkomende PFAS te vergroten.

Er werden twee lijsten met verdachte stoffen opgesteld: een lijst voor de PM's/PFAS's, en een lijst met CEC's uit de verschillende klassen verbindingen. Bovendien werden metabolieten van alle opgenomen moederverbindingen voorspeld en aan beide verdachte lijsten toegevoegd. Deze metabolieten werden bepaald overeenkomend met volgende biologische chemische reacties hydroxylering (fase I), glucuronidering en methylering (alle fase II). Dit resulteerde in een PFAS/PM-verdachtenlijst met > 10.000 stoffen en een CEC-verdachtenlijst met > 12.500 stoffen. De gegevensanalyse van de monsters werd uitgevoerd zoals aangegeven in Figuur 22.



Figuur 22: Diagram containing the different steps, cut-off values and criteria used in the suspect screening workflow for the detection and identification of CECs in human urine.

Afgezien van de identificatie van nieuwe verbindingen was de voorgestelde hypothese dat deelnemers met hogere concentraties van gerichte verontreinigende stoffen in de FLEHS IV ook worden blootgesteld aan een grotere verscheidenheid van (opkomende) chemische stoffen die nog moeten worden geïdentificeerd via de verdachte screening methode. Voor de cohort dat in FLEHS IV werd onderzocht (600 adolescenten), waren kwantitatieve gegevens over de blootstelling aan een reeks bekende verontreinigende stoffen beschikbaar, aangezien de monsters al zijn onderzocht in het kader van eerdere gerichte biomonitoringstudies (Bastiaansen, Gys, Colles, Malarvannan, et al. 2021; Bastiaansen, Gys, Colles, Verheyen, et al. 2021; Verheyen et al. 2021; Gys et al. 2021). Voor elke verbinding werd aan de monsters de waarde 0 toegekend als de overeenkomstige analyten concentratie onder de voor alle monsters berekende mediaan lag en de waarde 1 als de concentratie boven die mediaan lag. De som van alle toegekende waarden komt overeen met de blootstellingsbelasting zoals berekend door Buekers et al. (Buekers et al. 2021). De blootstellingsbelasting vat dus de totale blootstelling aan verontreinigende stoffen samen die in eerdere kwantitatieve studies zijn opgenomen. De beschikbare blootstellingsbelastingen werden gebruikt om de 83 monsters te selecteren, met als doel twee groepen te verkrijgen in de uiteindelijke steekproef-set, namelijk één met hoge en één met lage blootstellingsbelasting, respectievelijk. Naast de blootstellingsbelasting werden de monsters geselecteerd op basis van een gelijke geslachtsverdeling, met 47 mannelijke en 36 vrouwelijke urinemonsters. Daarom wilden we nagaan of er een verschil is in blootstellingsprofiel op basis van detectiefrequentie tussen jongens en meisjes en tussen deelnemers met een hoge of lage blootstellingsbelasting.

#### 4.2.1.4 Resultaten

In deze studie werden drie verschillende analysemethoden voor verdachte screening van CEC's, PM's en PFAS in urinemonsters verder geoptimaliseerd aan de hand van twee verschillende monstervoorbereidingsmethoden. De resultaten van de kwaliteitscontrole (QC) en -borging (QA) van de analyse, de toepassing van de ontwikkelde verdachte screening-aanpak en de statistische analyse worden in de volgende paragrafen gepresenteerd.

##### *QC/QA van de analysemethoden*

Als controle van de MS-prestaties werden tijdens de analyse referentiemassa-ionen gecontroleerd die in alle analysepartijen stabiele signalen vertoonden. Met de interne gelabelde standaarden (IS) verrijkte mengmonsters en met niet gelabelde verbindingen verrijkte watermonsters zijn ook geanalyseerd met het oog op kwaliteitscontrole, waarbij goede resultaten zijn geboekt wat betreft massanauwkeurigheid, consistentie van de retentietijd, overeenkomst van het isotopenpatroon en fragmentidentificatie.

Bovendien werd de verontreiniging tijdens de monstervoorbereiding en de instrumentele analyse gecontroleerd door de analyse van respectievelijk procedure- en oplosmiddelblanco's. In blancomonsters werden geen PM's en PFAS's aangetroffen. Bij de analyse van CEC's was er slechts in één procedureblanco detectie van contaminanten. Aangezien de andere procedureblanco's van deze partij en de andere QC-monsters niet verontreinigd waren, werd de partij in haar geheel verder verwerkt.

Alle urinemonsters werden verrijkt met gelabelde interne standaarden (IS) van elke chemische familie. Alle IS van PFAS's en PM's werden in alle urinemonsters gedetecteerd, terwijl de detecteerbaarheid van de IS van CEC's gemiddeld 95% was. Een complexe combinatie van factoren, zoals de ionisatie- en Q-TOF-gevoeligheid, monstervoorbereiding en matrixeffecten, kan van invloed zijn geweest op de detectiefrequentie voor sommige IS van CEC's. De retentietijden van IS in de urinemonsters waren consistent gedurende de gehele analytische sequenties (standaardafwijking tussen 0,01 en 0,1 minuut).





## Analyse van de verdachte screening

### QA/QC

CEC's die in de doelstudies van FLESH IV werden gedetecteerd en een bijna-absolute detectiefrequentie hadden, werden geselecteerd als positieve controle voor de verdachte screeningaanpak die in deze studie werd gebruikt (Bastiaensen, Gys, Colles, Malarvannan, et al. 2021; Bastiaensen, Gys, Colles, Verheyen, et al. 2021; Verheyen et al. 2021; Gys et al. 2021). Al deze 10 verbindingen werden gedetecteerd, maar met lagere detectiefrequenties als gevolg van de lagere gevoeligheid van de methode, wat leidde tot CL's van minder dan 3 voor de meeste verbindingen (afwezigheid van fragmentatiespectra).

Voor blanco controlemonsters van CEC's werd het aantal kenmerken geteld dat overeenkwam met de verdachtenlijst. Voor blanco's met oplosmiddelen waren er 175 positieve en 135 negatieve kenmerken. Voor procedurele blanco's werden 543 en 1011 kenmerken gedetecteerd in respectievelijk positieve en negatieve polariteit. Het hoge aantal gedetecteerde kenmerken kan worden toegeschreven aan de complexiteit van de matrix en de lage abundantie cut-off bij de gegevensanalyse.

Voor procedurele blanco's van PFAS en PM's kwam slechts één kenmerk overeen met de lijst van verdachte PFAS, terwijl alle kenmerken overeenkwamen met die van PM's. Op basis van het onderzoek werd de procedurele blanco toegepast voor blanksubtractie met een fold change (FC) waarde van 3.

Er werd een FC toegepast om de in de monsters aanwezige achtergrondkenmerken af te trekken. Dit was gebaseerd op de gemiddelde abundantie van de procedurele blanco voor een feature. Een feature van een monster werd geëlimineerd als de abundantie ervan minder dan 5 keer (3 keer voor PFAS en PM's) hoger was dan die van de procedurele blanco's. Kenmerken die het gevolg waren van achtergrondverontreiniging werden dus buiten beschouwing gelaten.

### Geïdentificeerde stoffen

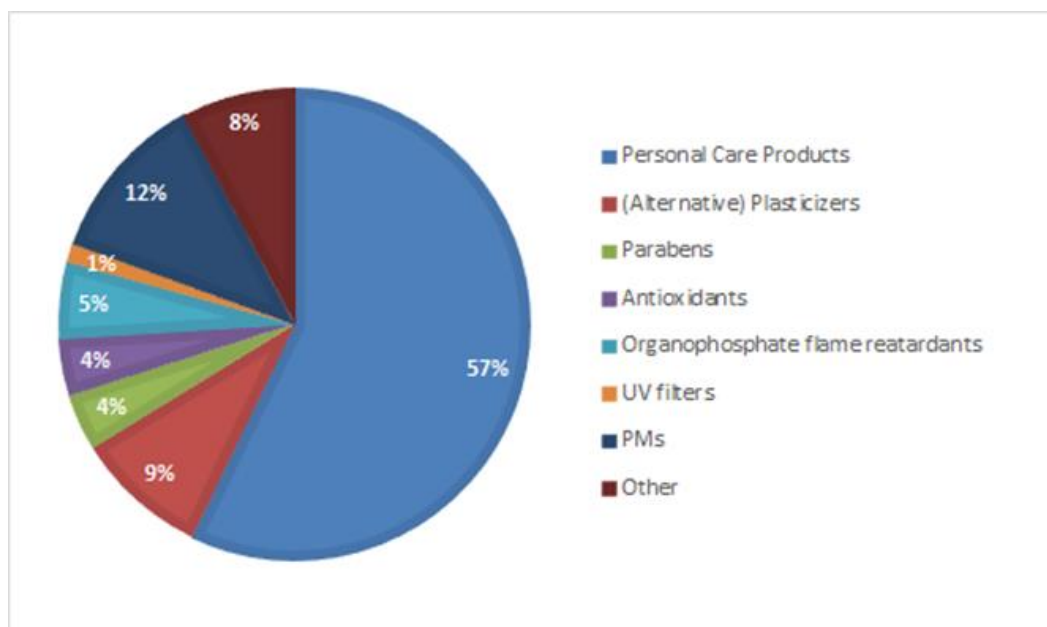
Na optimalisering van de methode en evaluatie van de QA/QC-resultaten werden de monsters geanalyseerd volgens de in figuur 22 beschreven procedure. Pie picking werd uitgevoerd met behulp van het "Batch recursive feature extraction" algoritme in de Profinder software (Agilent Technologies, Santa Clara, USA). De parameters voor peak picking (RT-venster, massatolerantie) werden ingesteld op basis van de RT-afwijkingen en massacorrecties die voor QC-monsters en in urinemonsters verrijkte IS werden waargenomen. De drempelwaarde voor de abundantie van de kenmerken werd op een lage waarde ingesteld om te voorkomen dat weinig voorkomende kenmerken die zouden kunnen overeenkomen met relevante contaminanten of hun metabolieten die in lage concentraties aanwezig zijn, verloren gaan. Elke verbinding werd manueel gecontroleerd om een betrouwbaarheidsniveau voor de identificatie toe te kennen, volgens de overwegingen in figuur 22. In deze studie worden alleen verbindingen gerapporteerd waaraan een betrouwbaarheidsniveau (CL) van 3 of lager is toegekend in ten minste één monster, aangezien de toekenning van CL 4 alleen een voorlopige rapportage van een molecuulformule mogelijk maakt zonder aanvullende informatie over de structuur van de (potentiële) verontreinigende stof. Een dergelijke tentatieve rapportering viel buiten het bestek van deze studie en zou geen interpretatie van de potentiële schadelijke effecten van de onduidelijk geïdentificeerde verontreinigingen mogelijk maken.

Het selecteren van de aangemaakte verdachtenlijsten met de gefilterde reeks kenmerken leverde in totaal 163 hits op voor PFAS, 3.483 hits voor CEC's, en 113 hits voor PM's. Daarbij was het aantal gematchte verbindingen lager, aangezien verscheidene verbindingen bij verschillende retentietijden meerdere malen in de gerapporteerde lijst van treffers voorkwamen.



Bovendien moet een probleem bij de toekenning van betrouwbaarheidsniveaus voor de identificatie van glucuronideerde metabolieten besproken worden. Aangezien de meeste glucuroniden in de CECs suspect list zijn afgeleid van de voorspelling van metabolieten, kon geen van de geïdentificeerde glucuronideerde metabolieten worden toegewezen met CL2 omdat er geen bibliotheek spectra beschikbaar waren.

Na handmatig onderzoek van alle geselecteerde kandidaten, kunnen 77 verbindingen worden gerapporteerd met een CL van 3 of lager. Deze verbindingen behoorden tot acht verschillende samenstellingsklassen zoals samengevat in figuur 23. Deze klassen omvatten producten voor persoonlijke verzorging (57%), PM's (12%), (alternatieve) weekmakers (9%), organofosfaat-vlamvertragers (5%), synthetische antioxidanten (5%), parabenen (4%), UV-filters (1%) en overige (8%). Als gevolg van slechte piekvormen, lage matching-scores afgeleid van onduidelijke MS-isotopenpatronen, en niet-matchende MS/MS-fragmentatiepatronen, werden geen PFAS geannoteerd met een CL hoger dan 4. Deze bevinding suggereert dat urine niet de meest geschikte matrix is voor biomonitoring van PFAS, zodat andere matrices zoals serum of plasma voor dat doel moeten worden gebruikt.



Figuur 23: Overview of the compound classes which were included in the 77 compounds detected in urine samples.

Van de 77 geïdentificeerde verbindingen konden er 15 worden ingedeeld bij CL2 of CL1; deze zijn samengevat in Tabel 24 met vermelding van hun naam, formule, RT, verbindingssklasse, CL's en aantoonbaarheidsfrequentie (DF). Van de samengevatte verbindingen kunnen er zeven worden ingedeeld in de klasse van persoonlijke verzorgingsproducten (PCP's). Voor elk van deze verbindingen is het gebruik binnen PCP's opgezocht in de databank voor chemische stoffen en producten (CPDat).

Sommige van de vermelde verbindingen kunnen afkomstig zijn van andere bronnen dan PCP's. Zo kunnen bijvoorbeeld theobromine, theofylline, riboflavine en pantothenaat ook als plantaardige metabolieten in levensmiddelen voorkomen (Kim et al. 2021), vooral omdat de laatste twee respectievelijk vitamine B2 en B5 vertegenwoordigen. Dit biedt een verklaring voor de detectie in de meeste monsters. Bovendien is theofylline een receptgeneesmiddel als bronchodilatator voor astma en chronisch obstructieve longziekte (COPD) (Chronic obstructive pulmonary disease in over 16s: diagnosis and management 2018; Asthma: diagnosis, monitoring and chronic asthma management 2017).

Benzylalcohol wordt gebruikt als een antimicrobieel conserveermiddel bij de productie van parfums en andere cosmetische producten. Het gebruik kan blootstelling van de mens aan deze verbinding veroorzaken, wat resulteert in de detectie ervan in alle monsters, waarvan 97,6% bij CL 2. Benzylalcohol wordt gewoonlijk gebruikt als biomarker van blootstelling aan toluen in beroepsonderzoeken. Bovendien is bekend dat toluen een negatieve invloed heeft op het centrale zenuwstelsel (EPA, 2012). De Europese Unie heeft het gebruik van benzylalcohol als conserveermiddel beperkt boven de concentratie van 1% en de WHO heeft een aanvaardbare dagelijkse inname (ADI) van 5 mg/kg vastgesteld. Benzylalcohol wordt als giftig beschouwd, zowel bij inademing als bij toediening via de ogen. Het kan leiden tot niet-immunologische huidreacties bij de mens. Quinoline werd gedetecteerd met een DF van 25,3% bij CL 2 en 34,9% bij CL 4. Blootstelling kan plaatsvinden via sigarettenrook. Het wordt voornamelijk gebruikt als tussenproduct in de chemische industrie. Het is een vermoedelijk carcinogeen voor de mens en heeft een hoge acute toxiciteit zoals gerapporteerd door het United States Environmental Protection Agency (EPA) (EPA 2016). 8-hydroxy-quinoline werd gedetecteerd in alle monsters waarvan 94% bij CL 2. 8-hydroxy-quinoline heeft biocide-activiteiten en wordt gebruikt als een antischimmelbestrijdingsmiddel. De EU heeft een ADI van 0,05 mg/kg (Europees) vastgesteld.

Ethylhexylfenylfosfaat (EHPHP) is een specifieke metaboliet van ethylhexyldifenylfosfaat (EHDPHP). Difenylwaterstoffosfaat (DPHP) is een niet-selectieve metaboliet van EHDPHP (Van den Eede et al. 2016). EHDPHP wordt gebruikt als weekmaker in materialen die in aanraking komen met levensmiddelen en als onderdeel van de organofosfaat vlamvertrager. Andere mogelijke bronnen van EHDPHP zijn textiel, rubber, hydraulische vloeistoffen, lakken, cellulose, elektronische kabels, thermoplastische kunststoffen en bouwmaterialen. Blootstelling van de mens aan EHDPHP is voornamelijk het gevolg van de inname van besmet voedsel.

Bis(1,3-dichloor-isopropyl)fosfaat (BDCIPP) is een specifieke metaboliet van tris(1,3-dichloor-isopropyl)fosfaat (TDCIPP). TDCIPP is een organofosfaat-vlamvertrager in flexibel en hard polyurethaanschuim dat in gestoffeerde meubelen wordt aangetroffen, maar het kan ook worden gebruikt als vlamvertrager in decoratieve materialen. De belangrijkste bron van blootstelling aan TDCIPP is naar verwachting stofinname, terwijl voedselinname minder relevant is. TDCIPP is door de WHO ingedeeld als verdacht carcinogeen, waarbij tumorgroei is waargenomen in de nieren, lever, schildklier, hersenen en teelballen. Bij de mens is blootstelling aan TDCIPP in verband gebracht met een daling van de spermaconcentratie en het schildkliergehalte en met atopische dermatitis. De detectie van metabolieten van organofosfaat vlamvertragers (OP's) is in overeenstemming met eerdere resultaten van doelonderzoeken, aangezien deze metabolieten eerder zijn gerapporteerd in de urine van Vlaamse adolescenten (Bastiaensen et al., 2021). Dit bevestigt de alomtegenwoordige blootstelling aan deze klasse van verbindingen.

Tabel 24: Summary of compounds detected at confidence level 1 or 2. For each compound the name, formula, RT, detection polarity, CL, compound class and detection frequency (DF) are indicated. If the applied method did not allow the distinction between isomers, all possible candidates are indicated.

| Name                   | Formula                                        | RT [min] | Polarity | CL | Compound Class                                               | DF [%]                 |
|------------------------|------------------------------------------------|----------|----------|----|--------------------------------------------------------------|------------------------|
| Trifluoroacetic acid   | C <sub>2</sub> HF <sub>3</sub> O <sub>2</sub>  | 3.39     | -        | 1  | Perfluoroalkyl substance and persistent en mobile chemical   | 30.1 (CL1)             |
| 4-hydroxy-benzaldehyde | C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>   | 2.89     | -        | 2  | personal care products (flavoring agent, fragrance)          | 36.1 (CL2); 49.4 (CL4) |
| L-/D-Pantothenate      | C <sub>9</sub> H <sub>17</sub> NO <sub>5</sub> | 2.75     | -        | 2  | personal care products (hair and skin care products)         | 68.7 (CL2); 16.9 (CL4) |
| Catechol               | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>   | 3.55     | -        | 2  | personal care products (synthesis of flavors and fragrances) | 100 (CL2)              |



| Name                                  | Formula                                                         | RT [min] | Polarity | CL | Compound Class                                                        | DF [%]                 |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------|----------|----|-----------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Benzyl alcohol                        | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O                                 | 4.74     | -        | 2  | personal care products (u fragrance component, preservative, solvent) | 97.6 (CL2); 2.4 (CL4)  |
| Diphenyl hydrogen phosphate           | C <sub>12</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> P                | 6.02     | -        | 2  | Organophosphate flame retardants – metabolite                         | 43.4 (CL2)             |
| bis(1,3-dichloro-isopropyl) phosphate | C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> Cl <sub>4</sub> O <sub>4</sub> P | 6.56     | -        | 2  | Organophosphate flame retardants – metabolite                         | 25.3 (CL2)             |
| 2-ethylhexyl phenyl phosphate         | C <sub>14</sub> H <sub>23</sub> O <sub>4</sub> P                | 7.67     | -        | 2  | Organophosphate flame retardants – metabolite                         | 1.2 (CL2)              |
| Riboflavin                            | C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> N <sub>4</sub> O <sub>6</sub>   | 4.92     | +        | 2  | personal care products HBM4EU (cosmetic colorant)                     | 18.1 (CL2); 39.8 (CL4) |
| Theobromine                           | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub>     | 3.78     | +        | 2  | personal care products HBM4EU (skin conditioning)                     | 84.3 (CL2)             |
| Theophylline                          | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub>     | 4.17     | +        | 2  | personal care products HBM4EU (skin conditioning)                     | 63.9 (CL2)             |
| Phthalic anhydride                    | C <sub>8</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub>                    | 4.88     | +        | 2  | Plasticizers                                                          | 6.0 (CL2); 74.7 (CL4)  |
| Quinoline Isoquinoline                | C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> N                                 | 4.99     | +        | 2  | Other                                                                 | 25.3 (CL2); 34.9 (CL4) |
| 8-Hydroxy-quinoline                   | C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> ON                                | 4.32     | +        | 2  | Other                                                                 | 94.0 (CL2); 6.0 (CL4)  |
| 4-Aminophenol                         | C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> NO                                | 2.68     | +        | 2  | Persistent en mobile chemical                                         | 6.0 (CL2); 9.6 (CL4)   |

In totaal werden 62 verbindingen geïdentificeerd in CL3: o.a. 41 PCP's, 7 PM's, 6 alternatieve weekmakers (AP's), 3 antioxidanten, 3 parabenen, 1 UV-filter en 1 vlamvertrager. Door het ontbreken van bibliotheekspectra van geconjugeerde metabolieten, waren de meeste verbindingen van niveau 3 voorspelde metabolieten (74%), waarbij glucuroniden de meest voorkomende waren (65%), gevolgd door gemethyleerde (6%) en gehydroxyleerde (3%) verbindingen. De meest relevante bevindingen en verbindingen die op niveau 3 met een hoog DF zijn geïdentificeerd, worden in de volgende paragrafen besproken.

Onder de PCP's werden zowel benzylalcohol (CL 2) als de glucuronide metaboliet daarvan (CL 3) aangetroffen in respectievelijk 98% en 80% van de urinemonsters, hetgeen wijst op een hoge blootstelling van de doelpopulatie aan deze toxische stof. 2-Amino-4-nitrofenol en/of zijn isomeren werden in 75% van de urinemonsters aangetroffen. Als PCP-bestanddelen worden 2-amino-4-nitrofenol-isomeren gebruikt bij het verven van haar. Daarnaast zijn het ook urinaire metabolieten van 2,4-dinitrofenol (2,4-DNP), dat vooral wordt gebruikt bij de vervaardiging van kleurstoffen en houtconserveringsmiddelen, en als pesticide (Kim et al., 2021). 2,4-DNP is door het United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) geclassificeerd als een prioritaire verontreinigende stof, omdat er bewijs is voor de negatieve effecten ervan op mensen, zoals een stijging van de lichaamstemperatuur en de basale stofwisselingsnelheid (EPA, 2014). Het is echter nog niet opgenomen in biomonitoringsprogramma's voor mensen.

L-/D-Pyroglutaminezuur wordt gebruikt als bevochtigingsmiddel en vochtinbrenger in cosmetische producten (lichaamsreinigers, douchegels, etc.). In hoge doses kan het metabolische acidose induceren, met meerdere nadelige effecten op vele orgaansystemen (Wishart et al., 2022). Deze stof werd in bijna 99% van de urinemonsters aangetroffen, wat aantoont dat adolescenten op grote schaal aan deze stof worden blootgesteld. Er moet echter rekening mee worden gehouden dat het ook in levensmiddelen kan worden aangetroffen, en dat het ook een (ongewoon) aminozuurderivaat is (Wishart et al., 2022).

Een andere relevante bevinding was dat het glucuronideconjugaat van 4-hydroxyindool en/of de isomeren daarvan in 100% van de monsters werden opgespoord, hoewel slechts in 2% daarvan fragmentatiespectra werden gevonden.

////////////////////////////////////

Dit kan te wijten zijn aan een lage concentratie van deze metabolieten in de meeste urinemonsters. Hydroxyindoolisomeren worden als veilig beschouwd voor gebruik in haarkleurstoffformuleringen (Burnett et al., 2014).

Het zijn echter ook urinemetabolieten van indool, een aromatische verbinding die vaak wordt gebruikt in levensmiddelenadditieven, schoonmaakmiddelen en parfums (Kim et al., 2021), die toxische effecten op longen en slijmvlies kunnen veroorzaken (Wishart et al., 2022).

Een ander PCP dat in 100% van de urinemonsters werd aangetroffen was 1-Naftylamine (45% bij CL3), een aromatisch amine dat door het IARC als niet carcinogeen wordt beschouwd (Groep 3) (IARC, 2022). Het is een bestanddeel van kleurstoffen, antioxidanten, herbiciden en andere chemicaliën, en het werd opgenomen in de lijst van schadelijke en mogelijk schadelijke bestanddelen in tabaksproducten en tabaksrook, gepubliceerd door de Amerikaanse Food and Drug Administration (FDA) (FDA, 2012). 1- en 2-Naftylamine worden normaliter gebruikt als biomarkers van blootstelling aan amino en nitro polycyclische aromatische koolwaterstoffen in HBM studies (He et al., 2021; Niu, et al., 2018; Yu et al., 2020). Andere hoog gedetecteerde PCP-metabolieten waren het oxidatieproduct van 1-N-(2-methoxyethyl)benzeen-1,4-diamine (DF = 76% bij CL3), en de glucuronide van 2-carboxyethylacrylaat (DF = 94% bij CL3), waarvan bekend is dat het wordt gebruikt in nagelverzorgingsproducten.

Onder de parabenen waren de meest voorkomende metabolieten de gemethyleerde producten van butylparabeenisomeren, met een DF van 81%. In de literatuur werd echter geen informatie gevonden over methylering van parabenen in het menselijk lichaam.

Wat AP's betreft, werden bis(2-ethylhexyl)adipaat metabolieten (DEHA) (Gluc-MEHA, 5-OH-MEHA en Gluc-5-OH-MEHA) op niveau 3 geïdentificeerd met DF's variërend van 6 - 24%. Deze DF's zijn in overeenstemming met de beoogde resultaten van de FLEHS IV: 5-OH-MEHA en MEHA werden in minder dan 30% van de monsters gekwantificeerd (Buekers et al., 2021). DEHA wordt door het IARC niet geclassificeerd als kankerverwekkend voor de mens (Groep 3) (IARC, 2022). In vergelijking met de meest aangetroffen doelverbindingen van de FLEHS-studie (DF's > 30%) werden alleen glucuronideerde conjugaten van ftalaten (MEHP, MnBP, MiDP en MiNP, die metabolieten zijn van respectievelijk DEHP, DBP, DiDP en DiNP) gevonden op niveau 3 met DF's tussen 2 - 17%. Het verschil tussen deze DF's wordt verondersteld veroorzaakt te worden door de lagere gevoeligheid van de hier ontwikkelde verdachte screeningsaanpak, vergeleken met de gerichte methode die in de FLEHS-studie werd gebruikt.

Wat synthetische antioxidanten betreft, is dit het eerste onderzoek waarin de aanwezigheid van Irganox 1135 (in zijn glucuronideerde vorm) in menselijke urine wordt gerapporteerd (DF van 93% bij CL 3). In de literatuur zijn er alleen studies die zich richten op het voorkomen van Irganox 1135 in milieu- en consumentenproducten. Het werd gedetecteerd op microgram/gram niveau in huisstof en luchtdeeltjes, en het bleek bijzonder overvloedig aanwezig te zijn in autostoeltjes van kinderen (Wu et al., 2019). Meer toxicologische en HBM-studies naar de blootstelling van mensen aan deze antioxidant zijn nodig.

In totaal werden 7 PM's geïdentificeerd in CL3, met DF's variërend van 34 - 98%. Azijnzuur, beter bekend als ethyleendiaminetetra-azijnzuur (EDTA), was de kandidaat die het vaakst werd gedetecteerd (98%). Dit is in overeenstemming met de hoge productie, invoer en emissie van deze stof in het milieu in de Europese Unie, zoals gerapporteerd door het Duitse milieuoagentschap (UBA, 2019).



Wat betreft het voorkomen van deze stof in de menselijke urine, werd slechts één studie gevonden waarin urinaire concentraties van azijnzuur (50 - 80 ng/mL) bij mensen werden gerapporteerd (Sheppard en Henion, 1997). Tetrahydro-1,3-dimethyl-1H-pyrimidine-2-on, een industrieel oplosmiddel waarvan vermoed wordt dat het giftig is voor de voortplanting (ECHA, 2022), werd ook in de meeste monsters aangetroffen (92%).

M-(2,3-epoxypropoxy)-N,N-bis(2,3-epoxypropyl)aniline wordt gebruikt in verven en coatings, en in veel industriële toepassingen (Kim et al., 2021). Het werd voorlopig gedetecteerd in 77% van de urinemonsters. Hoewel deze chemische verbinding gezondheidsrisico's en irriterende reacties kan veroorzaken (Kim et al., 2021), werden er geen biomonitoringsstudies over menselijke blootstelling aan dit PM gevonden.

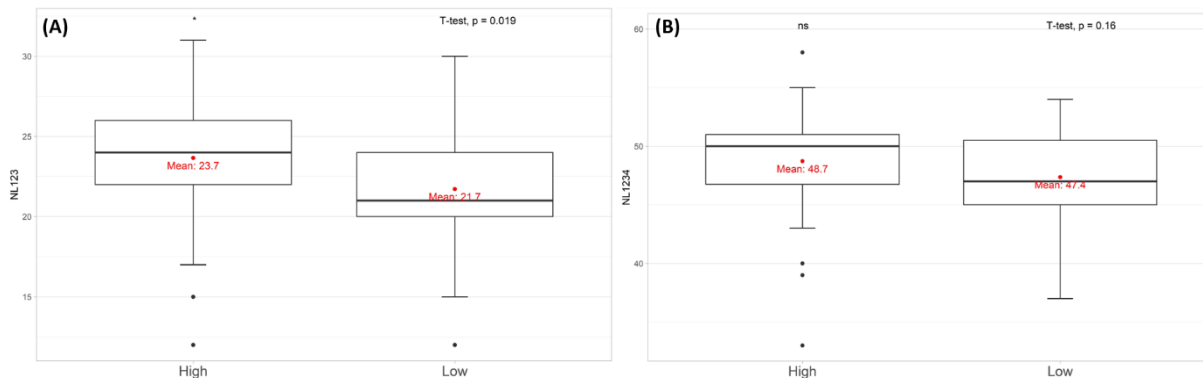
70% van de urinemonsters vertoonde detecteerbare niveaus van sulisobenzone, ook bekend als benzofenon-4, en 1,2-benzisothiazol-3(2H)-one 1,1-dioxide, bekend als sacharine. Sulisobenzone is een PM dat wordt gebruikt als UV-filter in cosmetica en verzorgingsproducten, vooral zonnefilters (González, 2014; Kang et al., 2016; Zucchi et al., 2011), en sacharine is een van de populairste kunstmatige zoetstoffen in verschillende voedingsmiddelen en dranken, vooral calorievrije dranken (Pang et al., 2020; Uçar en Yilmaz, 2015). Hoewel het ook op grote schaal wordt gebruikt in farmaceutische producten, maar ook als producten voor persoonlijke verzorging, conserveringsmiddelen, enz. Beide stoffen zijn geclassificeerd als potentieel toxisch PM (PMT) onder de UBA (UBA, 2019). Tot nu toe zijn er echter zeer weinig studies gepubliceerd die zich richten op menselijke blootstelling aan deze verbindingen door middel van urineanalyse (González, 2014; McChesney en Golberg, 1973). De informatie over het voorkomen van deze twee PM's in de algemene bevolking is dus zeer beperkt.

PM's gedetecteerd op niveau 3 met de laagste DF's waren ethylsulfaat (58%) en 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidon (34%). Ethylsulfaat wordt gebruikt in industriële en consumentenproducten. Daarnaast is het ook bekend als een direct-ethanolmetabool (Andrés-Costa et al., 2016; Wurst et al., 2006), dus wordt het meestal gebruikt als biomarker voor recente alcoholconsumptie in de algemene bevolking, patiënten en postmortale onderzoeken (Alsayed et al., 2022; Graham et al., 2017; Helander en Beck, 2004; Thierauf-Emberger et al., 2016; Wurst et al., 2006). 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidon wordt gebruikt in de chemische industrie, voornamelijk om zeer efficiënte lichtstabilisatoren voor kunststoffen te produceren, en het werd door het ECHA geclassificeerd als "schadelijk voor in het water levende organismen met langdurige gevolgen" (ECHA, 2022). In de literatuur zijn geen eerdere studies over 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidon in urine beschikbaar.

### Statistische analyse

De uitgevoerde statistische analyse was gericht op het testen van de hypothese dat de blootstelling aan milieuverontreinigende stoffen naar verwachting significant hoger zal zijn in de groep met een hoge blootstellingsbelasting. De hypothese was dat dit tot uiting zou komen in een hoger aantal geïdentificeerde verbindingen in de groep met hoge blootstellingsbelasting in vergelijking met de groep met lage blootstellingsbelasting. Om deze hypothese te testen werden two sample t-tests ( $p < 0,05$ ) uitgevoerd waarbij de hoge en lage blootstellingsgroepen werden vergeleken. Daarbij is de opname van verbindingen die bij CL1-3 zijn geïdentificeerd (dus met uitsluiting van CL4-verbindingen) vergeleken met de opname van alle geïdentificeerde verbindingen (CL1-4).





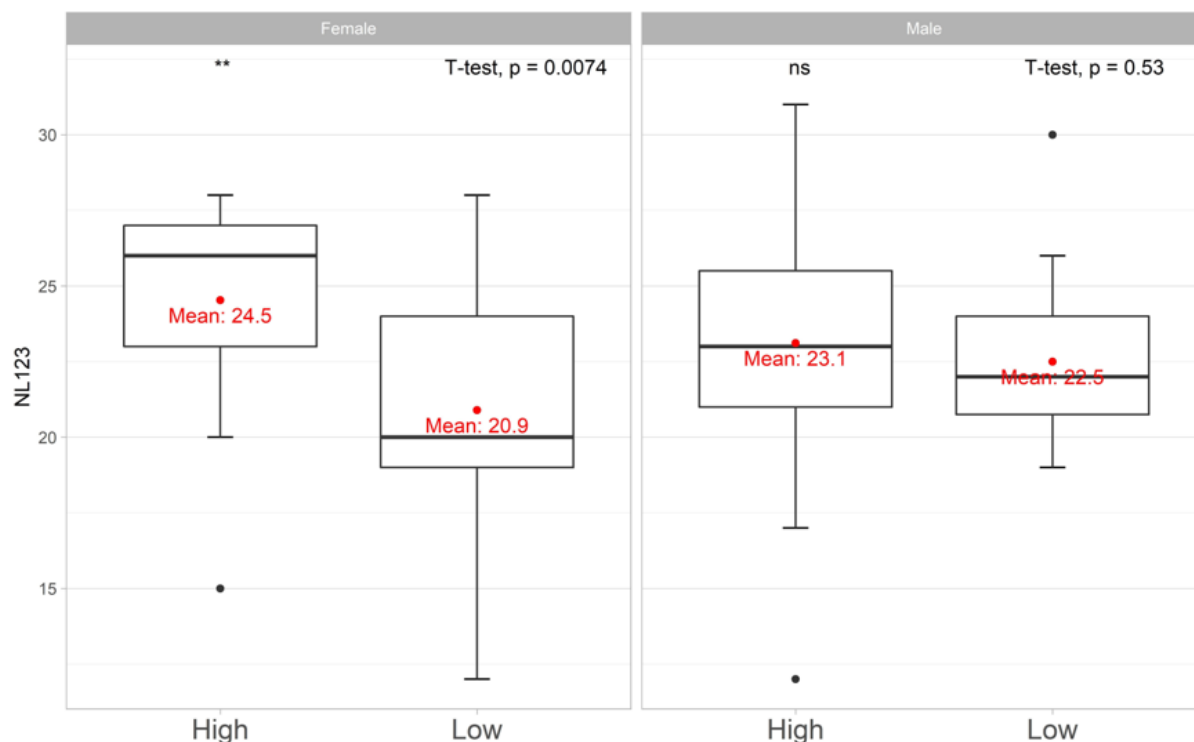
Figuur 24: Boxplots representing the number of identified compounds in the low and high exposure load groups. (A) Only compounds identified at confidence level 3 or lower are considered. (B) All compounds reported in this study (i.e. CL 1-4) are considered. \*significant difference between mean values ( $p < 0.05$ ); ns: not significant.

Figuur 24 toont de vergelijking tussen de hoge en lage blootstellingsgroepen. Wanneer alleen rekening wordt gehouden met verbindingen die bij CL1-3 worden gedetecteerd (figuur 25A), verschilt het aantal geïdentificeerde verbindingen significant ( $p = 0,019$ ) tussen de hoge en lage blootstellingsgroepen met gemiddelde waarden van 23,7 en 21,7, respectievelijk. Deze waarneming bevestigt de oorspronkelijke hypothese. Om verder te onderzoeken welke verbindingen bijdragen aan het waargenomen significante verschil, werd het aantal detecties bij CL1-3 vergeleken tussen de hoge en lage blootstellingsgroepen voor elke verbinding afzonderlijk. Van de 77 gerapporteerde verbindingen was het aantal detecties voor 51 verbindingen hoger in de hoge blootstellingsgroep, met een verschil van ten minste één. Er moet echter op gewezen worden dat het totale aantal monsters in de hoge blootstellingsgroep 44 bedroeg, terwijl de lage blootstellingsgroep 39 monsters bevatte. Voor de verbindingen waarvan de detectiefrequentie minder dan vijf detecties verschilde, zouden de waarnemingen dus vertekend kunnen zijn door de kleine verschillen in de steekproefgrootte. Toch werd aangenomen dat de verschillende monstergroottes niet tot een vertekening in de statistische analyses leiden, aangezien de toegepaste test de gemiddelde waarden van het aantal gedetecteerde verbindingen vergelijkt.

Van de 77 gerapporteerde verbindingen vertoonden er 16 een detectiefrequentie (bij CL3 of lager) die ten minste vijf detecties verschilde tussen de hoge en lage blootstellingsgroepen. Aangenomen werd dat deze verbindingen de grootste invloed hadden op de waargenomen verschillen tussen de blootstellingsgroepen en niet vertekend werden door de verschillen in steekproefomvang. Tien van de 16 verbindingen met de grootste invloed behoren tot de klasse van de persoonlijke verzorgingsproducten, hetgeen in overeenstemming is met het feit dat de meeste in deze studie gerapporteerde verbindingen tot deze groep behoren.

Er zij op gewezen dat een significant verschil tussen het aantal gedetecteerde verbindingen in de hoge- en de lage-blootstellingsgroep alleen kan worden waargenomen als de in CL4 gedetecteerde verbindingen buiten beschouwing worden gelaten. Dit leidt tot de veronderstelling dat de waargenomen verschillen vooral worden veroorzaakt door de hogere abundantie van de gerapporteerde verbindingen in de hoge blootstellingsgroepen en niet zozeer door hun afwezigheid in de lage blootstellingsgroep. Als gevolg van de toegepaste acquisitie-workflow (Auto MS/MS) worden kenmerken voor fragmentatie geselecteerd op basis van hun waargenomen abundanties. Een hogere abundantie leidt dus automatisch tot een hogere mogelijkheid om MS/MS-gegevens te verkrijgen en dus tot een hogere waarschijnlijkheid van een toewijzing van CL3 of CL2. Het feit dat geen significant verschil kan worden waargenomen als verbindingen geïdentificeerd op CL4 worden beschouwd (figuur 25B) bevestigt deze veronderstelling.





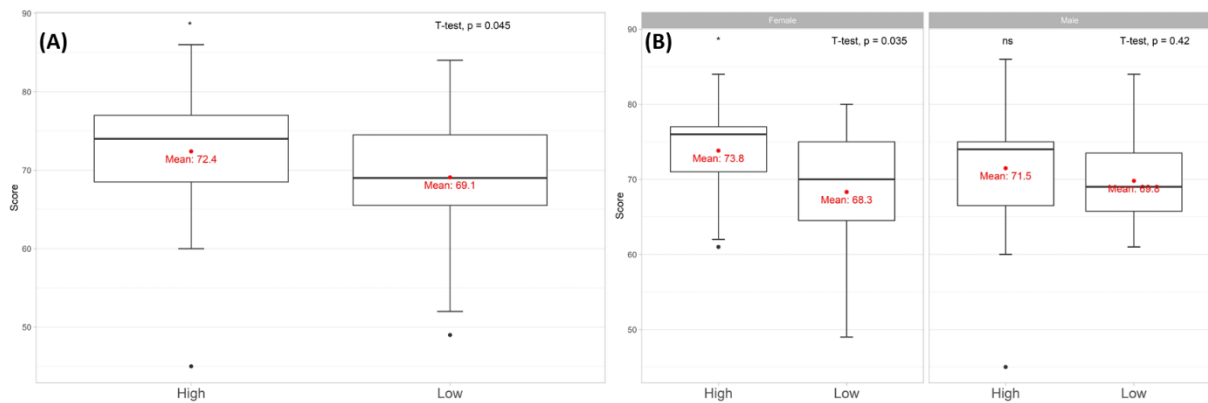
Figuur 25: Boxplots representing the number of identified compounds in the low and high exposure load groups. Each of the groups was divided based on gender. Only compounds identified at CL3 or lower are considered. (\*\*) significant difference between mean values ( $p < 0.01$ ); ns: not significant.

Figuur 25 toont de vergelijking van de groepen met hoge en lage blootstellingsbelasting, opgesplitst naar geslacht. Ook hier komen alleen verbindingen in aanmerking die in CL1-3 zijn geïdentificeerd. Hieruit blijkt dat de waargenomen significante verschillen worden veroorzaakt door de significant verschillende aantallen gedetecteerde verbindingen in monsters met hoge en lage blootstellingsbelasting van vrouwelijke deelnemers ( $p = 0,0074$ ). Voor monsters van mannelijke deelnemers kon geen significant verschil worden waargenomen. Aangenomen wordt dat persoonlijke verzorgingsproducten die, zoals hierboven beschreven, een grote invloed hebben op de waargenomen effecten, bij vrouwen vaker of intensiever worden gebruikt. Ook hier konden geen significante sekse verschillen worden waargenomen tussen de groepen met een hoge en lage blootstellingsbelasting als rekening werd gehouden met CL4-verbindingen (grafiek niet weergegeven).

Door de uitsluiting van verbindingen die bij CL4 zijn geïdentificeerd, zijn delen van de statistische analyse slechts uitgevoerd op basis van een beperkt deel van de beschikbare gegevens. Om deze beperking te omzeilen, werd een puntensysteem ingevoerd waarbij een hoger gewicht werd toegekend aan de verbindingen die met een grotere betrouwbaarheid werden geïdentificeerd. Zo werd aan elk monster een score toegekend op basis van het aantal verbindingen die werden geïdentificeerd als CL3 of lager (2 punten per verbinding) en CL4 (1 punt per verbinding). Vervolgens werden de groepen met hoge en lage blootstelling opnieuw vergeleken met en zonder differentiatie.







Figuur 26: Boxplots representing the assigned scores in the low and high exposure load groups. (A) Exposure load group are compared without differentiating based on sexes. (B) A differentiation between sexes is made. (\*) significant difference between mean values ( $p < 0.05$ ); ns: not significant.

Figuur 26 toont de boxplots van de scores toegekend aan monsters in de hoge en lage blootstellingsbelasting groepen met gemiddelde waarden van 72,4 en 69,1, respectievelijk. Er kon een significant verschil ( $p = 0,045$ ) worden waargenomen tussen de gemiddelde waarden van de twee groepen. Dit wijst erop dat het toegepaste scoresysteem een geschikte aanpak is om de volledige dataset te omvatten en tegelijk een hogere weging in te voeren voor de (meer overvloedige) verbindingen die bij hogere betrouwbaarheidsniveaus worden geïdentificeerd. Vergelijkbaar met de hierboven beschreven resultaten werd alleen voor monsters van vrouwelijke deelnemers een significant verschil waargenomen ( $p = 0,045$ ) (figuur 26B). Dit bevestigt dat de waargenomen effecten alleen van deze steekproefgroep afkomstig zijn.

Concluderend kan worden gesteld dat het aantal gedetecteerde verbindingen significant verschilde tussen hoge en lage blootstellingsgroepen voor monsters van vrouwelijke deelnemers. Dit wijst erop dat de blootstelling aan de verontreinigende stoffen die in de toegepaste verdachtenlijst zijn opgenomen, correleert met de blootstelling aan bekende verontreinigende stoffen die in eerdere doelonderzoeken zijn opgenomen. Bij de interpretatie van de resultaten moet echter rekening worden gehouden met de volgende factoren: door de omvang van de verdachtenlijst en het grote aantal opgenomen stofklassen is het niet mogelijk de monstervoorbereiding en de chromatografische methoden voor alle verbindingen in gelijke mate te optimaliseren. Daarom kan niet worden uitgesloten dat de toegepaste methode gunstig was voor een bepaalde klasse verbindingen, hetgeen resulteerde in hogere detectiefrequenties en uiteindelijk leidde tot de waargenomen significante verschillen.

#### 4.2.1.5 Conclusies en beleidsrelevantie

Door het grote aantal treffers (waarvan de meeste onbekend zijn) dat uit de verdachte-screeningsanalyse naar voren is gekomen, is gebleken dat er in Europa behoefte is aan een risicobeoordeling van de blootstelling aan mengsels. Er zijn verscheidene mogelijk toxische verbindingen geïdentificeerd die niet zijn gekwantificeerd in biomonitoringsprogramma's voor de mens. Dit toont aan dat er meer moet worden geïnvesteerd in verdachte screening als instrument ter ondersteuning en verbetering van kwantitatieve doelstudies. Bovendien moet verdachte screening worden uitgebreid tot andere matrices, naast urine, om dergelijke target onderzoeken te ondersteunen. Afgezien van verdachte screening kan ook een niet-doelwitbenadering worden toegepast om nieuwe verbindingen te identificeren.

Voor de humane biomonitoring van PFAS is uit deze studie gebleken dat urine geen geschikte matrix is voor de detectie en identificatie van PFAS, met uitzondering van trifluorazijnzuur, met een zeer laag molecuulgewicht. Daarom moet een andere biologische matrix, zoals serum of plasma, worden gebruikt. Nieuw geïdentificeerde verbindingen, zoals trifluorazijnzuur, sommige PCP's (benzylalcohol), Irganox 1135 en sommige PM's (azijnzuur), werden met hoge detectiefrequenties in de geanalyseerde urinemonsters aangetroffen. Dit wijst erop dat deze verbindingen moeten worden opgenomen in gerichte methoden die bij toekomstige biomonitoringsstudies bij de mens worden gebruikt.

#### Following Publications

- Comprehensive suspect screening for the identification of contaminants of emerging concern in urine of Flemish adolescents through LC-QTOF-MS
- Identification of emerging perfluoroalkyl substances and persistent and mobile chemicals in urine by LC-QTOF-MS screening

#### 4.2.1.6 Referenties

- Alsayed, S.N., Alharbi, A.G., Alhejaili, A.S., Aljukhlab, R.J., Al-Amoudi, D.H., Ashankyty, A.I., Alzahrani, M.A., Zughalbi, T.A., Alharbi, O.A., Kheyami, A.M., Helmi, N.M., Tobaigy, M.A., Hershan, A.A., Watson, D.G., Al-Asmari, A.I., 2022. Ethyl glucuronide and ethyl sulfate: a review of their roles in forensic toxicology analysis of alcohol postmortem. *Forensic Toxicol.* 40, 19–48. <https://doi.org/10.1007/S11419-021-00588-5/FIGURES/1>
- Andrés-Costa, M.J., Escrivá, Ú., Andreu, V., Picó, Y., 2016. Estimation of alcohol consumption during “Fallas” festivity in the wastewater of Valencia city (Spain) using ethyl sulfate as a biomarker. *Sci. Total Environ.* 541, 616–622. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.09.126>
- Asthma: diagnosis, monitoring and chronic asthma management. 2017. (NICE).
- Bastiaensen, Michiel, Celine Gys, Ann Colles, Govindan Malarvannan, Veerle Verheyen, Gudrun Koppen, Eva Govarts, Liesbeth Bruckers, Bert Morrens, and Carmen Franken. 2021. 'Biomarkers of phthalates and alternative plasticizers in the Flemish Environment and Health Study (FLEHS IV): Time trends and exposure assessment', *Environmental Pollution*, 276: 116724.
- Bastiaensen, Michiel, Celine Gys, Ann Colles, Veerle Verheyen, Gudrun Koppen, Eva Govarts, Liesbeth Bruckers, Bert Morrens, Ilse Loots, and Annelies De Decker. 2021. 'Exposure levels, determinants and risk assessment of organophosphate flame retardants and plasticizers in adolescents (14–15 years) from the Flemish Environment and Health Study', *Environment International*, 147: 106368.
- Buekers, J., V. Verheyen, S. Remy, A. Covaci, A. Colles, G. Koppen, E. Govarts, L. Bruckers, M. Leermakers, A. St-Amand, and G. Schoeters. 2021. 'Combined chemical exposure using exposure loads on human biomonitoring data of the 4th Flemish Environment and Health Study (FLEHS-4)', *Int J Hyg Environ Health*, 238: 113849.
- Burnett CL, Heldreth B, Bergfeld WF, Belsito D V., Hill RA, Klaassen CD, et al. Safety assessment of 6-hydroxyindole as used in cosmetics. *Int J Toxicol.* 2014;33(6):245-355.
- Caballero-Casero, Noelia, Gabriela Castro, Michiel Bastiaensen, Celine Gys, Nik van Larebeke, Greet Schoeters, and Adrian Covaci. 2021. 'Identification of chemicals of emerging concern in urine of Flemish adolescents using a new suspect screening workflow for LC-QTOF-MS', *Chemosphere*, 280: 130683.
- Chronic obstructive pulmonary disease in over 16s: diagnosis and management. 2018. (NICE).
- del Mar Gómez-Ramos, María, Andrés Pérez-Parada, Juan F García-Reyes, Amadeo R Fernández-Alba, and Ana Agüera. 2011. 'Use of an accurate-mass database for the systematic identification of transformation products of organic contaminants in wastewater effluents', *Journal of Chromatography A*, 1218: 8002-12.
- Djombou-Feunang, Yannick, Allison Pon, Naama Karu, Jiamin Zheng, Carin Li, David Arndt, Maheswor Gautam, Felicity Allen, and David S Wishart. 2019. 'CFM-ID 3.0: significantly improved ESI-MS/MS prediction and compound identification', *Metabolites*, 9: 72.
- ECHA, 2022. Candidate List of substances of very high concern for Authorisation, <http://echa.europa.eu/>. Accessed 20 January 2022.
- EPA. 2016. "Quinoline." In EPA Air Toxics.
- European Commission. '8-Hydroxyquinoline incl. oxyquinoline', EU Pesticides Database (v.2.2) Active substance.
- FDA, 2012. U.S Food and Drug Administration. Harmful and Potentially Harmful Constituents in Tobacco Products and Tobacco Smoke: Established List. Available from: <https://www.fda.gov/tobacco-products/rules-regulations-and-guidance/harmful-and-potentially-harmful-constituents-tobacco-products-and-tobacco-smoke-established-list>

- González, Z.L., 2014. Determination of the Unconjugated Forms of Benzophenone-3 and Benzophenone-4 in Urine by Solid-Phase Extraction Coupled to a Liquid Chromatographic System with UV/Vis Detection by Using Automated Sequential Injection Analysis, in: *Percutaneous Absorption of UV Filters Contained in Sunscreen Cosmetic Products*. Springer, pp. 83–102.
- Graham, A.E., Beatty, J.R., Rosano, T.G., Sokol, R.J., Ondersma, S.J., 2017. Utility of commercial ethyl glucuronide (EtG) and ethyl sulfate (EtS) testing for detection of lighter drinking among women of childbearing years. *J. Stud. Alcohol Drugs* 78, 945–948.
- Gys, C., M. Bastiaensen, L. Bruckers, A. Colles, E. Govarts, L. R. Martin, V. Verheyen, G. Koppen, B. Morrens, E. Den Hond, A. De Decker, G. Schoeters, and A. Covaci. 2021. 'Determinants of exposure levels of bisphenols in Flemish adolescents', *Environ Res*, 193: 110567.
- He L, Lin Y, Day D, Teng Y, Wang X, Liu XL, et al. Nitroated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Arachidonic Acid Metabolisms Relevant to Cardiovascular Pathophysiology: Findings from a Panel Study in Healthy Adults. *Environ Sci Technol*. 2021;55(6):3867–75.
- Hu, Shuping, Min Zhao, Qiqi Mao, Chengyan Fang, Dawei Chen, and Pengcheng Yan. 2019. 'Rapid one-step cleanup method to minimize matrix effects for residue analysis of alkaline pesticides in tea using liquid chromatography–high resolution mass spectrometry', *Food chemistry*, 299: 125146.
- Huntscha, Sebastian, Thomas B Hofstetter, Emma L Schymanski, Stephanie Spahr, and Juliane Hollender. 2014. 'Biotransformation of benzotriazoles: insights from transformation product identification and compound-specific isotope analysis', *Environmental science & technology*, 48: 4435-43.
- IARC, 2022. International Agency for Research on Cancer. Agents classified by the IARC monographs, volumes 1–129. Available from: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>.
- Kang, H.S., Ko, A., Kwon, J.E., Kyung, M.S., Moon, G.I., Park, J.H., Lee, H.S., Suh, J.H., Lee, J.M., Hwang, M.S., Kim, K., Hong, J.H., Hwang, I.G., 2016. Urinary benzophenone concentrations and their association with demographic factors in a South Korean population. *Environ. Res.* 149, 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2016.04.036>
- Kim S, Chen J, Cheng T, et al. PubChem in 2021: new data content and improved web interfaces. *Nucleic Acids Res.* 2021;49(D1): D1388–D1395.
- Kim, S., J. Chen, T. Cheng, A. Gindulyte, J. He, S. He, Q. Li, B. A. Shoemaker, P. A. Thiessen, B. Yu, L. Zaslavsky, J. Zhang, and E. E. Bolton. 2021. 'PubChem in 2021: new data content and improved web interfaces'.
- Kind, Tobias, Hiroshi Tsugawa, Tomas Cajka, Yan Ma, Zijuan Lai, Sajjan S Mehta, Gert Wohlgemuth, Dinesh Kumar Barupal, Megan R Showalter, and Masanori Arita. 2018. 'Identification of small molecules using accurate mass MS/MS search', *Mass spectrometry reviews*, 37: 513-32.
- McChesney, E.W., Golberg, L., 1973. The excretion and metabolism of saccharin in man. I. Methods of investigation and preliminary results. *Food Cosmet. Toxicol.* 11, 403–414. [https://doi.org/10.1016/0015-6264\(73\)90006-0](https://doi.org/10.1016/0015-6264(73)90006-0)
- Niu J, Zhao X, Jin Y, Yang G, Li Z, Wang J, et al. Determination of aromatic amines in the urine of smokers using a porous organic framework (JUC-Z2)-coated solid-phase microextraction fiber. *J Chromatogr A*. 2018;1555:37–44
- Oberacher, Herbert, Michael Sasse, Jean-Philippe Antignac, Yann Guitton, Laurent Debrauwer, Emilien L Jamin, Tobias Schulze, Martin Krauss, Adrian Covaci, and Noelia Caballero-Casero. 2020. 'A European proposal for quality control and quality assurance of tandem mass spectral libraries', *Environmental Sciences Europe*, 32: 1-19.
- Pang, L., Borthwick, A.G.L., Chatzisyneon, E., 2020. Determination, occurrence, and treatment of saccharin in water: A review. *J. Clean. Prod.* 270, 122337. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122337>
- Pourchet, Mariane, Laurent Debrauwer, Jana Klanova, Elliott J Price, Adrian Covaci, Noelia Caballero-Casero, Herbert Oberacher, Marja Lamoree, Annelaure Damont, and Francois Fenaille. 2020. 'Suspect and non-targeted screening of chemicals of emerging concern for human biomonitoring, environmental health studies and support to risk assessment: From promises to challenges and harmonisation issues', *Environment International*, 139: 105545.
- Raposo, Francisco, and Damià Barceló. 2021. 'Challenges and strategies of matrix effects using chromatography-mass spectrometry: an overview from research versus regulatory viewpoints', *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 134: 116068.
- Ruttkies, Christoph, Emma L Schymanski, Sebastian Wolf, Juliane Hollender, and Steffen Neumann. 2016. 'MetFrag relaunched: incorporating strategies beyond in silico fragmentation', *Journal of cheminformatics*, 8: 1-16.
- Sauve, S., and M. Desrosiers. 2014. 'A review of what is an emerging contaminant', *Chem Cent J*, 8: 15.

- Schoeters, G., E. Govarts, L. Bruckers, E. Den Hond, V. Nelen, S. De Henauw, I. Sioen, T. S. Nawrot, M. Plusquin, A. Vriens, A. Covaci, I. Loots, B. Morrens, D. Coertjens, N. Van Larebeke, S. De Craemer, K. Croes, N. Lambrechts, A. Colles, and W. Baeyens. 2017. 'Three cycles of human biomonitoring in Flanders - Time trends observed in the Flemish Environment and Health Study', *Int J Hyg Environ Health*, 220: 36-45.
- Schymanski, Emma L, Junho Jeon, Rebekka Gulde, Kathrin Fenner, Matthias Ruff, Heinz P Singer, and Juliane Hollender. 2014. "Identifying small molecules via high resolution mass spectrometry: communicating confidence." In.: ACS Publications.
- Stein, Stephen. 2012. 'Mass spectral reference libraries: an ever-expanding resource for chemical identification', *Analytical Chemistry*, 84: 7274-82.
- Thierauf-Emberger, A., Franz, A., Auwärter, V., Huppertz, L.M., 2016. Detection of the ethanol consumption markers ethyl glucuronide and ethyl sulfate in urine samples from inmates of two German prisons. *Int. J. Legal Med.* 130, 387–391.
- U.S EPA, Environmental Protection Agency. Priority Pollutant List. 2014.
- UBA, 2019. REACH: Improvement of guidance and methods for the identification and assessment of PM/PMT substances.
- Uçar, A., Yılmaz, S., 2015. Saccharin genotoxicity and carcinogenicity: a review. *Adv. Food Sci* 37, 138–142.
- Van den Eede, N., A. Ballesteros-Gomez, H. Neels, and A. Covaci. 2016. 'Does Biotransformation of Aryl Phosphate Flame Retardants in Blood Cast a New Perspective on Their Debated Biomarkers?', *Environ Sci Technol*, 50: 12439-45.
- Verheyen, Veerle J, Sylvie Remy, Eva Govarts, Ann Colles, Laura Rodriguez Martin, Gudrun Koppen, Stefan Voorspoels, Liesbeth Bruckers, Esmée M Bijmens, and Stijn Vos. 2021. 'Urinary Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Metabolites Are Associated with Biomarkers of Chronic Endocrine Stress, Oxidative Stress, and Inflammation in Adolescents: FLEHS-4 (2016–2020)', *Toxics*, 9: 245.
- Wishart DS, Guo AC, Oler E, et al., HMDB 5.0: the Human Metabolome Database for 2022. *Nucleic Acids Res.* 2022. Jan 7;50(D1):D622–31
- Wu Y, Venier M, Hites RA. Identification of Unusual Antioxidants in the Natural and Built Environments. *Environ Sci Technol Lett.* 2019;6(8):443–7.
- Wurst, F.M., Dresen, S., Allen, J.P., Wiesbeck, G., Graf, M., Weinmann, W., 2006. Ethyl sulphate: a direct ethanol metabolite reflecting recent alcohol consumption. *Addiction* 101, 204–211. <https://doi.org/10.1111/J.1360-0443.2005.01245.X>
- Yu J, Wang B, Cai J, Yan Q, Wang S, Zhao G, et al. Selective extraction and determination of aromatic amine metabolites in urine samples by using magnetic covalent framework nanocomposites and HPLC-MS/MS. *RSC Adv.* 2020;10(47):28437–46.
- Zedda, Marco, and Christian Zwiener. 2012. 'Is nontarget screening of emerging contaminants by LC-HRMS successful? A plea for compound libraries and computer tools', *Analytical and bioanalytical chemistry*, 403: 2493-502.
- Zucchi, S., Blüthgen, N., Ieronimo, A., Fent, K., 2011. The UV-absorber benzophenone-4 alters transcripts of genes involved in hormonal pathways in zebrafish (*Danio rerio*) eleuthero-embryos and adult males. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 250, 137–146. <https://doi.org/10.1016/J.TAAP.2010.10.001>

## 4.2.2 Metalen en metalloïden

### 4.2.2.1 Achtergrond en doelstellingen

Tijdens FLEHS IV werden een beperkt aantal geselecteerde metalen, metalloïden en niet metalen gemeten in bloed en urine van adolescenten gemeten. FLEHS II en III omvatte een meer uitgebreide reeks elementen, maar er zijn een heel reeks elementen die kunnen aanzien worden als opkomende polluënten door hun toenemend gebruik in elektronische en optische toepassingen; waaronder de zeldzame aard metalen (REEs); door hun toepassingen als katalysator in de autoindustrie en medische toepassingen in de chemotherapie (waaronder de platinum groep elementen (PGEs)). De toenemende vraag en korte levensduur van electronica genereert een grote hoeveelheid electronische afval met hoge concentraties aan metalen nog niet gemeten in de FLEHS studies. Metalen worden ook in toenemende mate gebruikt als nanopartikels, waaronder aluminium (Al), ijze (Fe), Cobalt (Co), Titanium (Ti), Coper (Cu), Zilver (Ag), Cerium (Ce), Platinum (Pt), Goud (Au), bismuth (Bi), Wolfram (W) and Hafnium (Hf). Nanopartikels worden gebruikt omwille van hun catalytische en antibacteriële eigenschappen met toepassingen in textile, geneesmiddelen, radiotherapie, electronica en optica.



Metalen verhogen het risico op verschillende ziektes, waaronder kanker (Wang & Yang, 2019), cardiovasculaire ziektes (Cosselman et al., 2015), chronische obstructieve longziekte (Soyseth et al., 2013), nierziekten (Sabath & Robles-osorio, 2012), neurologische ziektes (Jakubowski, 2011) maar ook diabetes (Ludvigsson et al., 2019), osteoporosis (James et al., 2013), onvruchtbaarheid (Jurkowska et al., 2019) en allergieën (Schmidt & Goebeler, 2015).

De doelstellingen binnen dit werkpakket zijn:

- Op punt stellen van de analytische methode voor de analyse van een reeks nieuwe metalen (met prioriteit aan REE, PGEs en elementen uit de prioriteitenlijst van ATSDR en PARC)
- Metingen van nieuwe metalen in geselecteerde biobankstalen van FLEHS IV. 84 biobankstalen van FLEHS IV werden geselecteerd. Op dezelfde stalen worden ook de non-target screening van organische pollutanten (4.2.1) uitgevoerd, om een maximum aan informatie uit de dataset te halen.
- Studie van de determinanten van blootstelling en gezondheidseffecten van de metalen gemeten in de FLEHS IV studie op alle deelnemers
- Studie van de determinanten van blootstelling en gezondheidseffecten van de nieuwe metalen gemeten in de selectie van deelnemers uit de FLEHS IV studie

#### 4.2.2.2 Benadering

##### 1. Analytische methode ontwikkeling

Spoorelementen worden bepaald met behulp van Inductief Gekoppeld Plasma Sector Field Massa Spectrometrie (ICP-SF-MS). In een eerste fase wordt de analysemethode geëvalueerd en geoptimaliseerd. In eerste instantie wordt de methode die in de FLEHS I tot IV studies gebruikt werd geëvalueerd voor de nieuwe metalen. Mogelijke alternatieven staalvoorbereidingsmethodes worden onderzocht alsook het belang van interferenties en verwijdering van interferenties. Accuraatheid, precisie, LOD en LOQ worden bepaald. De methodeontwikkeling wordt uitgevoerd met gepoolde stalen en gecertificeerde referentiematerialen.

Volgende elementen worden in deze fase geëvalueerd:

- -Zeldzame aard metalen (rare earth elements (REE): Lanthanum (La), cerium (Ce), praeodymium (Pr), neodymium (Nd), samarium (Sm), gadolinium (Gd), dysprosium (Dy), Erbium (Er), Ytterbium (Yb).
- Platinium Groep elementen (PGEs): platinum (Pt), palladium (Pd), rhodium (Rh), iridium (Ir), Ruthenium (Ru)
- -andere metalen:- lithium (Li), molybdeen (Mo), antimoon (Sb), cesium (Cs), barium (Ba), titanium (Ti), hafnium (Hf), wolfram (W), bismuth (Bi), uranium (U), zilver (Ag), aluminium (Al), vanadium (V), chroom (Cr), Cobalt (Co), nikkel (Ni), koper (Cu), zink (Zn)

Van deze elementen zijn referentiematerialen met ofwel gecertificeerde waarden ofwel richtwaarden voorhanden. Enkel de elementen die met voldoende accuraatheid en precisie kunnen gemeten worden gemeten worden in de biobank stalen.

##### 2. Metingen van nieuwe metalen in bloed en urine van geselecteerde deelnemers van FLEHS IV

In de tweede fase werd de methode die op punt gesteld werd in fase 1, gebruikt worden om de analyses uit te voeren in 84 geselecteerde deelnemers van FLEHS IV. Voor bloedstalen worden de resten van de stalen van FLEHS IV voorzien voor metaalanalyses uit het VUB lab gebruikt en voor urine worden biobank stalen van dezelfde deelnemers gebruikt. Op dezelfde geselecteerde deelnemers worden ook de organische pollutanten gescreend (4.2.1). Enkel elementen die voldoen aan de kwaliteitscontroles van fase 1 worden gemeten. Een aantal elementen werden ook in FLEHS II en FLEHS III gemeten en kunnen dienen als tijdstrends.



### 3. Studie van de determinanten van blootstelling en gezondheidseffecten van de metalen gemeten in alle deelnemers van de FLEHS IV

Een gedetailleerde statistische analyse van de associaties tussen interne blootstelling en alle relevant nutritionele, gedrags- en omgevingsparameters die beschikbaar zijn in FLEHS IV alsook de associaties tussen de metalen/niet metalen en gezondheidsseffecten zal uitgevoerd worden.

### 4. Studie van de determinanten van blootstelling en gezondheidseffecten van de nieuwe metalen gemeten in de selectie van deelnemers uit de FLEHS IV studie

Een gedetailleerde statistische analyse van de associaties tussen interne blootstelling en alle relevant nutritionele, gedrags- en omgevingsparameters die beschikbaar zijn in FLEHS IV alsook de associaties tussen de nieuwe metalen en gezondheidsseffecten werd uitgevoerd.

#### 4.2.2.3 Resultaten

##### *Methodie ontwikkeling*

##### **a. Methodes voor bloed en urine**

De methodes die hier beschreven worden zijn deze die uiteindelijk gebruikt werden bij de bepaling van de stalen. In fase 1 werden verschillende digestiemethodes uitgetest om de detectielimiet voor de zeldzame aardmetalen (REEs) te verbeteren maar dit leverde niet de gewenste resultaten. Van de REEs kon alleen Ce met voldoende accuraatheid en precies bepaald worden en van de PGEs enkel Pt. Het gevolgde digestie protocol voor bloed is een aanpassing van de methode voorgesteld door Schrijnen et al. (2008). Samengevat werd 500 µL bloed met behulp van 500 µL 65% HNO<sub>3</sub> (Fischer Optima) gedigereerd in een Sarstedt 15 mlPE tube in een oven aan 70°C gedurende 16h. Na digestie werd 4 mL Milli Q water toegevoegd aan de stalen vooraleer de analyse met de ICP-SF-MS werd uitgevoerd.

In urine werden de metalen volgens de methode beschreven door Heitland en Köster (2004), maar een 10-voudige dilutie werd toegepast in plaats van een 1/5 verdunning. 500 µL urine werd verdund met 4,5 ml 2% HNO<sub>3</sub> (Fisher Optima).

De analyses worden uitgevoerd in dezelfde tubes als de digestie. Standaard additie kalibratie en een interne standaard (indium) werden gebruikt voor kwantificatie. Analyses worden uitgevoerd met de Thermo Scientific Element II gekoppeld aan een ESI SC-Fast autosampler.

Een concentrische vernevelaar, gekoelde cyclonische vernevelingskamer, skwarts injector en toorts en Ni-cones werden gebruikt als staalnameintroductiesysteem. Grondige reiniging van alle onderdelen van het introductiesysteem is essentieel om de blanco's laag te houden en voor de start van de analyse wordt gedurende 1 uur een 10% HNO<sub>3</sub> oplossing (zelfde matrix als digestiematrix) opgezogen.

##### **b. Procedurele blanco's en detectie-/kwantificatielimiten**

Onderstaande tabel geeft de gemiddelde procedurele blanco in ng/L (op basis van 20 blanco's) van de verschillende geanalyseerde elementen. Er werd gebruik gemaakt van de interkwartielafstand (IKA) om extreme blancowaarden te bepalen en uit te sluiten. De 25<sup>ste</sup> en 75<sup>ste</sup> percentielen (P25 en P75) werden berekend. Het verschil tussen beiden vormt de IKA, welke de middelste 50% van alle waarden bevat. Deze IKA wordt vermenigvuldigd met 1.5 en aan beide kanten van het interval toegevoegd zoals onderstaande formules weergeven:

- Onderste waarschuwinglimiet = 25<sup>ste</sup> percentiel – 1.5\*IKA
- Bovenste waarschuwinglimiet = 75<sup>ste</sup> percentiel + 1.5\*IKA

Blanco waarden die buiten dit interval vielen werden beschouwd als extreme waarden en werden uitgesloten.



De detectielimieten (LOD) en kwantificeerlimieten (LOQ) werden bepaald door respectievelijk drie en tien maal de standaard deviatie (SD) te nemen van de procedurele blanco. Dit resultaat werd vermenigvuldigd met de dilutiefactor (10) om de detectielimiet uit te drukken in µg per liter bloed. Een overzicht van de LOD's en LOQ's van de verschillende metalen in ng/L bloed en urine wordt ook weergegeven in de tabel.

|    | urine   |       |      |      | blood   |       |      |      |
|----|---------|-------|------|------|---------|-------|------|------|
|    | n=20    |       |      |      | n=20    |       |      |      |
|    | average | stdev | LOD  | LOQ  | average | stdev | LOD  | LOQ  |
|    | ng/L    | ng/L  | ng/L | ng/L | ng/L    | ng/L  | ng/L | ng/L |
| Ag | 0,84    | 0,17  | 5,2  | 17,3 | 0,48    | 0,16  | 4,7  | 15,7 |
| Al | 74,88   | 26,18 | 785  | 2618 | 421,28  | 46,09 | 1383 | 4609 |
| Ba | 5,22    | 0,90  | 27   | 90   | 4,93    | 0,58  | 17,5 | 58,2 |
| Bi | 0,18    | 0,04  | 1,2  | 3,9  | 0,19    | 0,05  | 1,6  | 5,3  |
| Cd | 1,17    | 0,17  | 5,2  | 17,2 | 0,78    | 0,16  | 4,7  | 15,7 |
| Ce | 0,28    | 0,06  | 1,9  | 6,2  | 0,41    | 0,14  | 4,2  | 14,0 |
| Co | 0,54    | 0,16  | 4,7  | 15,8 | 0,79    | 0,30  | 8,9  | 29,8 |
| Cr | 7,70    | 2,94  | 88   | 294  | 20,76   | 7,44  | 223  | 744  |
| Cu | 12,35   | 2,84  | 85   | 284  | 80,58   | 42,02 | 1261 | 4202 |
| Hf | 0,07    | 0,04  | 1,2  | 4,1  | 0,12    | 0,07  | 2,2  | 7,4  |
| Li | 40,40   | 16,67 | 500  | 1667 | 2,77    | 0,99  | 30   | 99   |
| Mn | 5,15    | 2,05  | 62   | 205  | 7,81    | 4,40  | 132  | 440  |
| Ni | 37,97   | 3,40  | 102  | 340  | 6,83    | 0,95  | 28   | 95   |
| Mo | 0,02    | 0,01  | 0,4  | 1,4  | 28,70   | 3,01  | 90   | 301  |
| Pb | 1,86    | 0,43  | 13   | 43,2 | 1,87    | 1,00  | 30   | 100  |
| Pt | 0,06    | 0,01  | 0,3  | 29,7 | 0,06    | 0,02  | 0,6  | 2,0  |
| Sb | 1,47    | 0,41  | 12   | 40,7 | 2,60    | 1,76  | 53   | 176  |
| Ti | 3,54    | 2,35  | 70   | 235  | 39,63   | 10,62 | 319  | 1062 |
| Tl | 1,13    | 0,31  | 9,3  | 31,1 | 0,04    | 0,01  | 0,3  | 0,9  |
| U  | 0,12    | 0,05  | 1,6  | 5,5  | 0,09    | 0,05  | 1,5  | 5,1  |
| V  | 0,66    | 0,27  | 8,2  | 27,4 | 0,73    | 0,40  | 12   | 40   |
| W  | 1,29    | 0,54  | 16   | 54   | 6,77    | 1,41  | 42   | 141  |
| Zn | 78,70   | 36,66 | 1100 | 3666 | 71,1    | 30,9  | 927  | 3092 |

### c. Recoveries referentiematerialen

Om de ontwikkelde methode te valideren werd referentiemateriaal geanalyseerd (Seronorm Level 1 en 2 voor urine, Seronorm Level 1 voor bloed, ClinCheck Level 1). De resultaten hiervan werden vergeleken met de gecertificeerde waarden door de producent van het referentiemateriaal (Sero A.S., Noorwegen en Recipe, Duitsland) meegegeven. Voor een aantal elementen zijn geen gecertificeerde waarden weergegeven, maar enkel indicatieve waarden.

In onderstaande tabellen worden de gemeten en gecertificeerde waarden in urine en bloed weergegeven. De bekomen gemiddelde waarden (n=3) vallen voor de geselecteerde elementen binnen het betrouwbaarheidsinterval van de gecertificeerde waarden. Voor de elementen met enkel richtwaarden zijn deze vergelijkbaar.



| CRM URINE |            |      |         |            |             |         |             |            |        |              |
|-----------|------------|------|---------|------------|-------------|---------|-------------|------------|--------|--------------|
|           | SERONORM 1 |      |         |            | CLINCHECK 1 |         |             | SERONORM 2 |        |              |
|           | results    |      | CERTIF  | 95% CI     | result      | CERTIF  |             | result     | CERTIF | 95% CI       |
| Ag        | 7,0        | ng/L | <2      | indic      | <LOD        |         |             | 6,4        | <2     | indic        |
| Al        | 11484,7    | µg/L | 11100,0 | 5500-16600 | 38353,6     | 33000,0 | 26400-39600 | 143032,6   | 107000 | 85000-128000 |
| Ba        | 41,5       | ng/L | 55,0    | indic      | 10,3        | 11100,0 | 8800-13300  | 52,0       | 50,000 | indic        |
| Bi        | 5,0        | ng/L | 5,0     | 44379,0    | 27,0        |         |             | 19051,0    | 21700  | 17300-26000  |
| Cd        | 248,0      | ng/L | 190,0   | 120-270    | 2436,6      | 2460,0  | 1970-2950   | 4381,2     | 4900   | 3900-5800    |
| Ce        | 33,0       | ng/L | 34,0    | indic      | 0,8         |         |             | 26,7       | 27     | indic        |
| Co        | 833,0      | ng/L | 800,0   | 640-970    | 1936,9      | 2030,0  | 1630-2440   | 10048,4    | 10100  | 8100-12200   |
| Cr        | 8405,6     | ng/L | 9500,0  | 7600-11400 | 3888,0      | 4070,0  | 3260-4890   | 28478,2    | 30100  | 24000-36100  |
| Cu        | 18,0       | µg/L | 20,0    | 16-24      | 34,0        | 36,7    | 29,4-44,1   | 49,5       | 56,3   | 44,9-67,6    |
| Hf        | 1,6        | ng/L | <0,5    | indic      | 0,1         |         |             | 0,8        | <0,5   | indic        |
| Li        | 103,3      | ng/L | 96,0    | indic      | 7,6         |         |             | 99,5       | 100    | indic        |
| Mn        | 1373,4     | µg/L | 1380,0  | 1100-1660  | 3756,5      | 3910,0  | 3130-4690   | 9448,8     | 9300   | 7400-11200   |
| Mo        | 49,5       | ng/L | 47,1    | 37,6-56,6  | 25,2        | 23,9    | 19,1-28,7   | 48,2       | 48     | indic        |
| Ni        | 1287,5     | ng/L | 1600,0  | 1270-1920  | 5438,5      | 5920,0  | 4730-7100   | 35136,3    | 40700  | 32500-48800  |
| Pb        | 577,3      | ng/L | 720,0   | 360-1080   | 20318,1     | 24000,0 | 19200-28800 | 77464,8    | 80100  | 64000-96200  |
| Pt        | 2,9        | ng/L | 5,0     | indic      | 40,8        |         |             | 3,3        | 6      | indic        |
| Sb        | 7450,4     | µg/L | 7200,0  | 5000-9400  | 9917,5      | 11100,0 | 7740-14400  | 85756,6    | 103000 | 85000-128000 |
| Ti        | 15481,1    | µg/L | 19900,0 | indic      | 211,7       |         |             | 13995,0    | 16100  | eindic       |
| Tl        | 149,8      | ng/L | 140,0   | 120-170    | 6720,8      | 7240,0  | 5790-8690   | 8697,4     | 8600   | 6870-10300   |
| U         | 62,8       | ng/L | 69,0    | indic      | 1,3         |         |             | 28,2       | 29     | indic        |
| V         | 820,9      | ng/L | 830,0   | 660-990    | 20669,8     | 20200,0 | 16200-24300 | 26779,5    | 26000  | 20700-31200  |
| W         | 169,7      | ng/L | 230,0   | indic      | 34,2        |         |             | 165,3      | 230    | indic        |
| Zn        | 339,5      | mg/L | 347,0   | 277-417    | 187,6       | 204,0   | 163-245     | 1107,7     | 1281   | 1023-1538    |

| CRM BLOOD |            |      |        |           |             |      |        |           |
|-----------|------------|------|--------|-----------|-------------|------|--------|-----------|
|           | SERONORM 1 |      |        |           | CLINCHECK 1 |      |        |           |
|           | result     |      | CERTIF | 95% CI    | result      |      | CERTIF | 95% CI    |
| Ag        | 76,1       | ng/L | 75,0   | indic     | 1483,5      | ng/L | 1890   | 1520-2270 |
| Al        | 11,2       | µg/L | 11,6   | 5,8-17,5  | 8,3         | µg/L |        |           |
| Ba        | 470,9      | ng/L | 457,0  | indic     | 0,7         | ng/L |        |           |
| Bi        | 4,8        | ng/L | <5     | indic     | 2,7         | ng/L |        |           |
| Cd        | 253,5      | ng/L | 280,0  | 170-400   | 1168,3      | ng/L | 1190   | 948-1420  |
| Ce        | 100,1      | ng/L | 88,0   | indic     | 7,0         | ng/L |        |           |
| Co        | 169,5      | ng/L | 200,0  | 120-280   | 1326,1      | ng/L | 1530   | 1140-1910 |
| Cr        | 606,9      | ng/L | 450,0  | 270-630   | 1219,1      | ng/L | 1250   | 941-1570  |
| Cu        | 619,2      | µg/L | 640,0  | 510-760   | 684,5       | µg/L | 679    | 543-815   |
| Hf        | 11,3       | ng/L | 7,0    | indic     | 2,3         | ng/L |        |           |
| Li        | 478,7      | ng/L | 360,0  | indic     | 3248,4      | ng/L |        |           |
| Mn        | 15,8       | µg/L | 18,4   | 14,7-22,1 | 6,6         | µg/L | 8,01   | 6,41-9,61 |
| Mo        | 528,3      | ng/L | 510,0  | 410-610   | 2382,9      | ng/L | 2170   | 1740-2610 |
| Ni        | 1277,9     | ng/L | 1380,0 | 1100-1660 | 1517,7      | ng/L | 1930   | 1540-2310 |
| Pb        | 10,6       | ng/L | 9,9    | 7,9-11,9  | 57,8        | ng/L | 59,1   | 47,3-70,9 |
| Pt        | 7,6        | ng/L | 5,2    | indic     | 1852,5      | ng/L | 1670   | 1330-2000 |
| Sb        | 1,5        | µg/L | 1,3    | 1,06-1,60 | 4,6         | µg/L | 1      | 0,8-1,2   |
| Ti        | 15,2       | µg/L | 10,3   | indic     | 65,1        | µg/L |        |           |
| Tl        | 8,3        | ng/L | 7,0    | 3_11      | 977,6       | ng/L | 840    | 672-1010  |
| U         | 194,3      | ng/L | 180,0  | indic     | 2,4         | ng/L |        |           |
| V         | 1026,9     | ng/L | 970,0  | 580-1350  | 18,5        | ng/L |        |           |
| W         | 36,0       | ng/L | 60,0   | indic     | <LOD        | ng/L |        |           |
| Zn        | 5,0        | mg/L | 4,3    | 3,4-5,2   | 5,4         | mg/L | 4,68   | 3,75-5,62 |



### Concentraties aan nieuwe metalen in bloed en urine van selectie van FLEHS IV populatie

De concentraties gemeten in urine en bloed in de 84 geselecteerde deelnemers worden weergegeven in onderstaande tabellen. Cd, Tl in urine en Cd, Pb, Cu, Mn en Zn in bloed werden gemeten in alle deelnemers en werden niet opgenomen in deze tabellen. Voor Ce, Hf en W in bloed zijn de concentraties beneden de detectielimiet. Deze elementen konden wel in urine gemeten worden. In onderstaande tabel wordt de detecteerbaarheid, mediaan, min, max, P25, P75 en LOD van de gemeten elementen in bloed en urine weergegeven.

|    | URINE  |        |      |        |      |      |      |      |    | BLOOD  |          |      |        |       |      |      |      |
|----|--------|--------|------|--------|------|------|------|------|----|--------|----------|------|--------|-------|------|------|------|
|    | % <LOD | Min    | Max  | Median | P25  | P75  | LOD  | Unit |    | % <LOD | Min      | Max  | Median | P25   | P75  | LOD  | Unit |
| Ag | 3      | <LOD   | 190  | 10,50  | 6,85 | 27,6 | 3,5  | ng/L | Ag | 0      | 10,29    | 638  | 26,4   | 20,80 | 35,6 | 4,72 | ng/L |
| Al | 0      | 1,59   | 36,4 | 2,84   | 2,21 | 4,53 | 0,8  | µg/L | Al | 0      | 3,25     | 35,9 | 13,7   | 11,50 | 16,3 | 1,38 | µg/L |
| Ba | 0      | 0,55   | 17,4 | 2,92   | 1,65 | 4,64 | 0,03 | µg/L | Ba | 0      | 0,25     | 2,1  | 0,9    | 0,48  | 1,14 | 0,02 | µg/L |
| Bi | 6      | 0,32   | 977  | 5,09   | 3,13 | 12,2 | 1,0  | ng/L | Bi | 0      | 1,02     | 53,7 | 4,3    | 2,80  | 6,5  | 1,60 | ng/L |
| Ce | 32     | 0,34   | 13,3 | 2,21   | 1,3  | 3,76 | 0,6  | ng/L | Ce | 100    | <LOD     |      |        |       |      |      |      |
| Co | 0      | 23,61  | 4497 | 589    | 384  | 1186 | 5,7  | ng/L | Co | 0      | 73,68    | 1066 | 219,0  | 178   | 288  | 8,93 | ng/L |
| Cr | 38     | 87,51  | 477  | 162    | 111  | 229  | 88   | ng/L | Cr | 13     | <LOD     | 2177 | 331,5  | 217   | 541  | 150  | ng/L |
| Cu | 0      | 1,74   | 39,0 | 8,89   | 7,1  | 11,8 | 0,1  | µg/L | Cu |        | FLEHS IV |      |        |       |      |      |      |
| Hf | 0      | 0,16   | 8,2  | 0,95   | 0,65 | 1,38 | 0,6  | ng/L | Hf | 100    | <LOD     |      |        |       |      |      |      |
| Li | 0      | 3,40   | 378  | 26,4   | 18,7 | 37,2 | 0,6  | µg/L | Li | 0      | 0,27     | 8,3  | 0,7    | 0,537 | 1,05 | 0,03 | µg/L |
| Mn | 41     | <LOD   | 746  | 91,2   | 63,2 | 181  | 40   | ng/L | Mn |        | FLEHS IV |      |        |       |      |      |      |
| Mo | 0      | 8,90   | 161  | 50,9   | 33,2 | 73,4 | 0,4  | µg/L | Mo | 0      | 364,97   | 2975 | 591    | 511   | 701  | 28,4 | ng/L |
| Ni | 1      | 109,16 | 8716 | 1270   | 739  | 2266 | 100  | ng/L | Ni | 32     | <LOD     | 1640 | 196,4  | 145   | 329  | 90,4 | ng/L |
| Pb | 0      | 80,30  | 1909 | 431    | 286  | 687  | 12   | ng/L | Pb |        | FLEHS IV |      |        |       |      |      |      |
| Pt | 1      | <LOD   | 3,6  | 0,72   | 0,48 | 1,19 | 0,1  | ng/L | Pt | 57     | <LOD     | 4,4  | 1,0    | 0,76  | 1,41 | 0,61 | ng/L |
| Sb | 1      | <LOD   | 721  | 47,5   | 28,6 | 68,8 | 11   | ng/L | Sb | 0      | 2,56     | 7,7  | 3,9    | 3,28  | 4,56 | 0,05 | µg/L |
| Ti | 0      | 115,19 | 658  | 247,4  | 207  | 297  | 70   | ng/L | Ti | 1      | <LOD     | 59,1 | 4,0    | 3,06  | 4,65 | 0,30 | ng/L |
| U  | 2      | <LOD   | 86,8 | 3,56   | 2,4  | 6,15 | 0,5  | ng/L | U  | 2      | <LOD     | 25,7 | 3,1    | 2,64  | 3,96 | 1,54 | ng/L |
| V  | 6      | <LOD   | 110  | 24,55  | 15,6 | 34,4 | 8    | ng/L | V  | 3      | <LOD     | 108  | 17,5   | 12,8  | 22,5 | 12,0 | ng/L |
| W  | 1      | <LOD   | 1196 | 225    | 145  | 324  | 31   | ng/L | W  | 100    | <LOD     |      |        |       |      | 42,7 | ng/L |
| Zn | 0      | 52,60  | 2774 | 436    | 273  | 659  | 1,0  | µg/L | Zn |        | FLEHS IV |      |        |       |      |      |      |

### Tijdstrends

In onderstaande tabel worden de elementen die reeds in vorige FLEHS studies gemeten werden vergeleken om tijdstrends vast te stellen. Om een vergelijking mogelijk te maken werden enkel de adolescenten van de vorige FLEHS studies vergeleken. De concentraties worden ook vergeleken met andere recente humane biomonitoringscampagnes en met waarden gemeten in de Belgische volwassenenbevolking (Hoet et al. 2013, 2021). Waar gegevens beschikbaar zijn voor adolescenten worden deze gegevens gebruikt in de vergelijking. Cadmium, thalium en jodium in urine; cadmium, lood, koper, thalium en mangaan in bloed werden gemeten op alle deelnemers. De overige elementen werden enkel gemeten in de geselecteerde deelnemers.

Voor Cd en Pb in bloed zijn al gegevens sinds 2000 beschikbaar. Een duidelijke dalende trend voor zowel Pb als Cd is merkbaar. De concentraties aan Cd en Pb in bloed en urine zijn lager in de adolescenten van FLEHS IV dan in de volwassenbevolking (Hoet et al., 2013, 2021) maar zijn hoger dan de waarden gemeten in de adolescenten van de VS. Voor Cd zijn de waarden in bloed en urine ook nog hoger dan bij de jongeren gemeten in biomonitoringstudie in Duitsland. Thalium concentraties in bloed van adolescenten vertonen ook een verlaging van 2007 tot 2020, maar de concentraties in urine blijven in dezelfde range. De concentraties van Tl in de adolescenten zijn hoger dan deze gemeten in de volwassenen in België en hoger dan gemeten bij adolescenten in de VS. Ook voor Ni, Cr en Sb zien we een daling in concentraties tussen FLEHS II en FLESHS IV. De concentraties zijn vergelijkbaar met deze gemeten in andere biomonitoringstudies in Canada, VS en Duitsland.

Koper is een essentieel element en gezondheidseffecten kunnen zich voordoen bij zowel te lage als te hoge concentraties. Een tekort aan Cu is geassocieerd met anemie, neutropenie en botafwijkingen, maar klinische bewijzen zijn zeldzaam. Chronische blootstelling veroorzaakt levercirrose, hemolyse, en schade aan nieren, hersenen en andere organen (Gaetke, 2003). Cu concentraties in bloed van adolescenten van de FLEHS studies vertonen geen systematische veranderingen in de tijd. De concentraties in urine gemeten in FLEHS IV zijn wel lager dan deze in FLEHS II.

Ook mangaan is een essentieel element dat als cofactor dient voor verschillende enzymen, maar bij hogere concentraties schadelijk voor het zenuwstelsel. Ook voor Mn kan men geen systematische veranderingen tussen de FLEHS studies waarnemen. De concentraties in bloed van de adolescenten zijn vergelijkbaar met de concentraties gemeten in de volwassenpopulatie in België, maar de concentraties in urine iets hoger.

|      | FLEHS I                                         | FLEHS II                                        | FLEHS III                                       | FLEHS IV                                        | Belgium <sup>ab</sup>              | Canada <sup>c</sup>     | USA <sup>d</sup>          | Germany <sup>e</sup> | Germany <sup>f</sup>     |
|------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|
|      | 2001-2006<br>adolescents<br>GM (95% CI)<br>µg/L | 2007-2011<br>adolescents<br>GM (95% CI)<br>µg/L | 2012-2015<br>adolescents<br>GM (95% CI)<br>µg/L | 2016-2020<br>adolescents<br>GM (95% CI)<br>µg/L | 2010-2016<br>18-70y<br>P50<br>µg/L | 2007-2017<br>GM<br>µg/L | 2015-2016<br>12-19y<br>GM | adults<br>GM         | 2014-2017<br>3-17y<br>GM |
| B-Cd | 0,337 (0,320-0,355)                             | 0,212 (0,549-0,689)                             | 0,185 (0,175-0,197)                             | 0,182 (0,176-189)                               | 0,68                               | 0,28 *                  | 0,133                     |                      | <0,06                    |
| U-Cd |                                                 | 0,344 (0,331-0,358)                             |                                                 | 0,259 (0,248-0,271)                             | 0,276                              | 0,17 **                 | 0,055                     | 0,16                 | 0,072                    |
| B-Cu |                                                 | 821 (810-831)                                   | 888 (873-903)                                   | 816 (804-829)                                   | 795                                | 894 **                  |                           |                      |                          |
| U-Cu |                                                 | 13 (12,6-13,4)                                  |                                                 | 9,04 (8,10-10,10)                               | 8,18                               | 11 ***                  |                           |                      |                          |
| B-Pb | 21,3 (20,7-22)                                  | 13,8 (13,4-14,3)                                | 9,26 (8,89-9,64)                                | 7,99 (7,72-8,26)                                | 11,1                               | 9,3**                   | 4,67                      |                      | 9,47                     |
| U-Pb |                                                 |                                                 |                                                 | 0,45 (0,39-0,52)                                | 0,872                              | 0,51 ***                | 0,196                     | 0,59                 |                          |
| B-Mn |                                                 | 9,86 (9,64-10,1)                                | 10,4 (10,1-10,7)                                | 9,37 (9,13-9,60)                                | 9,24                               | 9,97 **                 | 10,5                      |                      |                          |
| U-Mn |                                                 |                                                 |                                                 | 0,113 (0,092-0,138)                             | <0,02                              |                         |                           |                      |                          |
| B-Tl |                                                 | 0,0303 (0,0297-0,0309)                          | 0,0286 (0,028-0,0293)                           | 0,0275 (0,0270-0,0281)                          | <0,01                              |                         |                           |                      |                          |
| U-Tl |                                                 | 0,269 (0,260-0,278)                             |                                                 | 0,293 (0,281-0,307)                             | 0,211                              | 0,23 ***                | 0,168                     | 0,21                 |                          |
| B-Ni |                                                 | 1,2 (1,16-1,24)                                 |                                                 | 0,225 (0,189-0,267)                             | <0,33                              | 0,45**                  |                           |                      |                          |
| U-Ni |                                                 | 2,67 (2,54-2,81)                                |                                                 | 1,28 (1,06-1,56)                                | 2,05                               | 1,3 ***                 |                           | 1,4                  |                          |
| B-Cr |                                                 | 0,291 (0,275-0,308)                             |                                                 | 0,295 (0,278-0,357)                             |                                    |                         | <0,41                     |                      |                          |
| U-Cr |                                                 | 0,345 (0,322-0,369)                             |                                                 | 0,165 (0,145-0,188)                             | 0,134                              |                         |                           |                      | 0,393                    |
| U-Sb |                                                 | 0,085 (0,0834-0,0983)                           |                                                 | 0,047 (0,040-0,055)                             | 0,04                               | 0,06 **                 |                           |                      |                          |

a. Hoet et al; Clin Chem Lab 2013

b. Hoet et al. Clin Chem Lab Med 2021

c. Saravanabhavan et al IJHEH 2017

\* 2016-2017: 3-79y

d. Haines et al; IJHEH 2017

\*\*2007-2009, 12-19y

e Schmiel, Chemosphere 2021

\*\*\*2009-2011, 3-79y

f. Vogel et al IJHEH 2021

### Vergelijking met literatuurwaarden

De bekomen concentraties aan nieuwe elementen werden vergeleken met de meest recent beschikbare literatuur waarden. Zink in bloed en Iodium in urine werden in alle deelnemers van FLEHS IV gemeten, de overige elementen enkel in de geselecteerde deelnemers. De waarden werden vergeleken met Belgische studies op volwassenen (Hoet et al., 2013, 2021), humane biomonitoringsstudies van Canada, VS en Duitsland en andere publicaties. Enkel de publicaties die geen betrekking hadden op beroepsblootstelling werden beschouwd.

**Zink** concentraties in bloed zijn vergelijkbaar met deze gemeten in de volwassen Belgische bevolking en iets lager dan het gemiddelde in de totale Canadese populatie hetgeen kan verklaard worden door de stijging van de Zn concentratie in het bloed met de leeftijd (Saravanabhavan et al. (2017)). Zink is een essentieel mineraal en is na ijzer, het meest voorkomend metaal in het menselijk lichaam. Een tekort aan zink kan tot veel gezondheidsproblemen leiden, onder meer vertraagde groei, vertraagde seksuele ontwikkeling, een verhoogde gevoeligheid aan infectie en diarree en kan ook leiden tot zware psychische depressie. Een teveel aan zink is ook schadelijk voor de gezondheid en kan onder meer leiden tot stoornissen in het zenuwstelsel met verstoorde bewegingscoördinatie, abnormale vermoeibaarheid en een zwaar gebrek aan energie, en een tekort aan koper. Een teveel aan zink kan ook een ongunstig effect hebben op het lipidenmetabolisme. (Plum, Rink & Haase, 2010; Wazir & Ghobrial, 2017). Richtwaarden voor de hoogst wenselijke waarden i.v.m. blootstelling aan zink zijn 6682 µg/L voor bloed en 903 µg/L in urine (Podalgoda et al., 2019). De gemeten waarden in urine in de adolescenten van FLEHS IV hoger dan in de volwassenbevolking in België maar dit kan ook een leeftijdseffect zijn.

**Molybdeen** is ook een essentieel element, een co-factor in verschillende enzymen. Voeding is de voornaamste bron maar in de buurt van molybdeen-verwerkende of -producerende industrie, of verbrandingsbronnen, kan de hoeveelheid molybdeen in lucht en water verhoogd zijn. Gezondheidseffecten bij lage dosissen zijn weinig gekend. Langdurige blootstelling aan hoge concentraties tot meer urinezuur in serum en een ziekte die lijkt op jicht. (Kovalskii et al., 1961; U.S. EPA, 1993). De waargenomen concentraties in bloed van de adolescenten van FLEHS IV zijn lager dan in de volwassenbevolking en de concentraties in urine zijn hoger. De concentraties in bloed komen goed overeen met deze gevonden in adolescenten van de VS en een daling van de concentraties in urine in functie van de leeftijd werd ook gerapporteerd in de VS (CDC, 2015).

**Cobalt** is ook een essentieel element als bestanddeel van Vit B12. Cobalt heeft talrijke industriële alsook medische toepassingen en verhoogde blootstelling kan leiden tot diverse gezondheidseffecten. Blootstelling aan hoge concentraties kan leiden tot neurologische, cardiovasculaire, hormoon versturende en carcinogene effecten (Leysens et al., 2017). Ge gemeten concentraties in bloed van de adolescenten zijn hoger dan deze van de Belgische volwassenpopulatie alsook de adolescentenpopulatie in de VS maar vergelijkbaar met waarden gevonden in Canada. Ook Co in urine van de adolescenten (recente blootstelling) was hoger dan de volwassenenpopulatie in België maar vergelijkbaar met de waarden van adolescenten in de VS.

**Jodium** is een essentieel element voor de normale fysiologische functie van het lichaam. Het komt voornamelijk voor in de schildklier (70 tot 80 %) en speelt er via de vorming van schildklierhormonen een belangrijke rol in het energiemetabolisme en bij verschillende fysiologische functies zoals embryogenese, groei en ontwikkeling. De voorbije decennia werd een jodiumdeficiëntie wereldwijd beschouwd als een van de meest prevalentie nutritionele problemen. Het is het gevolg van een ontoereikende jodiuminname en gaat gepaard met een breed spectrum van klinische ziektesymptomen door te weinig productie van schildklierhormonen (hypothyroïdie). Ter preventie van 'Iodine Deficiency Disorders' (IDD) en jodium-geïnduceerde thyreotoxicose heeft de Hoge Gezondheidsraad in België richtlijnen opgesteld voor een adequate inname (AI) en een maximale toelaatbare inname (MTI) van jodium. Een te grote jodiuminname kan eveneens potentieel schadelijk zijn en leiden tot een jodiumgeïnduceerde thyreotoxicose of een verhoogde aanwezigheid van schildklierhormonen in het bloed. Thyreotoxicose wordt gekenmerkt door onder meer een verhoogd basaal metabolisme, excessief zweeten, tachycardie, hartritmestoornissen, vermoeidheid en vermagering. In België zijn granen en graanproducten, melk en melkproducten, vlees en vleesvervangers, vis, schaal- en schelpdieren de belangrijkste voedingsbronnen van jodium. Slechts in uitzonderlijke omstandigheden kan een voeding die hoofdzakelijk bestaat uit vis, zeevruchten en zeewier tot een te hoge blootstelling aan jodium leiden. Het is vooral een overdreven jodiumsupplementatie via voedingsadditieven die tot een te hoge inname van jodium kan leiden. Volgens EFSA stemt een urinaire concentratie van minstens 100 µg/L overeen met een inname van jodium die optimaal is voor de schildklierfunctie. Vanaf een urinaire concentratie van 200 tot 299 µg/L aan jood in urine is er echter kans op schadelijke effecten. Dit geldt niet voor zwangere vrouwen. Vanaf 300 µg/L jood zullen er schadelijke effecten optreden waarbij de gezondheid in gevaar komt. Dit geldt voor de volledige populatie. (Mizéhoun-Adissoda, et al., 2015). De waargenomen mediaanwaarden komen overeen met een adequate jodiuminname; 10% heeft een waarde <50µg/L en 38% een waarde <100µg/L, hetgeen wijst op een tekort terwijl 20% een waarde boven de 200µg/L heeft waarvan 5% een waarde boven de 300µg/L heeft. In kinderen van de lagere school in België (Vandevijvere et al., 2012) werden gelijkaardige concentraties waargenomen.

**Zilver** wordt in toenemende mate gebruikt in de textiel-, voeding-, cosmetische-en farmaceutische industrie zowel in ionische als nanopartikels omwille van zijn antimicrobiële eigenschappen. Recent werd echter aangetoond dat zilver nanodeeltjes doorheen de bloed-hersenbarriere kan migreren en werden neurotoxische eigenschappen vastgesteld (Antsiferova et al., 2018).



Metingen van zilver in bloed zijn een goede indicator van blootstelling. Ag wordt voornamelijk via de faeces geëlimineerd waardoor de concentraties in urine lager zijn. In de Canadese humane biomonitoring 2009-2011 werd mediaanwaarde van 0,066 µg/L en P95 van 0,27 gemeten. De concentraties gemeten in de FLEHS IV adolescenten zijn iets lager en vergelijkbaar met concentraties gevonden in een beperkte studie in Sweden (Rodishkin et al., 2018).

**Lithium** heeft talrijke industriële toepassingen (batterijen, katalysator in chemische reacties, aluminium productie, enz.), maar ook in de geneeskunde als behandeling tegen depressies. Voornaamste bron van Li voor de algemene bevolking is drinkwater en voeding met grote regionale verschillen. Lithium wordt voornamelijk geëlimineerd via de nieren. Lithium wordt gemeten in bloed, plasma of urine, maar bloed en plasma zijn een betere bio-indicator want Li-toxiciteit tast de nierenwerking aan waardoor de eliminatie vermindert (Ramoju et al., 2020). Er zijn weinig biomonitoringsgegevens van Li beschikbaar voor de referentiepopulatie maar de gemeten concentraties in bloed zijn zeer vergelijkbaar met de waarden gemeten in Italië en de waarden in urine vergelijkbaar met de volwassenbevolking in België.

**Barium** verbindingen worden gebruikt in olie en gasindustrie, in consumptiegoederen (glas, tegels, verf, rubber, rattenvergif,...) alsook in de geneeskunde als contraststof. De blootstellingswegen voor de algemene bevolking is door voeding, drinkwater en lucht. Eliminatie gebeurt voornamelijk via de faeces. Gezondheidseffecten bij lage dosis zijn slecht gekend. Urinary Ba concentraties zijn een indicator voor recente blootstelling. De gemeten waarden in urine van de adolescenten waren gemiddeld hoger dan deze gemeten in de volwassenenpopulatie van België alsook hoger dan in de adolescenten van de VS. Er zijn weinig gegevens over Ba in bloed beschikbaar. De gemeten waarden lager lager dan metingen in Italië.

**Wolfram** heeft talrijke industriële toepassingen gebruikt in electronica, verlichting, legeringen (W-Co acrbide). Blootstelling voor de algemene bevolking is doorgaans door lucht, voeding en drinkwater. Wolfram kan aanzien worden al seen opkomende pollutant daar ecotoxicologische studies aangeven dat verhoogde blootstelling kan leiden to cardiovasculaire en cerebrovasculaire ziektes. Daarenboven kan W in de vorm van  $WO_4^{3-}$  het fosfaat en molybdaat metabolisme verstoren alsook de toxische effecten van Co verhogen. Er zijn weinig biomonitoringsgegevens beschikbaar. De gevonden concentraties lagen iets hoger dan de concentraties gevonden bij de adolescenten in Canada.

**Aluminium.** Mensen staan via verschillende bronnen bloot aan aluminium: voedsel, persoonlijke verzorgingsproducten, schoonmaakmiddelen, bodemdeeltjes en stofdeeltjes. Aluminium zit ook in sommige vaccins en medicijnen, zoals bepaalde maagzuurremmers. De laatste jaren bestaan er zorgen in de samenleving dat het gebruik van aluminium in persoonlijke verzorgingsproducten, zoals deodorant, een te hoge blootstelling aan aluminium kan veroorzaken. Te veel aluminium kan schadelijk zijn voor het zenuwstelsel. Aluminium kan gemeten worden in bloed en urine, maar geen van beide zijn ideale biomerkers van blootstelling aangezien Al slecht geabsorbeerd wordt en Al snel wordt geëlimineerd via de urine. De gemeten concentraties in de adolescenten zijn vergelijkbaar met de concentraties gemeten bij de Belgische volwassenen en in Italië.

**Titanium** wordt gebruikt in talrijke toepassingen, waaronder als voedingsadditief, voedsel verpakkingsmateriaal, cosmetica, productie van papier, verf, enz. Er is toenemende bezorgheid over de blootstelling aan titaniumdioxide nanoparticles daar deze oxidatieve stress kunnen veroorzaken alsook een verhoogd risico op allergieën veroorzaken. Tot nu toe zijn er weinig biomonitoringsstudies waarbij Ti gemeten wordt bij de referentiepopulatie. De bekomen waarden in bloed zijn in dezelfde range als deze gemeten in Italië.



**Vanadium.** Antropogene emissies zijn overwegend van industriële bronnen, voornamelijk olieraffinaderijen en elektriciteitscentrales die olie of steenkool gebruiken. Voedsel de voornaamste blootstellingsbron. Vis en zeevruchten bevatten hogere concentraties dan vlees. Atmosferische depositie kan leiden tot bodemverontreiniging en verhoogde concentraties in groeten. De gemeten concentraties in de adolescenten in bloed en urine zijn vergelijkbaar met de waarden gevonden in Duitsland en Italië en veel lager dan de concentraties gemeten in de volwassenen in België.

**Bismuth** wordt veelvuldig gebruikt in de productie van legeringen, pigmenten, cosmetica en farmaceutische producten. Bismuth is minder toxisch dan Pb, waardoor Pb vervangen werd door Bi in verschillende producten (soldeerdraad, kogels, enz). Bismuth wordt ook gebruikt als nanopartikels, met verschillende industriële en medische toepassingen (additief in smeermiddelen, legeringen, contraststof in medische beeldvorming en radiotherapie). Blootstelling aan hoge concentraties kan leiden tot nierschade en neurologische effecten. Effecten bij lage blootstelling zijn niet gekend. De gemeten concentraties in de adolescenten van FLEHS IV zijn lager dan de geringe beschikbare literatuurwaarden.

**Cerium** is een zeldzaam aardmetaal van de lanthanide reeks. Ce wordt gebruikt (ook in nanopartikels) in electronica, optica, biomedische toepassingen, glaskleuring. Ce is ook een component van de catalysatoren in de autos en ook een additief in diesel. Het heeft ook antibacteriële en antioxiderende eigenschappen. Verhoogde blootstelling aan CeO<sub>2</sub> nanopartikels kan leiden tot oxidatieve stress en celschade. Effecten bij lage blootstelling zijn niet gekend. Blootstelling voor de algemene bevolking vindt plaats door de voeding en inhalatie van fijn stofdeeltjes. De gemeten concentraties in de adolescenten van FLEHS IV zijn lager dan de geringe beschikbare literatuurwaarden.

**Platina** behoort tot de platina groep elementen (PGEs) die in de laatste decennia veelvuldig gebruikt worden als catalysatoren in de autoindustrie (samen met Pd en Rh). Pt heeft ook toepassingen (ook als nanopartikels) in de electronica, optica, als katalysator in de chemische en farmaceutische industrie. Verschillende Pt verbindingen (cisplatin, carboplatin,...) worden gebruikt in de behandeling van kanker. Deze verbindingen worden in geringe mate weerhouden in waterzuiveringsinstallaties en komen in het oppervlaktewater terecht. Blootstelling voor de algemene bevolking vindt plaats door de voeding en inhalatie van fijn stofdeeltjes. De gezondheidseffecten bij lage blootstelling zijn niet gekend. Blootstelling aan hoge concentraties Pt nanopartikels kan leiden tot nier- en leverschade alsook schade aan het DNA. De gemeten concentraties aan Pt in urine van de adolescenten van FLEHS IV (range <0,1-3,6 ng/L) zijn vergelijkbaar met waarden die gevonden worden in de algemene bevolking in andere biomonitoringstudies.

**Hafnium** heeft verschillende toepassingen in electronica, fotografie, verlichting, in legeringen (mede door zijn hoog smeltpunt) met toepassingen in kernreactors. Nanopartikels van HfO<sub>2</sub> worden toegepast in de electronica en radiotherapie. Er zijn weinig gegevens beschikbaar over de toxiciteit. De gemeten concentraties aan Hf in urine van de adolescenten van FLEHS IV (range 0,16-8,2 ng/L) zijn vergelijkbaar met waarden gevonden in de literatuur (Rodushkin en Ödman, 2001; Morton et al., 2014).

**Uranium** heeft toepassingen als nucleaire brandstof, in keramische materialen, in de fotografie en microscopie. Concentraties in grondwater kunnen zeer verschillend zijn naargelang de regio en de voornaamste blootstellingsroute voor de algemene bevolking is drinkwater (zowel kraantjeswater als mineraalwater) en voeding (EFSA, 2009). Gezondheidseffecten bij lage blootstelling zijn niet gekend.



Bij hogere blootstelling kan de chemische toxiciteit van uranium nierschade veroorzaken. De gemeten concentraties aan U in urine van de adolescenten van FLEHS IV (range <0,1-86 ng/L) zijn vergelijkbaar met waarden gevonden in de literatuur (Rodushkin en Ödman, 2001; Ratelle et al., 2020; Haines et al., 2017).

|      | FLEHS IV<br>2016-2020<br>adolescents<br>GM (95% CI)<br>µg/L | Belgium <sup>ab</sup><br>2010-2016<br>18-70y<br>P50<br>µg/L | Vlaand. <sup>c</sup><br>2010<br>6-12y<br>GM<br>µg/L | Wallon. <sup>c</sup><br>2010<br>6-12y<br>GM<br>µg/L | Canada <sup>d</sup><br>2009-2011<br>3-79y<br>GM<br>µg/L | US NHANES <sup>e</sup><br>2015-2016<br>12-19y<br>GM<br>µg/L | Germany <sup>f</sup><br>adults<br>GM<br>µg/L | Canada <sup>g</sup><br>GM<br>µg/L | andere <sup>hi</sup><br>µg/L |
|------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| B_Zn | 5270 (5200-5360)                                            | 5477                                                        |                                                     |                                                     | 5900                                                    |                                                             |                                              |                                   | 6597 <sup>i</sup>            |
| U_Zn | 423 (362-495)                                               | 256                                                         |                                                     |                                                     | 320                                                     |                                                             | 308                                          |                                   | 430 <sup>j</sup>             |
| B_Mo | 0,614 (0,574-0,657)                                         | 0,77                                                        |                                                     |                                                     | 0,66                                                    | 0,68                                                        |                                              |                                   | 2,88 <sup>i</sup>            |
| U_Mo | 49 (43-55)                                                  | 31                                                          |                                                     |                                                     | 45                                                      | 44,6                                                        | 32                                           |                                   | 41 <sup>j</sup>              |
| B_Co | 0,232 (0,212-0,254)                                         | <0,1                                                        |                                                     |                                                     | 0,23                                                    | 0,151                                                       |                                              |                                   | 0,11 <sup>k</sup>            |
| U_Co | 0,617 (0,500-0,751)                                         | 0,184                                                       |                                                     |                                                     | 0,23                                                    | 0,571                                                       | 0,35                                         | 0,34                              | 0,21 <sup>i</sup>            |
| U_I  | 116 (110-121)                                               |                                                             | 107,4                                               | 118,5                                               |                                                         |                                                             |                                              |                                   |                              |
| B_Ag | 0,028 (0,025-0,032)                                         |                                                             |                                                     |                                                     | 0,066                                                   |                                                             |                                              |                                   | 0,028 <sup>h</sup>           |
| U_Ag | 0,013 (0,011-0,016)                                         |                                                             |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              |                                   | 0,023 <sup>h</sup>           |
| B_Li | 0,75 (0,66-0,85)                                            |                                                             |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              | <LOD                              | 0,71 <sup>i</sup>            |
| U_Li | 26,9 (23,1-31,2)                                            | 22,9                                                        |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              | 17                                | 13,5 <sup>j</sup>            |
| B_Ba | 0,77 (0,68-0,87)                                            |                                                             |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              | <LOD                              | 1,13 <sup>i</sup>            |
| U_Ba | 2,7 (2,27-3,21)                                             | 1,91                                                        |                                                     |                                                     |                                                         | 1,45                                                        |                                              | 1,4                               | 1,6 <sup>j</sup>             |
| U_W  | 0,216 (0,189-0,246)                                         |                                                             |                                                     |                                                     | <LOD                                                    | 0,104                                                       |                                              |                                   | 0,0485 <sup>i</sup>          |
| B_Al | 13,55 (12,38-14,84)                                         | <15                                                         |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              | <LOD                              | 15,3 <sup>i</sup>            |
| U_Al | 3,30 (2,93-3,72)                                            | 2,17                                                        |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              | 14                                | 2,0 <sup>j</sup>             |
| B_Ti | 4 (3-45)                                                    |                                                             |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              |                                   | 11,2 <sup>k</sup>            |
| U_Ti | 0,250 (0,236-0,266)                                         |                                                             |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              |                                   | 0,12 <sup>i</sup>            |
| B_V  | 0,018 (0,016-0,020)                                         | <0,14                                                       |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              |                                   | 0,08 <sup>i</sup>            |
| U_V  | 0,024 (0,021-0,027)                                         | 0,248                                                       |                                                     |                                                     | <LOD                                                    |                                                             | 0,04                                         | 0,15                              | 0,04 <sup>i</sup>            |
| B_Bi | 0,0045 (0,00386-0,00526)                                    | <0,07                                                       |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              |                                   | 0,03                         |
| U_Bi | 0,0065 (0,0050-0,0085)                                      | <0,016                                                      |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              |                                   | 0,029 <sup>j</sup>           |
| U_Ce | 0,0022 (0,0018-0,0027)                                      |                                                             |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              |                                   | 0,029 <sup>j</sup>           |
| B_Pt | 0,0011 (0,00093-0,0013)                                     |                                                             |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              |                                   | 0,0002 <sup>h</sup>          |
| U_Pt | 0,0007 (0,0006-0,0009)                                      | <0,061                                                      |                                                     |                                                     |                                                         | <0,0017                                                     | 0,002                                        |                                   | <0,0016 <sup>j</sup>         |
| U_Hf | 0,0009 (0,0008-0,0011)                                      |                                                             |                                                     |                                                     |                                                         |                                                             |                                              |                                   | 0,0016 <sup>j</sup>          |
| B_U  | 0,0031 (0,0039-0,0035)                                      |                                                             |                                                     |                                                     | <LOD                                                    |                                                             |                                              | <LOD                              |                              |
| U_U  | 0,0037 (0,0031-0,0044)                                      |                                                             |                                                     |                                                     | <LOD                                                    | 0,005                                                       |                                              | 0,0058                            | 0,0045 <sup>j</sup>          |

- a. Hoet al a; Clin Chem Lab 2013
- b. Hoet et al. Clin Chem Lab Med 2021
- c. Vandevijvere et al., 2012b
- d. Saravanabhavan et al IJHEH 2017
- e. Haines et al; IJHEH 2017
- f Schmied, Chemosphere 2021
- g. Ratelle et al 2020
- h. Rodushkin et al, 2018
- i. Alimonte et al., 2005
- j. Rodushkin & Odman, 2001
- k. Böckmann et al., 2000

**Studie van de determinanten van blootstelling voor metalen en jodium bij 610 adolescenten van FLEHS 4**

De gevonden associaties worden weergegeven in onderstaande tabel.

Inleidende opmerking: uit de beschreven associaties kan natuurlijk niet afgeleid worden dat een negatieve associatie tussen een voedingsmiddel en een metaal wijst op een beschermend effect van het voedingsmiddel tegen blootstelling aan het metaal. Wel kan gesteld worden dat een hogere consumptie van het voedingsmiddel geassocieerd is aan een toestand die beschermt tegen de blootstelling aan het metaal. Merkwaardig is dat melk en melkproducten, noten en zaden en ontbijtgranen en muesli duidelijk geassocieerd zijn aan een verminderde blootstelling aan Thallium.



Een positieve associatie tussen de consumptie van een voedingsmiddel en een metaal kan daarentegen wel wijzen op het feit dat het voedingsmiddel mogelijk een bron is van blootstelling aan het metaal. Mogelijk leiden vis en noten en zaden tot een hogere blootstelling aan Cadmium, groenten, vis en eieren tot een hogere blootstelling aan lood, eieren tot een hogere blootstelling aan zink, melk en melkproducten en mogelijk ook ontbijtgranen en muesli tot een hogere blootstelling aan Iodium.

| Metaal (In waarde) | Voedselconsumptie per dag | Estimate | p        |
|--------------------|---------------------------|----------|----------|
| BCd                | Aardappelen               | 0,05577  | 0,2477   |
| BCd                | Melk en melkproducten     | 0,00730  | 0,684069 |
| BCd                | Noten en zaden            | 0,13166  | 0,038157 |
| BCd                | Ontbijtgranen en muesli   | -0,02459 | 0,470599 |
| BCd                | Fruit                     | -0,00655 | 0,932662 |
| BCd                | Groenten                  | 0,04222  | 0,158796 |
| BCd                | Vis totaal                | 0,06895  | 0,427114 |
| BCd                | Orgaanvlees               | -0,58776 | 0,281878 |
| BCd                | Eieren                    | 0,13978  | 0,127518 |
| BTI                | Aardappelen               | 0,014661 | 0,593092 |
| BTI                | Melk en melkproducten     | -0,02185 | 0,031283 |
| BTI                | Noten en zaden            | -0,11748 | 0,001059 |
| BTI                | Ontbijtgranen en muesli   | -0,05677 | 0,003195 |
| BTI                | Fruit                     | -0,11175 | 0,010683 |
| BTI                | Groenten                  | 0,022672 | 0,183859 |
| BTI                | Vis totaal                | 0,039668 | 0,420192 |
| BTI                | Orgaanvlees               | -0,26271 | 0,396985 |
| BTI                | Eieren                    | -0,00078 | 0,988038 |
| BPb                | Aardappelen               | 0,011500 | 0,805400 |
| BPb                | Melk en melkproducten     | -0,02297 | 0,184919 |
| BPb                | Noten en zaden            | -0,04702 | 0,445374 |
| BPb                | Ontbijtgranen en muesli   | -0,07377 | 0,024662 |
| BPb                | Fruit                     | -0,04094 | 0,584863 |
| BPb                | Groenten                  | 0,067251 | 0,019867 |
| BPb                | Vis totaal                | 0,146790 | 0,078536 |
| BPb                | Orgaanvlees               | 0,163285 | 0,757289 |
| BPb                | Eieren                    | 0,345097 | 0,000086 |
| BMn                | Aardappelen               | -0,04146 | 0,247679 |
| BMn                | Melk en melkproducten     | 0,013790 | 0,300571 |
| BMn                | Noten en zaden            | -0,05571 | 0,239187 |
| BMn                | Ontbijtgranen en muesli   | -0,02966 | 0,241593 |
| BMn                | Fruit                     | -0,02869 | 0,618315 |
| BMn                | Groenten                  | 0,015463 | 0,488598 |
| BMn                | Vis totaal                | 0,093525 | 0,146756 |
| BMn                | Orgaanvlees               | 0,184627 | 0,649339 |
| BMn                | Eieren                    | -0,01079 | 0,874247 |
| BCu                | Aardappelen               | -0,00524 | 0,808194 |
| BCu                | Melk en melkproducten     | -0,01160 | 0,146812 |
| BCu                | Noten en zaden            | -0,02524 | 0,374786 |
| BCu                | Ontbijtgranen en muesli   | 0,002510 | 0,869247 |
| BCu                | Fruit                     | -0,04601 | 0,182936 |
| BCu                | Groenten                  | -0,01802 | 0,178866 |
| BCu                | Vis totaal                | -0,01059 | 0,785152 |
| BCu                | Orgaanvlees               | 0,032283 | 0,893936 |



| Metaal (In waarde) | Voedselconsumptie per dag | Estimate | p        |
|--------------------|---------------------------|----------|----------|
| BCu                | Eieren                    | 0,004293 | 0,916773 |
| BZn                | Aardappelen               | 0,017570 | 0,406215 |
| BZn                | Melk en melkproducten     | 0,005062 | 0,519504 |
| BZn                | Noten en zaden            | -0,04254 | 0,126983 |
| BZn                | Ontbijtgranen en muesli   | 0,008814 | 0,554978 |
| BZn                | Fruit                     | -0,01663 | 0,624211 |
| BZn                | Groenten                  | 0,002970 | 0,821429 |
| BZn                | Vis totaal                | 0,023257 | 0,541362 |
| BZn                | Orgaanvlees               | -0,07717 | 0,747212 |
| BZn                | Eieren                    | 0,075652 | 0,058869 |
| UCd                | Aardappelen               | -0,03117 | 0,603397 |
| UCd                | Melk en melkproducten     | 0,022234 | 0,303133 |
| UCd                | Noten en zaden            | 0,093124 | 0,226092 |
| UCd                | Ontbijtgranen en muesli   | 0,059343 | 0,147387 |
| UCd                | Fruit                     | 0,102066 | 0,274976 |
| UCd                | Groenten                  | -0,00560 | 0,876298 |
| UCd                | Vis totaal                | 0,177263 | 0,087153 |
| UCd                | Orgaanvlees               | -0,43511 | 0,507659 |
| UCd                | Eieren                    | 0,09641  | 0,379810 |
| UI                 | Aardappelen               | -0,06043 | 0,329662 |
| UI                 | Melk en melkproducten     | 0,144434 | 0,000000 |
| UI                 | Noten en zaden            | -0,06895 | 0,385255 |
| UI                 | Ontbijtgranen en muesli   | 0,070519 | 0,094629 |
| UI                 | Fruit                     | -0,05722 | 0,553891 |
| UI                 | Groenten                  | 0,051861 | 0,161684 |
| UI                 | Vis totaal                | 0,026887 | 0,801302 |
| UI                 | Orgaanvlees               | -0,34933 | 0,607085 |
| UI                 | Eieren                    | 0,012829 | 0,909532 |
| UTI                | Aardappelen               | 0,001587 | 0,965090 |
| UTI                | Melk en melkproducten     | -0,03221 | 0,013035 |
| UTI                | Noten en zaden            | -0,07636 | 0,099652 |
| UTI                | Ontbijtgranen en muesli   | -0,06878 | 0,005177 |
| UTI                | Fruit                     | -0,04834 | 0,391795 |
| UTI                | Groenten                  | -0,00520 | 0,810533 |
| UTI                | Vis totaal                | 0,041364 | 0,508284 |
| UTI                | Orgaanvlees               | -0,19807 | 0,617990 |
| UTI                | Eieren                    | 0,046136 | 0,486808 |

Afkortingen: BcD Cadmium in bloed, BTl Thallium in bloed, BPb Lood in bloed, BMn Mangaan in bloed, BCu Koper in bloed, BZn Zink in bloed, UCd Cadmium in urine UI Jodium in urine, UTI Thallium in urine

### Studie van de associaties tussen metalen en gezondheidseffecten van de metalen gemeten in de FLEHS IV studie op alle deelnemers

De gevonden associaties worden uitgebreid weergegeven het deelrapport “metalen en metalloïden, te raadplegen op SharePoint. Volgende associaties werden gevonden: Cadmium in bloed is zwak geassocieerd met een stijging van oxidatieve DNA schade. Lood in bloed is geassocieerd met negatieve effecten op de cognitie. Mangaan in bloed is geassocieerd met een lichte daling van de oxidatieve DNA schade en met negatieve effecten op de cognitie.





Koper in bloed is geassocieerd met een stijging van ontstekingsreacties (verhouding neutrofielen op lymfocyten) en met een stijging van het hartritme. Iodium in de urine is geassocieerd met een lichte stijging van ontstekingsreacties (verhouding neutrofielen op lymfocyten) en met een stijging van oxidatieve DNA schade alsmede met gunstige effecten op de cognitie en met een lichte stijging van de bloeddruk. Thalium in de urine is geassocieerd met een stijging van oxidatieve DNA schade.

*Studie van de associaties tussen metalen en gezondheidseffecten van de nieuwe metalen gemeten in de selectie van deelnemers uit de FLEHS IV studie*

**1. Inleiding**

De gevonden associaties worden uitgebreid weergegeven het deelrapport “metalen en metalloïden, te raadplegen op SharePoint. Het aantal waarnemingen per associatie is in vele gevallen beperkt, en er blijft dus onzekerheid bestaan. Doordat hier slechts metingen op 84 personen gebeurden, en omdat niet alle effecten of metalen bij elke persoon konden gemeten worden, is het aantal personen bij wie een bepaalde associatie kon onderzocht worden soms zeer beperkt. Vandaar ook dat de p waarden dikwijls de significantie niet kunnen bereiken, zelfs als de sterkte van de associatie soms duidelijk is. Hier en daar worden associaties met p waarden rond de 0.1 vermeld wanneer de associatie in kwestie consistent is met andere gegevens.

Er dient op gewezen dat, gezien het grote aantal associaties die werden onderzocht, er onvermijdelijk een aantal significanties of marginale significanties aan het toeval te wijten zijn.

Ook kunnen “outliers” (blootstellingswaarden die veel hoger zijn dan nagenoeg alle andere en die door hun positie in een blootstellings-effect scatterplot een grote invloed hebben op de richtingscoëfficiënt van de regressiecurve) een bijzonder groot effect hebben op een associatie die gesteund is op een beperkt aantal gegevens. Er dient echter opgemerkt dat niet kan uitgesloten worden dat hoge blootstellingswaarden andere effecten kunnen hebben dan lagere.

**2. Waarnemingen**

**Lithium** is geassocieerd met negatieve effecten op de cognitie en met een verhoging van de systolische bloeddruk.

**Molybdeen** is geassocieerd met een toename van de lengte van telomeren, met een daling van het aantal micronuclei, met gunstige effecten op de cognitie, met een vertraging van het hartritme en marginaal geassocieerd met een daling van het stress hormoon cortisol.

**Barium** is geassocieerd met een ongunstig effect op de cognitie, met een daling van het stress hormoon cortisol bij meisjes, en marginaal significant met een stijging van de systolische bloeddruk.

**Platinum** is waarschijnlijk geassocieerd met een toename van de lengte van telomeren, en met een stijging van het aantal micronuclei, met een stijging van het stress hormoon cortisol, en (doorheen 5 associaties) met een ongunstig effect op de cognitie en **Bismuth** is geassocieerd met een stijging van de systolische bloeddruk.

**Aluminium** in bloed is doorheen 3 associaties marginaal significant of significant geassocieerd met ongunstige effecten op de cognitie, terwijl aluminium in urine in één associatie marginaal significant geassocieerd is met een gunstig effect op de cognitie. Aluminium is geassocieerd met een stijging van de bloeddruk en met een daling van het hartritme.

**Titanium** is doorheen 4 associaties significant of marginaal significant geassocieerd met ongunstige effecten op de cognitie, is significant geassocieerd aan een afname van de oxidatieve DNA schade en marginaal significant aan een daling van de diastolische bloeddruk.

**Zilver** is significant geassocieerd aan een toename van de DNA schade, aan een stijging van het stress hormoon cortisol, vooral dan bij jongens, en aan een ongunstig effect op de cognitie.

**Antimoon** is significant geassocieerd aan een toename van ontstekingsreacties in termen van de verhouding tussen neutrofielen en lymfocyten.



**Hafnium** is waarschijnlijk geassocieerd aan een stijging van het stress hormoon cortisol, significant bij meisjes, significant of marginaal significant aan ongunstige effecten op de cognitie en wellicht geassocieerd aan een stijging van de diastolische bloeddruk.

**Chroom** is marginaal significant geassocieerd aan een stijging van de DNA schade, aan een stijging van het hartritme, significant aan een daling van de systolische bloeddruk en aan gunstige effecten op de cognitie.

**Nikkel** is significant geassocieerd aan een ongunstig effect op de cognitie.

**Koper** is significant geassocieerd aan een afname van de telomeerlengte,, marginaal significant geassocieerd aan een afname van de DNA schade, aan gunstige effecten op de cognitie, aan een stijging van het stress hormoon cortisol, en aan een toename van het hartritme.

**Uranium** is significant geassocieerd aan een daling van het stress hormoon cortisol, deze daling betreft zowel jongens als meisjes. Vanadium is marginaal significant geassocieerd aan een daling van het hartritme.

**Cobalt** is marginaal significant geassocieerd aan een daling van zowel de diastolische als systolische bloeddruk.

**Lood** is marginaal significant geassocieerd aan een daling van de systolische bloeddruk.

**Zink** is significant geassocieerd aan een vermindering van de telomeerlengte.

### **3. Enkele elementen van discussie.**

Blijkbaar vinden we veel associaties (69). Een deel ervan zijn mogelijk aan het toeval te wijten, zoals een negatieve associatie tussen lood in urine en bloeddruk. Dat we veel associaties vinden is misschien wel begrijpelijk. Metalen zijn biologisch actieve elementen, die interageren met tal van biologische macromoleculen. Zij spelen een fysiologische rol als co-enzymen en kunnen daarnaast de werking van andere enzymen verstoren. Hun effecten hangen zeer waarschijnlijk ook af van de concentraties.

Volgende associaties zijn misschien consistent met gekende eigenschappen of toepassingen van metalen:

- Aluminium is sinds lang gekend voor zijn neurotoxische effecten;
- Lithium en cognitie: Lithium wordt gebruikt als psychofarmakon en heeft blijkbaar duidelijke effecten op het zenuwstelsel;
- Molybdeen blijkt gunstige effecten te hebben. Het werd soms beschouwd in het verleden als anti-carcinogeen;
- Zilver is sinds lang gekend voor zijn neurotoxische effecten;
- Koper is belangrijk voor normale fysiologische reacties.

Dat een aantal metalen ongunstige biologische en gezondheidseffecten hebben is goed gekend, onder meer voor lood, chroom, zink. De ongunstige effecten van lage concentraties van Platinum zouden wel bijzonder belangrijk kunnen zijn in de huidige context van een toenemend gebruik van zeldzame metalen in katalysatoren en electronica.

#### **4.2.2.4 Conclusies en beleidsrelevantie**

- De vergelijking van de concentraties aan metalen gemeten in de adolescenten van FLEHS IV in vergelijking tot de adolescenten van FLEHS II en III toont een duidelijk dalend trend in concentraties voor een aantal elementen (waaronder Cd, Pb, Ni, Cr, Sb). De waargenomen concentraties zijn toch nog hoger dan waarden gemeten voor adolescenten in andere biomonitoringsstudies zoals deze in de VS, hetgeen wijst op een hogere blootstelling.
- De concentraties van “nieuwe elementen” kunnen dienen als referentie voor verdere biomonitoringstudies in Vlaanderen.
- Er werden talrijke associaties tussen de metalen en gezondheidseffecten waargenomen. De waargenomen associaties zijn consistent met gekende biologische activiteit van metalen en de rol van metalen in de inductie van kanker, neurologische en nefrologische aandoeningen



- Bijkomend onderzoek naar de inwendige blootstelling aan metalen en de daarmee verband houdende gezondheidseffecten is wenselijk. Dit ook omwille van de stijgende technologische toepassing van een aantal metalen (autoindustrie, hernieuwbare energie, electronica, geneeskunde, toepassingen nanopartikels). Het is dus aangewezen om in een toekomstige HBM een breed gamma aan elementen mee te nemen in de screening.

#### 4.2.2.5 Referenties

- Alimonti A., G. Forte, S. Spezia, A. Gatti ; G. Mincione, A. Ronchi, P; Bavazzano, B. Bocca, C. Minoia. Uncertainty of inductively coupled plasma mass spectrometry based measurements : an application to the analysis of urinary barium, cesium, antimony and tungsten. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2005, 19, 3131-3138
- Böckmann J. , Herbert Lahl, Th. Eckert, B Unterhalt. Blood levels of titanium before and after oral administration of titanium dioxide, 2000, *Pharmazie* 55(2):140-3
- Cosselman K. A. Navas-Acien, J. Kaufman. Environmental factors in cardiovascular disease. 2015 *Nat Rev Cardiol* 2015 Nov;12(11):627-42.
- Haines D.A. G. Saravanabhavan, K. Werry, C. Khoury. An overview of human biomonitoring of environmental chemicals in the Canadian Health Measures Survey: 2007–2019. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 220 (2017) 13–28
- Heitland, P., & Köster, H. (2004). Fast, simple and reliable routine determination of 23 elements in urine by ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 1552–1558.
- Hoet, P., Jacquerye, C., Deumer, G., Lison, D., & Haufroid, V. (2013). Reference values and upper reference limits for 26 trace elements in the urine of adults living in Belgium. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 51(4), 839–849.
- Hoet, P., Jacquerye, C., Deumer, G., Lison, D., Haufroid, V. Reference values of trace elements in blood and/or plasma in adults living in Belgium. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 2021, 59(4), pp. 729–742
- Jakubowski. M. Low-level environmental lead exposure and intellectual impairment in children--the current concepts of risk assessment. *Int.J.Occup.Med.Environ.Health* 24 (1):1-7, 2011.
- James, K. A. and J. R. Meliker. Environmental cadmium exposure and osteoporosis: a review. *Int.J.Public Health* 58 (5):737-745, 2013.
- Jurkowska, K., E. M. Kratz, E. Sawicka, and A. Piwowar. The impact of metalloestrogens on the physiology of male reproductive health as a current problem of the XXI century. *J.Physiol Pharmacol.* 70 (3), 2019.
- Ludvigsson, J., P. Andersson-White, and C. Guerrero-Bosagna. Toxic metals in cord blood and later development of Type 1 diabetes. *Pediatr.Dimens.* 4 (2), 2019.
- Morton J., Emma Tan, Elizabeth Leese, John Cocker. Determination of 61 elements in urine samples collected from a non-occupationally exposed UK population. *Toxicology Letters*, 2914, 231, 179-193
- Ratelle Mylene, Sarapackull-McCormick, Michele Bouchard, Shannon Majowicz, Brian Laird. Human biomonitoring of metals in sub-arctic dene communities of the northwest territories, Canada. *Environmental research volume 190*, november 2020, 110008
- Rodushkin, I., Odman, F., 2001. Application of inductively coupled plasma sector field mass spectrometry for elemental analysis of urine. *J. TRACE Elem. Med. Biol.* 14, 241–247.
- Sabath E., and M. L. Robles-Osorio. Renal health and the environment: heavy metal nephrotoxicity. *Nefrologia.* 32 (3):279-286, 2012.
- Saravanabhavan Gurusankar, Kate Werry, Mike Walker, Douglas Haines, Morie Malowany, Cheryl Khoury. Human biomonitoring reference values for metals and trace elements in blood and urine derived from the Canadian Health Measures Survey 2007–2013. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 220 (2017) 189–200
- Schmidt, M., and M. Goebeler. Immunology of metal allergies. *J.Dtsch.Dermatol.Ges.* 13 (7):653-660, 2015.
- Schmied A., Aline Murawski, Marike Kolossa-Gehring, Peter Kujath. Determination of trace elements in urine by inductively coupled plasma-tanden mass spectrometry\_ Biomonitoring of adults in the German capital region. *Chemosphere*, 285, 2021, 131425
- Schroijen C. , W. Baeyens, G. Schoeters, E. Den Hond, G. Koppen, L. Bruckers, V. Nelen, E. Van De Mieroop, M. Bilau, A. Covaci, , H. Keune, I. Loots, J. Kleinjans, W. Dhooze and Nicolas Van Larebeke. Internal exposure to pollutants measured in blood and urine of Flemish adolescents in function of area of residence. (2008) *CHEMOSPHERE.* 71(7). p.1317-1325
- Soyseth, V., H. L. Johnsen, and J. Kongerud. Respiratory hazards of metal smelting. *Curr.Opin.Pulm.Med.* 19 (2):158-162, 2013.



Vandevijvere S. , Ahmed Bensouda Mourri, Sihame Amsalkhir, Freddy Avni, Herman Van Oyen, and Rodrigo Moreno-Reyes. Fortification of Bread with Iodized Salt Corrected Iodine Deficiency in School-Aged Children, But Not in Their Mothers: A National Cross-Sectional Survey in Belgium. THYROID, Volume 22, Number 10, 2012

Wang, Z., and C. Yang. Metal carcinogen exposure induces cancer stem cell-like property through epigenetic reprogramming: A novel mechanism of metal carcinogenesis. Semin.Cancer Biol. 57:95-104, 2019.

