Vlaanderen
is omgeving

Ontwikkelen van een omgevingsindicatorenset en het in kaart brengen van biomerkers om de gezondheidsimpact van de klimaatverandering te monitoren

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

Ontwikkelen van een omgevingsindicatorenset en het in kaart brengen van biomerkers om de gezondheidsimpact van de klimaatverandering te monitoren

Binnen deze studie worden tools uitgewerkt waarmee het Vlaams Planbureau voor Omgeving de gezondheidsimpact van de klimaatverandering kan monitoren. Een eerste luik van de studie betreft de ontwikkeling van een set van omgevingsindicatoren om de gezondheidsimpact van klimaatverandering op te volgen. Voor een geselecteerde set van omgevingsindicatoren wordt een haalbaarheidsanalyse uitgevoerd, gevolgd door een demonstratie van een aantal indicatoren.
In het tweede luik van de studie wordt onderzocht op welke wijze de link tussen klimaatverandering en gezondheid, aan de hand van biomerkers, kan worden bestudeerd binnen het Vlaams Humaan Biomonitorings (HBM)-programma.

Dit rapport bevat de mening van externe auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Peter Cabus
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Van de Vel Karen – VITO
Verheyen Veerle – VITO
Lefebre Filip – VITO
Couderé Koen – Kenter
Wouters Hendrik – VITO
Nicolas Bruffaerts – Sciensano
Sylvie Remy - VITO
Ann Packeu - Sciensano

Wijze van citeren
Van de Vel, K., Verheyen, V., Lefebre, F., Couderé, K., Wouters, H., Bruffaerts, N., Remy, S., Packeu, A. (2022). *Ontwikkelen van een omgevingsindicatorenset en het in kaart brengen van biomerkers om de gezondheidsimpact van de klimaatverandering te monitoren*.

PARTNERS

DEPARTEMENT OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

INLEIDING

CONTEXT

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), van de United Nations geeft als definitie voor klimaatverandering “any change in climate over time whether due to natural variability or as a result of human activity.” (IPCC, 1995). De gevolgen van klimaatverandering hebben grote impact op de volksgezondheid, maatschappij en economie, zoals ook beschreven in de ‘*Lancet Countdown on health and climate change*’ (Watts et al., 2021).
De impact van het veranderende klimaat op de menselijke gezondheid kan verschillende vormen aannemen: verhoogde morbiditeit en mortaliteit bij hittegolven, verergering van astmasymptomen bij verhoogde ozonconcentraties, toename van allergie door verhoogde pollenconcentraties en gewijzigde variëteit en/of allergeniciteit van pollen, toename van het aantal infecties (overgedragen via vectoren, water, lucht of voeding), een verhoogde blootstelling aan chemische stoffen onder invloed van hogere temperaturen, droogte en wind, verhoogde kans op blootstelling aan voedingscontaminanten (zoals mycotoxines, prioritaire polluentengroep binnen HBM4EU), mentale stress door de toename van extreme weersomstandigheden en een verhoogde kans op natuurrampen (branden, overstromingen, droogte, stormen).
Om efficiënte mitigatie- en adaptatieplannen te ontwikkelen en om de effectiviteit ervan op te volgen, is het van belang om een goed inzicht te hebben in de verwachte impact van klimaatverandering. Deze impacts worden, volgens het risicoraamwerk gehanteerd door IPCC (2014), bepaald door de klimaattoestand, de blootstelling eraan en de kwetsbaarheid ervoor.

DOELSTELLING VAN DE STUDIE

Binnen deze studie worden tools uitgewerkt waarmee het Vlaams Planbureau voor Omgeving de gezondheidsimpact van de klimaatverandering kan monitoren. Een eerste luik van de studie betreft de ontwikkeling van een set van omgevingsindicatoren waarmee de gezondheidsimpact van klimaatverandering kan opgevolgd worden. Er wordt hierbij vertrokken van een longlist van omgevingsindicatoren, waarna een filtering gebeurt op basis van beleidsrelevantie. Voor de omgevingsindicatoren in de beknopte lijst wordt een haalbaarheidsanalyse uitgevoerd gevolgd door een demonstratie van een aantal indicatoren. In een tweede luik van de studie wordt onderzocht op welke wijze de link tussen klimaatverandering en gezondheid kan worden bestudeerd binnen het Vlaams Humaan Biomonitorings (HBM)-programma.

RAPPORT

In dit rapport wordt in hoofdstuk 1 een kennissynthese gepresenteerd van de gezondheidsimpact van klimaatverandering op basis van wetenschappelijke literatuur en Vlaamse expertise. In hoofdstuk 2 wordt de uitwerking van een lijst van omgevingsindicatoren voor klimaatverandering en gezondheid, beschreven. Mogelijkheden om de impact van klimaatverandering op menselijke gezondheid te bestuderen binnen het Vlaams HBM-programma worden geëvalueerd in hoofdstuk 3. Er wordt hierbij vertrokken van een selectie van relevante biomerkers en omgevingsindicatoren, waarna een aanzet tot praktische implementatie ervan in een breed Vlaams HBM-programma wordt geëvalueerd. Conclusies en beleidsaanbevelingen worden geformuleerd in hoofdstuk 4.

INHOUDSTAFEL

Inleiding 3

Context 3

Doelstelling van de studie 3

Rapport 3

1 Algemeen - Gezondheidsimpact van klimaatverandering 6

1.1 Gezondheidsimpact van temperatuursverandering 7

1.1.1 Acute fysiologische reactie op hitte 9

1.1.2 Langere-termijn fysiologische gevolgen van hittestress 10

1.2 Gezondheidsimpact van toename blootstelling aan UV-straling 11

1.3 Gezondheidsimpact van toename schimmel- en algengroei 12

1.4 Gezondheidsimpact van verhoogde blootstelling aan chemische polluenten 14

1.5 Gezondheidsimpact van toename aan allergenen op allergie en luchtwegaandoeningen 21

1.6 Gezondheidsimpact door toename van infectieziekten 23

1.7 Gezondheidsimpact van klimaatverandering op mentale gezondheid en welbevinden 25

1.8 Factoren die de kwetsbaarheid beïnvloeden 26

1.8.1 Leeftijd 26

1.8.2 Gezondheidsstatus 27

1.8.3 Woonplaats 27

1.8.4 Socio-economische parameters 28

2 Omgevingsindicatoren om de gezondheidsimpact van klimaatverandering te monitoren.. 30

2.1 Inleiding 30

2.2 Opstellen van een longlist van omgevingsindicatoren 30

2.2.1 Methodologisch kader 30

2.2.2 Gevolgde methode voor het opstellen van de longlist 32

2.2.3 Resultaten 34

2.3 Filtering van de longlist op basis van beleidsrelevantie 37

2.3.1 Organisatie van de bevraging 37

2.3.2 Resultaten 38

2.4 Haalbaarheidsanalyse van omgevingsindicatoren 51

2.4.1 Inleiding 51

2.4.2 Aanpak 52

2.4.3 Resultaten haalbaarheidsanalyse 53

2.4.4 Conclusie haalbaarheidsanalyse 69

2.5 Demonstratie 71

2.5.1 Gemiddelde en max. temperatuur van het kustwater en het water in estuaria 71

2.5.2 Brandwaarschuwingsindex 78

2.5.3 Oppervlakte afgebrande gebieden per jaar 83

2.5.4 Blootgestelde bevolking aan rookpluim natuurbrand 84

2.5.5 UV-index 86

2.5.6 Neerslagtekort in lente, zomer en herfst 87

3 Biomerkers om de gezondheidsimpact van klimaatverandering te monitoren..... 92

3.1 Inleiding 92

3.2 Plan van aanpak voor opstellen biomerkers voor monitoring gezondheidsimpact van klimaatverandering 92

3.2.1 Opstellen van een longlist van biomerkers 92

3.2.2 Opstellen van een shortlist door filtering van de longlist 93

3.2.3 Aanzet tot onderzoeksopzet 94

3.3 Biomerkers voor blootstelling aan chemische stoffen 94

3.3.1 HBM van vluchtige organische stoffen (VOC's) in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen 94

3.3.2 HBM van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en urinaire koolstoflading in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen 95

3.3.3 HBM van chemische stoffen in zonnebrandproducten in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen 96

3.3.4 HBM van pesticiden in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen 97

3.3.5 HBM van zware metalen in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen 98

3.3.6 Overige chemische stoffen uit de Vlaamse HBM in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen 99

3.4 Biomerkers voor toxineblootstelling 99
3.4.1 HBM van mycotoxines in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen 99
3.4.2 HBM van cyanotoxines in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen 101
3.5 Biomerkers voor dehydratatie en nierschade 102
3.6 Biomerkers voor oxidatieve en fysiologische stress 102
3.7 Biomerkers van vroege DNA-schade 102
3.8 Biomerkers voor inflammatie en respiratoire en allergie-gerelateerde effecten 104
3.9 Biomerkers voor cardiometabole effecten 107
3.10 Biomerkers voor inschatting van huidschade en huidaandoeningen 107
3.11 Biomerkers voor endocriene verstoring 108
3.12 Monitoring cognitieve functie 109
3.13 Monitoring van welbevinden en psychologische gevolgen door bevraging 110
3.14 Monitoring van astma, allergie, infecties 111
3.15 Selectie biomerkers en gezondheidseffecten 111
3.16 Blootstellingsparameters, contextvariabelen en gezondheidseindpunten 126
3.16.1 Meetapparatuur 126
3.16.2 Vragenlijsten 128
3.16.3 Omgevingsindicatoren 131
3.17 Aanzet tot onderzoeksopzet en statistisch analyseplan 132
3.17.1 Studiepopulatie 132
3.17.2 Type onderzoek 133
3.17.3 Statistisch analyseplan 135
4 Conclusie en beleidsaanbevelingen 139
4.1 Omgevingsindicatoren om impact van klimaatverandering op gezondheid te monitoren 139
4.2 Onderzoek van impact klimaatverandering op gezondheid binnen Vlaams Humane-Biomonitorings (HBM) programma 142
Referenties 145
Bijlage A 157
Bijlage B 184
Bijlage C 198
Bijlage D 199
Bijlage E 201
Bijlage F 206
Bijlage G 223
Bijlage H 238
Bijlage I 239
Bijlage J 240
Bijlage K 241

1 ALGEMEEN - GEZONDHEIDSIMPACT VAN KLIMAATVERANDERING

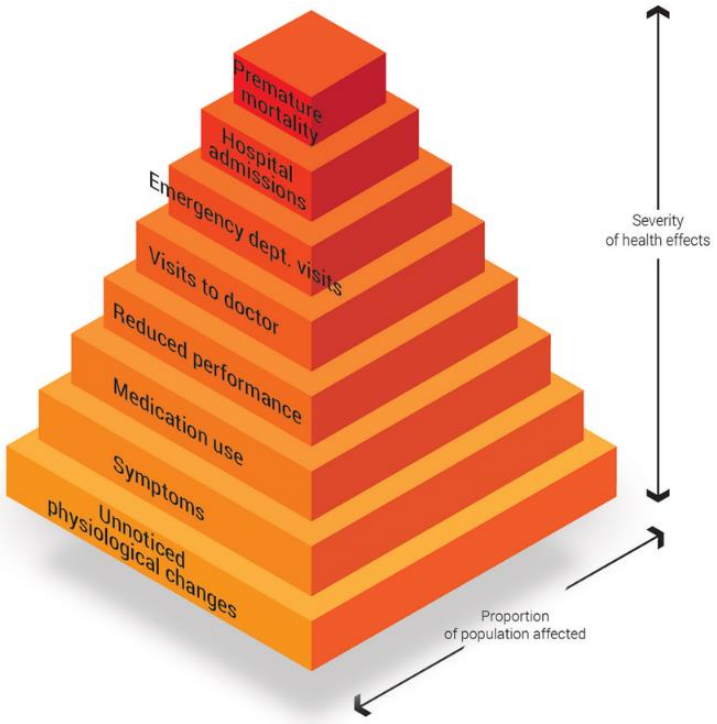
Door de toenemende wetenschappelijke en publieke bezorgdheid over de klimaatverandering heeft milieugezondheidsonderzoek de laatste jaren zich meer gericht op de nadelige gezondheidseffecten van klimaatverandering. Stijgende temperatuur, UV-blootstelling, luchtvervuiling, droogte en extreem weer (hittegolven, stormen, overstromingen) dragen zowel direct als indirect wereldwijd substantieel bij aan de mortaliteit en morbiditeit, ook in regio's met een gematigd klimaat zoals Vlaanderen (IPCC, 2021). Zoals geïllustreerd in Figuur 1-1, worden in West-Europa voornamelijk hitte en UV-gerelateerde ziekten, allergieën, luchtwegklachten, infectieziekten en psychische klachten gerelateerd aan de klimaatverandering (Huynen et al., 2019; Romanello et al., 2021). Daarnaast kan klimaatverandering direct en indirect ook bijdragen aan een verhoogde blootstelling aan milieuvervuilende stoffen. Door een toename van droogteperiodes en extreem natte periodes wordt een toename in het gebruik van pesticiden in de landbouw verwacht (Boxall et al., 2009). Hogere omgevingstemperaturen kunnen aanleiding zijn voor een verhoogde vrijstelling van antropogene en natuurlijke vluchtige organische stoffen (Mohd Hanif et al., 2021). Ondanks de recente aandacht voor de klimaatproblematiek, is het epidemiologisch onderzoek in gematigde streken zoals Vlaanderen vooralsnog zeer beperkt. Er wordt voornamelijk beroep gedaan op cijfers rond ziektelast, en mortaliteit om de gezondheidsimpact van klimaatverandering in te schatten.

Figuur 1-1 Klimaatverandering, effecten op leefomgeving en gezondheid (Huynen et al., 2019)

De klimaatverandering-gerelateerde verhoogde mortaliteit en morbiditeit zijn slechts het tipje van de ijsberg, waargenomen bij een kleine proportie van de bevolking. Zoals gepresenteerd in "de piramide van gezondheidseffecten door luchtvervuiling", Figuur 1-2, liggen vroege en vaak ongemerkte fysiologische veranderingen in de brede bevolking aan de basis van de gezondheidseffecten van luchtvervuiling (Künzli et al., 2010). Dit geldt ook voor de gezondheidsimpact van andere klimaat-gerelateerde factoren zoals hitte, blootstelling aan milieuvervuilende stoffen of toxines. Ook milde ziekteklachten onder invloed van klimaatverandering, zoals maag-darm infecties of slaapverstoring, blijven ook vaak onder de radar in onderzoek.

Het begrip van de mechanistische verbanden tussen blootstelling aan klimaat-gerelateerde factoren en gezondheid staat nog in de kinderschoenen (Meade et al., 2020).

HBM-onderzoek kan bijdragen aan het opvullen van de bestaande kennislacunes. Het is belangrijk te vermelden dat het ophelderen van die verbanden een geïntegreerde onderzoeksaanpak vereist, waarbij technieken en expertise uit meerdere disciplines worden gecombineerd.



Figuur 1-2. Pyramide van gezondheidseffecten door luchtvervuiling (Künzli et al., 2010)

1.1 GEZONDHEIDSIMPACT VAN TEMPERATUURSVERANDERING

Temperatuur heeft een grote invloed op gezondheid en het welzijn van de mens (Helldén et al., 2021). Hittestress is dan ook de meest directe bedreiging van klimaatverandering voor de menselijke gezondheid (Meade et al., 2020). In Ukkel, België, stelde het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) een stijging van de gemiddelde jaartemperatuur met 1,9 °C vast sinds 1890, met een 2,3 °C hogere gemiddelde jaartemperatuur in 2020 ten opzichte van de periode 1961-1990 (Koninklijk Meteorologisch Instituut, 2020). Recent rapporteerde het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dat de mondiale temperatuur volgens alle emissiescenario's ten minste tot het midden van de 21^{e} eeuw zal blijven stijgen (IPCC, 2021). Het Europees Milieu Agentschap (EEA) verwacht dat de zomers in West-Europa door de klimaatverandering warmer worden en de winters minder koud. De potentiële gezondheidsvoordelen van mildere winters zouden echter naar verwachting niet opwegen tegen het risico van negatieve gezondheidseffecten door klimaatverandering (European Environment Agency, 2017).

Door de klimaatverandering worden hittegolven langer, extremer en frequenter. Dat kan leiden tot extra hittestress, vooral in de bebouwde omgeving. Zeker ’s nachts loopt het temperatuurverschil tussen een stad en haar landelijke omgeving op tot enkele graden, soms zelfs met uitschieters tot 7 à 8 °C en meer.

Hittegolven treden daardoor in steden frequenter én intenser op. Hoe groter de stad, hoe groter het effect ("Klimaatportaal Vlaanderen update 2021 — Vlaamse Milieumaatschappij," n.d.). Een hoge nachttemperatuur kan leiden tot slaapverstoring en vermoeidheid, verminderde alertheid en toenemende prikkelbaarheid (Franck et al., 2013). Hittegolven zijn extreme situaties, waarbij de kans op fysiologische gewenning gering is. Hittestress tijdens hittegolven kan leiden tot hoofdpijn, duizeligheid en snellere uitputting en in sommige gevallen tot een hitteberoerte of hitteslag (Huynen et al., 2019). Blootstelling aan extreme hitte wordt ook in verband gebracht met verhoogde cerebrovasculaire, cardiovasculaire en respiratoire morbiditeit en mortaliteit (Bunker et al., 2016). Bij ouderen, maar ook bij jongeren, kan langdurige blootstelling aan hitte leiden tot een nieraandoeningen, langdurige en/of herhaalde hittestress kan ook dit risico op het ontwikkelen van chronische nierziekte (CKD) verhogen (O Flatharta et al., 2019). Daarnaast werd hitte ook gerelateerd aan een toename van mentale en psychosociale problemen en een aantasting van het algemeen welbevinden, voornamelijk in stedelijke gebied omwille van het "hitte eiland effect" (Casas et al., 2021; Vida et al., 2012).

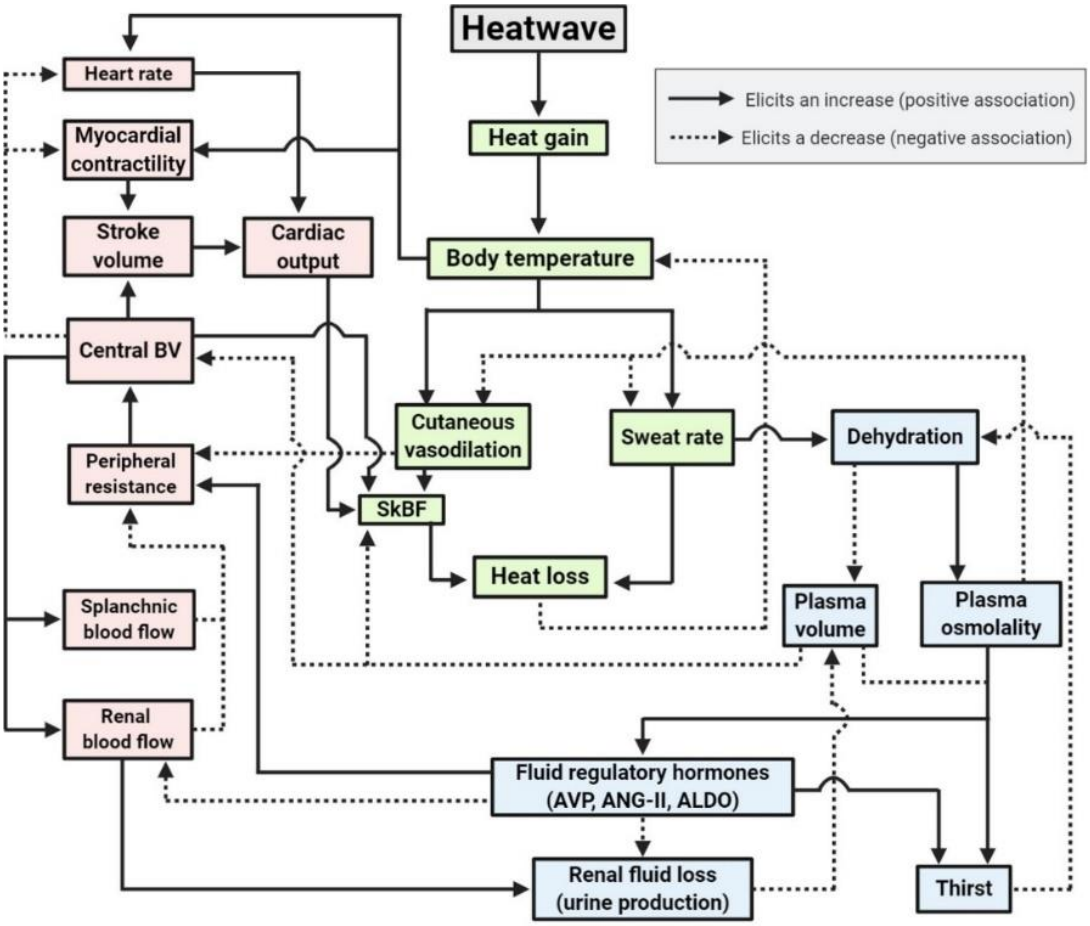
Hittestress wordt ook sterk bepaald door de binnentemperatuur. In een gematigd klimaat brengen mensen ongeveer 90% van hun tijd binnen door, voornamelijk thuis (Zuurbier et al., 2021). In studies waarbij binnen- en buitenluchttemperatuur vergeleken werden tijdens zomermaanden, blijkt de buitentemperatuur slechts een beperkt aandeel te verklaren van de binnentemperatuur (Smargiassi et al., 2008; Zuurbier et al., 2021). Binnentemperaturen worden niet alleen door de buitentemperatuur bepaald, maar ook door de kenmerken van een woning en de woonomgeving: isolatie van het gebouw, afwezigheid van airconditioning, oriëntatie, wonen op hogere verdiepingen, slapen op een verdieping recht onder het dak, groen in de woonomgeving (Zuurbier et al., 2021). Een Nederlandse studie tijdens warme weken in stedelijke gebieden met hoge gebouwendichtheid en weinig stedelijk groen (Zuurbier et al., 2021), toonde aan dat tijdens een warme periode de binnentemperaturen 's nachts hoger en overdag lager lagen dan de buitentemperaturen, binnentemperaturen waren gemiddeld hoger dan de buitentemperaturen. Buiten- en binnentemperaturen waren matig gecorreleerd (R^2 = 0,36 en 0,34 voor respectievelijk woonkamers en slaapkamers), binnentemperatuur (woonkamer, slaapkamer) is tijdens een warme periode een nauwkeurigere voorspeller van persoonlijke blootstelling aan hitte en hittestress dan buitenparameters (Zuurbier et al., 2021). De variatie in binnentemperaturen was bovendien veel groter dan in buitentemperaturen, wat suggereert dat gebouw- en gedragskenmerken de binnentemperaturen sterk beïnvloeden. Bovendien brengen oudere mensen die kwetsbaarder zijn voor hittestress een groot deel van hun tijd binnenhuis door (Lundgren Kownacki et al., 2019).

Hittegerelateerde ziekten vormen een continuüm: de mildste vorm is hitte-intolerantie, gevolgd door hittestress, gekenmerkt door symptomen van ongemak na blootstelling aan een hete omgeving. Bij gebrek aan adequate hydratatie kan de patiënt overgaan tot hitte-uitputting, gekenmerkt door algemene zwakte, dorst, syncope en cardiovasculaire disfunctie; dit kan overgaan in de ernstigste vorm, een hitteberoerte (of hitteslag), afhankelijk van de thermoregulatie mechanismen van de patiënt (Hashim, 2010). Fysiologische systemen die een stabiel biochemisch en biofysisch inwendig milieu moeten handhaven vertonen tijdens hittestress de eerste en de grootste impact.

Ontregeling van deze fysiologische systemen kan op korte termijn leiden tot acute hitte-gerelateerde gezondheidsschade en op lange termijn bijdragen aan de ontwikkeling en verergering van chronische aandoeningen (Meade et al., 2020).

1.1.1 Acute fysiologische reactie op hitte

De fysiologische mechanismen die de homeostase ondersteunen tijdens blootstelling aan hitte worden weergegeven in Figuur 1-3.



Figuur 1-3. Een schematische samenvatting van de geïntegreerde fysiologische reacties die de homeostase handhaven tijdens blootstelling aan extreme hitte. De groene, rode en blauwe vakken geven respectievelijk het thermoregulerende, het cardiovasculaire en het vochtregulerende systeem aan. (Afkortingen: BV, blood volume; SkBF, skin blood flow; AVP, arginine vasopressin; ANG-II, angiotensin II; ALDO, aldosterone). Bron: (Meade et al., 2020).

Om de homeostase te handhaven streeft de mens via thermoregulatie naar een lichaamstemperatuur binnen een smal bereik (~36,5-37,0°C) (Hashim, 2010). Dit vereist een evenwicht tussen de endogene warmteproductie, een bijproduct van het metabolisme, en de warmte-uitwisselingen tussen mens en omgeving. Bij blootstelling aan hitte neemt de opslag van lichaamswarmte toe, dit wordt waargenomen door thermoreceptoren in de huid en het centrale zenuwstelsel (Meade et al., 2020). Feedback van deze receptoren naar de hypothalamus stelt mechanismen in werking die de warmtetoevoer en -afvoer balans herstellen om verdere stijging van de lichaamstemperatuur voorkomen (Kenny and Jay, 2013). Vasodilatatie in de huid en zweten zijn hierbij de primaire thermo-effector reacties op hittestress (Chen et al., 2019).

Hittestress vereist eveneens ingrijpende cardiovasculaire aanpassingen, zoals een grotere cardiale output en een snellere hartslag (Meade et al., 2020). Bij blootstelling aan een hete, droge omgeving biedt de verdamping van zweet het grootste vermogen om warmte af te voeren. Het verdampingswarmteverlies is echter afhankelijk van de waterdampgradiënt tussen huid en omgeving, een verhoogde omgevingsvochtigheid vermindert dus het verdampingswarmteverlies (Chen et al., 2019). Dat betekent dat in vochtige warme omstandigheden, het verdampingsverlies dat nodig is om een warmtebalans te bereiken, groter is dan het maximale warmteverlies dat door de omgeving wordt toegestaan waardoor een progressieve stijging van de lichaamstemperatuur veroorzaakt kan worden die de gezondheid in gevaar kan brengen als er niets aan wordt gedaan (Kenny and Jay, 2013). In een drogere warme omgeving treedt dehydratie op, een verhoogd verlies van lichaamswater (O Flatharta et al., 2019). Aangezien natrium en andere elektrolyten tijdens de productie van zweet worden geresorbeerd, zorgt hitte-geïnduceerde dehydratie voor een verminderd circulerend bloedvolume en een verhoogde plasma osmolaliteit (Cheuvront et al., 2010). Dit kan leiden tot een verhoogde viscositeit van het bloed, met neiging tot trombose, samen met de hogere cardiovasculaire belasting (Meade et al., 2020). Ernstige veranderingen in de lichaamsconcentraties van elektrolyten verstoren ook de elektrochemische gradiënten in de cellen in verschillende weefsels en organen (bv. hersenen, hart, spieren), wat kan leiden tot een groot aantal cognitieve (verminderde aandacht, zwakte, verwardheid), cardiovasculaire en neuromusculaire (rillingen, krampen) symptomen (Meade et al., 2020). Extreme hitte heeft ook een impact op de geestelijke gezondheid, dit wordt verder besproken in paragraaf 1.7.

Op cellulair niveau verhoogt hittestress de oxidatieve stress, gegenereerd door reactieve zuurstofradicalen, wat leidt tot modificatie van lipiden, proteïnen en nucleïnezuren, met cellulaire disfunctie tot gevolg (Meade et al., 2020).

1.1.2 Langere-termijn fysiologische gevolgen van hittestress

Wanneer hogere temperaturen of hittegolven dagen tot weken duren, zullen hyperthermie, cardiovasculaire belasting en uitdroging ook langer aanhouden, dit kan bijdragen aan de ontwikkeling van verschillende chronische aandoeningen waarvan de onderliggende pathofysiologie vaak aanzienlijk overlapt (McEwen, 2007). Ook slaaptekort door hoge nachttemperaturen kan leiden tot fysiologische verstoringen, zelfs na relatief korte perioden van onvoldoende slaap (Keramidas and Botonis, 2021). Zo verstoort slaaptekort de thermische homeostase, waardoor de vatbaarheid voor hitte-gerelateerde ziekten verder toeneemt. Er is waarschijnlijk niet één gemeenschappelijke oorzaak voor de hitte gerelateerde-gezondheidsimpact, maar een combinatie van verschillende, onderling gerelateerde fysiologische mechanismen, die het gezondheidsrisico bepaalt (Meade et al., 2020). Hierbij worden het immuun- en endocriene systeem vaak aangehaald als belangrijke onderliggende mechanismen, beide systemen zijn nauw met elkaar verbonden (Chrousos, 2009; Kotas and Medzhitov, 2015). **Het immuunsysteem** is het geheel van afweermechanismes dat het lichaam gebruikt om zich te beschermen tegen omgevingsstressoren, waaronder hitte, luchtvervuiling, micro-organismen, chemische stoffen (Glencross et al., 2020). Het is essentieel om bescherming te bieden tegen infecties en kanker en verstoringen van de immuunfunctie kunnen daarom rechtstreeks van invloed zijn op de gezondheid van het getroffen individu (Claus et al., 2016).

Zowel hyperthermie als onderkoeling (1°-3°C verandering in lichaamstemperatuur), maar ook luchtvervuiling en chemische blootstelling activeren het **endocrien systeem** o.a. via de hypothalamus- hypofyse -bijnier as (HPA), wat resulteert in het vrijkomen van het stress hormoon cortisol (Matsumoto et al., 2001; Snow et al., 2018; Verheyen et al., 2021a). Chronische stress, met langdurig verhoogde vrijstelling van cortisol, verstoort een efficiënte immuunrespons (Claus et al., 2016) en kan leiden tot hypertensie, hart- en vaatziekten, metabole stoornissen (obesitas, diabetes type 2), en/of neurologische aandoeningen (angst, depressie, cognitieve disfunctie) (Chrousos, 2009). Klimaatverandering en diabetes zijn direct en indirect met elkaar verbonden. Temperatuurveranderingen kunnen iemands gevoeligheid voor het ontwikkelen van diabetes doen toenemen en nadelige gevolgen hebben voor diabetici (zoals een hogere incidentie van ziekenhuisopname, uitdroging en sterfte). Van beide temperatuurextremen (hyperthermie en onderkoeling) is gemeld dat zij tot negatieve effecten op diabetes leiden. Bovendien draagt klimaatverandering bij aan een meer sedentaire levensstijl, wat de ontwikkeling van diabetes bevordert (Cuschieri and Calleja Agius, 2021).

1.2 GEZONDHEIDSIMPACT VAN TOENAME BLOOTSTELLING AAN UV-STRALING

Met klimaatverandering verandert ook de blootstelling aan zonlicht en ultraviolette (UV)-straling (Kosmopoulos et al., 2021). Het zonnespectrum buiten de atmosfeer bevat straling in een breed spectrum van golflengten, waarvan een groot deel wordt geabsorbeerd in de atmosfeer. UV-straling wordt gedefinieerd als de straling tussen 200 en 400 nm. Bijna alle straling met golflengten korter dan 280 nm (UV-C) wordt door zuurstof geabsorbeerd, de straling tussen 280 en 315 nm (UV-B) wordt geabsorbeerd door atmosferisch ozon, het UV-A-gedeelte (315-400 nm) wordt veel minder geabsorbeerd. Een verdunning van de ozonlaag door ozonafbrekende stoffen zorgt voor een verhoogde UV-stralingsintensiteit in de lage atmosfeer. De klimaatverandering zorgt voor een stijging van de temperatuur in de lagere atmosfeer en een daling van de temperatuur in de hogere atmosfeer waardoor de efficiëntie van de ozonafbrekende stoffen toeneemt. Hierdoor kan het herstel van de ozonlaag, zelfs met afnemende concentraties van ozonafbrekende stoffen, verder vertraagd worden (Huynen et al., 2019). Er wordt verwacht dat in gematigde streken, zoals Vlaanderen, mensen bij zonnig weer met weinig bewolking meer tijd in de zon gaan doorbrengen met minder bedekkende kleding, waardoor meer huidoppervlak wordt blootgesteld (Huynen et al., 2019). De menselijke huid is bijzonder gevoelig voor straling in het UV-B-gebied (Kosmopoulos et al., 2021).

Op korte termijn leidt overmatige blootstelling aan UV-B-straling tot een **verbrande** huid, op lange termijn beïnvloedt UV-B-straling het verouderingsproces van de huid. DNA is één van de belangrijkste doelwitten van door UV veroorzaakte celschade (Sinha and Häder, 2002). UV-B-straling kan bovendien zowel lokaal als systemisch het immuunsysteem onderdrukken, wat het risico op **huidkanker** aanzienlijk verhoogt (Hart and Norval, 2018). De gehele wereldbevolking loopt hierdoor een algemeen verhoogd risico op melanoom en niet-melanoom huidkanker als gevolg van klimaat-gerelateerde verhoogde UV-schade (Huynen et al., 2019). UV-B-straling speelt ook een rol bij het ontstaan van oogaandoeningen zoals **cataract** (Huynen et al., 2019). UV-B heeft ook een positieve invloed op de gezondheid aangezien het nodig is voor de aanmaak van **vitamine D** in de huid (Kosmopoulos et al., 2021).

1.3 GEZONDHEIDSIMPACT VAN TOENAME SCHIMMEL- EN ALGENGROEI

In de context van de klimaatverandering, is de aanwezigheid van **mycotoxines** in voedingsmiddelen een belangrijke bezorgdheid (Huynen et al., 2019). Mogelijk heeft de klimaatverandering een impact op zowel het aantal mycotoxines als de hoeveelheid ervan in de voeding (Huynen et al., 2019). De toename van mycotoxines door klimaatverandering kan niet alleen een direct risico vormen voor de gezondheid van mens en dier, ze kan ook gevolgen hebben voor de voedselzekerheid. Mycotoxines komen voor in voedingsmiddelen op basis van granen (bakproducten, pasta, ontbijtgranen), noten, kruiden, fruit, dranken en ook dierlijke producten (besmette zuivelproducten, vlees, eieren) (Vidal et al., 2018). Mycotoxines worden als metabolieten door een groot aantal schimmelsoorten in gewassen geproduceerd in perioden van regen of hoge luchtvochtigheid tijdens de teelt, oogst, vervoer, verwerking en bewaring (Bennett and Klich, 2003). De belangrijkste mycotoxine-producerende schimmelsoorten zijn *Aspergillus, Fusarium en Penicillium*, ze zijn aanwezig in een breed scala van landbouwproducten (Vidal et al., 2018). *Aspergillus*-soorten produceren aflatoxines en komen momenteel voornamelijk voor in de warme en vochtige tropische en subtropische gebieden (Mahato et al., 2019). De klimaatverandering kan van invloed zijn op de geografische verspreiding van mycotoxine-producerende schimmels in Europa, waardoor meer tropische schimmels, zoals *Aspergillus flavus* noordwaarts kunnen migreren (Vandicke et al., 2019). In gematigde streken zoals Vlaanderen zijn *Fusarium*-schimmels momenteel de meest voorkomende mycotoxine-producerende schimmels (Creppy, 2002). Ze produceren de trichothecenen deoxynivalenol (DON), nivalenol (NIV)), T-2 toxine, HT-2 toxine, en andere mycotoxines zoals zearalenone (ZEN) en fumonisines. *Penicillium*-mycotoxines zoals ochratoxine A (OTA), vormen een probleem in de landbouw in meer koudere streken in Europa en in Azië (Creppy, 2002). Citrinine (CIT) is een *Penicillium*-mycotoxine dat, vaak samen met ochratoxine A, voorkomt in levensmiddelen van plantaardige of dierlijke oorsprong (rijst, granen en afgeleide producten, kazen, gefermenteerd vlees, …) (L. J. G. Silva et al., 2020). CIT kan ook aanwezig zijn in rode rijst dat in Aziatische landen deel uitmaakt van de dagelijkse voeding en in Europa vaak gebruikt wordt als voedingssupplementen vanwege de cholesterolverlagende eigenschappen. In de EU is voor de maximaal toegestane aanwezigheid van CIT in voedingssupplementen op basis van rode rijst, een maximumwaarde van 2000 µg/kg vastgesteld (L. J. G. Silva et al., 2020). Bij een 3-jarige Vlaamse studie (2016-2018) naar de aanwezigheid van mycotoxines in maïsmonsters (Vandicke et al., 2019), werd vastgesteld dat 47% van de monsters vijf of meer mycotoxines bevatte. NIV was het meest voorkomende mycotoxine en werd in 99% van de monsters aangetroffen, gevolgd door DON (86%) en ZEN (50%). Opvallend, fumonisines werden slechts in 2% van de monsters aangetroffen in het natte, koude 2016, maar in 61% van de monsters in het extreem warme en droge 2018. Klimaatverandering en jaarlijkse variaties in de klimatologische omstandigheden kunnen dus een verschuiving veroorzaken in de schimmelpopulaties die o.a. maïs infecteren, en bijgevolg de mycotoxinebelasting veranderen (Vandicke et al., 2019).

Mensen worden ongewild blootgesteld aan mycotoxines als gevolg van het eten van gecontamineerd voedsel, zowel uit tropische streken als uit lokale teelt, en in mindere mate door huidcontact en inademing van door sporen overgedragen toxines (Bennett and Klich, 2003).

Verschillende mycotoxines worden door het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC) beschouwd als kankerverwekkende of mogelijk kankerverwekkende stoffen (Tabel 1-1). Aflatoxines worden door de IARC beschouwd worden als kankerverwekkend voor de mens (klasse 1) omwille van hun levertoxiciteit (Vidal et al., 2018).

Daarnaast werden fumonisines en OTA geassocieerd met een verhoogde incidentie van niercarcinomen (IARC-klasse 2B). Zearalenone, citrinine, DON en NIV worden beschouwd als potentieel carcinogeen (IARC-klasse 3) (Vidal et al., 2018). De Europese Unie (EU) heeft een maximumgehalte voor aflatoxine B1 vastgesteld en richtwaarden voor DON, ZEN, OTA, fumonisine B1 en B2, T2 en HT-2 toxine in verscheidene levensmiddelen en in diervoeders (Vandicke et al., 2019).

Tabel 1-1 Indeling van veel voorkomende mycotoxines volgens carcinogeniteit volgens het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC) (Vidal et al., 2018)

Group	Classification	Mycotoxins
1	Carcinogenic to humans	Aflatoxins
2A	Probably carcinogenic to humans	–
2B	Possibly carcinogenic to humans	Sterigmatocystin, fumonisins and ochratoxin A
3	Not classifiable as to its carcinogenicity to humans	Deoxynivalenol, nivalenol, T-2 toxin, diacetoxyscirpenol, zearalenone, citrinin and fusarenon X
4	Probably not carcinogenic to humans	–

Eenmalige blootstelling aan een hoge dosis mycotoxines zorgt voor een duidelijke toxische reactie, blootstelling aan lage doses gedurende een lange periode zorgt voor een chronische toxiciteit, mogelijk resulterend in immuunverstoring, kanker, lever- of nierschade (Bennett and Klich, 2003). In tegenstelling tot ontwikkelingslanden, is acute toxiciteit van mycotoxines na het eten van besmet voedsel in Europa geen groot probleem voor de volksgezondheid, mede door de strenge regelgeving en het toezicht op die regelgeving (Bennett and Klich, 2003). De methodes die in Europa en andere ontwikkelde landen worden gebruikt om de besmetting tot een minimum te beperken, kunnen in ontwikkelingslanden niet op realistische wijze worden toegepast wegens de kenmerken van de voedselsystemen en de technologische infrastructuur in die landen; veelvoorkomende mycotoxines zoals aflatoxines zijn in die situaties dan ook niet te controleren (Williams et al., 2004). In gematigde streken in Europa, zoals Vlaanderen, houden de belangrijkste gezondheidsrisico's van blootstelling aan mycotoxines dus verband met chronische blootstelling, meer bepaald aan *Fusarium*-mycotoxines (Vidal et al., 2020). De lange-termijn effecten van mycotoxines verschillen volgens de hoeveelheid en de duur van de blootstelling, de leeftijd, de gezondheid en het geslacht van de blootgestelde persoon en zijn vaak gelijkaardig aan deze veroorzaakt door milieuvervuilende stoffen zoals pesticiden en zware metalen (Bennett and Klich, 2003). Humane biomonitoring kan een beter beeld geven van de gelijktijdige interne blootstelling aan mycotoxines en andere toxische stoffen (Pero-Gascon et al., 2022).

Een evaluatie van de blootstelling aan mycotoxines met behulp van biomerkers in de Belgische bevolking in 2015 toonde een duidelijke blootstelling van een breed segment van de Belgische bevolking aan de mycotoxines DON, ochratoxine A, citrinine en hun metabolieten (Heyndrickx et al., 2015).

Cyanobacteriën, ook blauwalgen genoemd, zijn bacteriën die voornamelijk in voedselrijk water bij hoge temperaturen aan het wateroppervlak drijven en een schuimachtige laag vormen, of zich over de waterkolom verspreiden (Vilarinho et al., 2019). Cyanobacteriën gebruiken zonlicht als energiebron om CO_2 om te zetten in biomassa (Huisman et al., 2018). Ze vermenigvuldigen zich vooral in stilstaand, voedselrijk water, hun groei wordt bevorderd door warme temperaturen. Tijdens warme periodes in Vlaanderen, kan blauwalgen bloei voorkomen in recreatiewater. Door klimaatverandering en eutrofiëring wordt ook een toename van cyanobacteriënbloei vastgesteld in kanalen en open oppervlaktebassins, waterbronnen die in droogteperiodes ook gebruikt worden voor de irrigatie van landbouwgewassen. Zo werden blauwalgen in 2018 voor het eerst in openbare Vlaamse waterlopen vastgesteld. Uit de literatuur is geweten dat microcystines kunnen overgedragen worden op planten door het gebruik van gecontamineerd irrigatiewater (ILVO, 2021). Hoewel blauwalgen geen ziekteverwekkers zijn, kunnen ze door het produceren en afscheiden van toxines wel gezondheidsschade veroorzaken. Cyanotoxines zijn cyclische heptapeptiden die lever-, gastro-intestinale en neurale toxiciteit kunnen veroorzaken bij inademing of inslikken, en bij contact ook huidirritatie (Huisman et al., 2018; Vilarinho et al., 2019). De meest voorkomende cyanotoxines, de microcystines zijn levertoxisch. Er zijn meer dan 100 varianten van microcystines (Testai et al., 2017). De meest voorkomende zijn Microcystine-LR (MC-LR), Microcystine-RR (MC-RR) en Microcystine-LR (MC-YR). MC-LR is de meest toxische en meest bestudeerde component (Massey et al., 2020). Het is een krachtig levertoxine dat ook de longen, nieren en hersenen kan beschadigen. Het Vlaams CYANTIR project onderzoekt momenteel of irrigatiewater gecontamineerd met microcystines een gezondheidsrisico inhoudt in termen van restconcentraties microcystine die op of in het gewas cumuleren (ILVO, 2021). De inname van cyanotoxines via besmet water en voedsel is voor de mens namelijk een belangrijke bron van blootstelling. In onze contreien gebeurt besmetting vooral tijdens recreatie (watersporten).

1.4 GEZONDHEIDSIMPACT VAN VERHOOGDE BLOOTSTELLING AAN CHEMISCHE POLLUENTEN

Concentraties van **luchtvervuilende stoffen** kunnen beïnvloed worden door klimaatverandering (Sweileh, 2020). Zowel klimaatverandering als luchtvervuiling worden verergerd door de verbranding van fossiele brandstof, waardoor de uitstoot van CO_2, **stikstofoxiden (NO, NO_2) en fijnstof ($PM_{2.5}$, PM_{10})** toeneemt (Costello et al., 2009). Klimaat- en weerpatronen (zon, wind, neerslag, temperatuur) kunnen de luchtkwaliteit beïnvloeden. Meer zonneschijn gaat samen met hogere ozon (O_3) concentraties in de lage atmosfeer, waar O_3 in aanwezigheid van zonlicht gevormd wordt door reactie van verontreinigende precursoren. De twee belangrijkste precursoren zijn stikstofoxiden (NO_x) en vluchtige organische stoffen (VOS). Bij meer zonlicht en hogere temperaturen neemt de reactiesnelheid waarbij O_3 gevormd wordt toe en kan ook de emissie van VOS toenemen (Kinney, 2018). In dichtbevolkte, stedelijke gebieden, kunnen hogere temperaturen leiden tot hitte-eilanden, dit effect kan de plaatselijke productie en verspreiding van ozon beïnvloeden (Ebi and McGregor, 2008).

Recente studies wijzen uit dat, bij gelijkblijvende antropogene emissies van luchtverontreiniging, de ozonconcentraties in dichtbevolkte stedelijke gebieden in toekomstige klimaatscenario's zullen toenemen (Ebi, 2021). We merken hierbij op dat antropogene emissies zullen dalen gezien mitigatiemaatregelen, gericht op het reduceren van CO_2-uitstoot, ook een impact hebben op de emissies van andere luchtpolluenten. Fijnstof met een aerodynamische diameter van minder dan 2,5 µm ($PM_{2.5}$) of 10 µm (PM_{10}), wordt rechtstreeks uitgestoten door een grote verscheidenheid van antropogene bronnen (verkeer, industrie, verwarming huishoudens) en kan ook indirect gevormd worden door atmosferische reacties van precursoren, waaronder ook VOS, NO_2 en gasvormig ammoniak (NH_3). De grootste bron van NH_3-emissies is de landbouw, met inbegrip van de veehouderij en op NH_3 gebaseerde kunstmest (Behera et al., 2013).

Concentraties van $PM_{2.5}$ en van precursoren kunnen toenemen tijdens hittegolven, gezien de emissies van biogene VOS toenemen, er meer natuurbranden optreden en fijnstof concentraties hoog zijn tijdens lange periodes zonder neerslag. Bij de vorming van regendruppels worden aerosolen gevormd en wordt fijnstof via de neerslag uit de atmosfeer verwijderd (Ebi and McGregor, 2008). Anderzijds kunnen andere $PM_{2.5}$-componenten, zoals organische stoffen bij hogere temperaturen overgaan naar de gasfase, waardoor de $PM_{2.5}$-concentraties dalen, maar nog steeds met mogelijke gevolgen voor de gezondheid (Kinney, 2018). Wind en neerslag hebben dan weer een sterke invloed op het transport van fijnstof (Kinney, 2018). De verwachte invloed van de klimaatverandering op $PM_{2.5}$ concentraties verschilt van studie tot studie en van regio tot regio, door de gevarieerde aard van de PM-bestanddelen en de minder volledige karakterisering van de PM-reactiechemie in de beschikbare atmosferische modellen (Kinney, 2018).

Luchtvervuiling door fijnstof levert een belangrijke bijdrage aan ziekte en sterfte (luchtweg- en longaandoeningen, aandoeningen van hart en bloedvaten) (Ebi and McGregor, 2008). Blootstelling aan verhoogde ozonconcentraties wordt in verband gebracht met een toename van het aantal ziekenhuisopnames wegens longontsteking, chronische obstructieve longaandoeningen, astma, allergische rhinitis en andere aandoeningen van de luchtwegen, en met vroegtijdige sterfte (Ebi and McGregor, 2008). De fysiologische veranderingen die mee aan de basis kunnen liggen van luchtvervuiling-gerelateerde gezondheidseffecten zijn voor een groot deel gelijkaardig aan deze van hittestress, namelijk oxidatieve stress, inflammatie (Brook et al., 2018; Newby et al., 2015) en endocriene stress (Snow et al., 2018). Ook in Vlaamse HBM-campagnes werd recent een significant verband aangetoond van luchtvervuiling en blootstelling aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) met oxidatieve stress, inflammatie en endocriene stress biomerkers (Koppen et al., 2020; Verheyen et al., 2021d, 2021c). Het inschatten van de gezondheidseffecten van meerdere gelijktijdig optredende klimaat-gerelateerde stressoren, zoals hitte en luchtvervuiling is een belangrijke uitdaging (Huynen et al., 2019). Daarbij zouden interne blootstellingsmerkers voor luchtvervuiling een belangrijke meerwaarde kunnen bieden. De koolstof lading, de hoeveelheid zwarte koolstof in de urine of in bloed, is een recent ontwikkelde indicator voor blootstelling aan fijn stof (waarvan zwarte koolstof een belangrijk onderdeel is) (Saenen et al., 2017). Daarnaast kan technologie (bv. wearables, apps) helpen om de blootstelling aan luchtvervuiling en de omgevingstemperatuur op individueel niveau goed in te schatten (Sunyer and Dadvand, 2019).

Vluchtige organische stoffen (VOS of VOC's) zijn alomtegenwoordig in de binnen- en buitenlucht en hebben een gekende negatieve impact op de volksgezondheid (Mohd Hanif et al., 2021).

VOC's zoals benzeen, tolueen, ethylbenzeen en xyleen (BTEX) zijn de meest gemonitorde antropogene VOC's en zijn voornamelijk afkomstig van de uitstoot van motorvoertuigen en de verbranding van biomassa, maar kunnen ook vrijkomen in het binnenmilieu door blootstelling aan verf, lijmen, schoonmaakmiddelen en insecticidensprays, oplosmiddelen. Ook de nabijheid van industrieën die deze oplosmiddelen produceren of verontreinigde afvalverwijderingslocaties, kunnen potentieel belangrijkere bronnen worden, door meer vervluchtiging bij hogere temperatuur (Zhou et al., 2017). Zhou et al. (2017) rapporteerde dat de concentratie van indoor VOC's dramatisch opliep van zodra de kamertemperatuur boven 30°C lag, of wanneer de vochtigheidsgraad hoger dan 60% was.

Concentraties van BTEX-VOC's in bloed en urine, bij niveaus die worden aangetroffen in de algemene bevolking, kunnen van invloed zijn op hematologische parameters, merkers van lever- en nierfunctie, bloedglucosespiegels, percentage geglycosyleerd hemoglobine, seruminsulinespiegels, en merkers van systemische ontsteking (Cakmak et al., 2020). In de Vlaamse HBM-studies FLEHS-1, 2 en 3 werden significante verbanden gevonden tussen blootstelling aan benzeen en schade aan het DNA bij jongeren, het kortetermijngeheugen en immunologische merkers (Steunpunt milieu en gezondheid, n.d.).

VOC's die mogelijk beïnvloed kunnen worden door klimaatverandering, zijn de trihalomethanen, stoffen die gevormd worden als bijproduct van desinfectiemiddelen voor water (DBP's). Ze worden gevormd wanneer chloor in wisselwerking treedt met natuurlijke organische materialen in water. De voornaamste bronnen van DBP's zijn gechloreerd drinkwater en recreatieve wateren, zoals zwemvijvers en zwembaden. Door klimaatverandering neemt de hoeveelheid natuurlijke organische materialen in het oppervlaktewater van drinkwaterwingebieden toe (Valdivia-Garcia et al., 2019). Klimaatverandering draagt bij tot het gebruik van meststoffen, maar gewassen kunnen niet alle nutriënten opnemen waardoor deze stoffen in het oppervlaktewater terechtkomen (Frogner-Kockum et al., 2020; O'Driscoll et al., 2018). Daarnaast zorgen extreme neerslag events voor meer uitspoeling van natuurlijk organisch materiaal naar rivieren en drinkwaterwingebieden (O'Driscoll et al., 2018). De toename aan organische stoffen heeft gevolgen voor de waterbehandeling in drinkwaterzuiveringsinstallaties (Valdivia-Garcia et al., 2019). Sommige DBP's zijn gereguleerd omwille van de volksgezondheid. Zo worden de 4 trihalomethanen (THM's) broomdichloormethaan, dibroomchloormethaan, bromoform en chloroform beschouwd als mogelijk kankerverwekkend en schadelijk voor de foetus (Valdivia-Garcia et al., 2019). Voor trihalomethanen in drinkwater zijn er EU-normen. De drinkwaternormen zijn voornamelijk gebaseerd op de richtlijnen voor drinkwaterkwaliteit van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) en geven de concentratie weer die niet resulteert in gezondheidsrisico's bij een levenslange blootstelling. De WHO hanteert respectievelijk volgende richtwaarden per liter drinkwater voor chloroform, broomdichloormethaan, bromoform en dibroomchloormethaan: 300 µg/L, 60 µg/L, 100 µg/L en 100 µg/L. De EU heeft de totale hoeveelheid THM's in drinkwater (bestaande uit chloroform, broomdichloormethaan, dibroomchloormethaan en bromoform) gereguleerd op 100 µg/L. De Vlaamse drinkwaternorm voor totaal THM's is bijgevolg 100 µg/L en bedraagt voor broomdichloormethaan individueel 60 µg/L (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2021). VITO meet als VMM-referentielabo het totaal aan THM's in Vlaams drinkwater. In 2020 werd in geen enkel van de in totaal 75 Vlaamse drinkwater leveringsgebieden een normoverschrijding vastgesteld (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2021).

De VMM definieert bijkomend ook aandachtparameters, indien in minstens één van de leveringsgebieden een maximale concentratie vastgesteld wordt die boven 60 % van de normwaarde ligt en indien de mediane waarde voor een leveringsgebied ook boven 60 % van de normwaarde ligt. Een aandachtparameter wijst bijgevolg op de vaststelling van frequenter hogere concentraties. Voor verschillende leveringsgebieden in Vlaanderen worden THM's in drinkwater beschouwd als aandachtparameter (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2021). Strikte opvolging van THM's in drinkwater is aangewezen aangezien onderzoek aangeeft dat de drinkwaterkwaliteit gevoelig is voor klimaatverandering, met sterke positieve correlaties tussen omgevingstemperatuur, organische stoffen in ongezuiverd water en THM's (Valdivia-Garcia et al., 2019). Een studie in het Verenigd Koninkrijk voorspelt een klimaatverandering-gerelateerde toename in vorming van THM's in drinkwater van gemiddeld 39% (Valdivia-Garcia et al., 2019).

VOC's kunnen ook een natuurlijke oorsprong hebben (biogene VOC's, BVOC's). De aanwezigheid van deze BVOC's in omgevingslucht kan beïnvloed worden door klimaat-gebonden factoren zoals bosbranden of warme temperaturen (Kinney, 2018). De effecten van temperatuur op het vrijkomen van BVOC's uit vegetatie variëren van directe effecten op biochemische reacties tot indirecte effecten zoals de verlenging van het groeiseizoen. Het is aangetoond dat, althans op korte termijn, een temperatuurstijging de uitstoot van BVOC's zoals monoterpenen en sesquiterpenen, isopreen en 2-methyl-3-butenol exponentieel doet toenemen (Peñuelas and Staudt, 2010). Terpenen zijn verantwoordelijk voor de geuren van dennenbossen, citrusvruchten en sommige bloemen. De mens kan aan terpenen worden blootgesteld door inademing via natuurlijke bronnen, maar ook voeding, tabaksrook en e-sigaretten zijn belangrijke bronnen van blootstelling, waarbij terpenen worden gebruikt als smaakstoffen (L. K. Silva et al., 2020). Epidemiologische en klinische gegevens over de effecten van terpenen op de menselijke gezondheid zijn zeer beperkt. Van blootstelling aan monoterpenen zoals α-pineen, β-pineen en 3-careen is bekend dat ze irritatie van de ogen, de huid en de slijmvliezen en contactdermatitis kunnen veroorzaken (Eriksson et al., 1996). De literatuur wijst er echter ook op dat bepaalde terpenen een positieve impact kunnen hebben op de werking van het immuunsysteem (L. K. Silva et al., 2020). Het inhaleren van BVOC's uit het bos, zoals limoneen en pineen, wordt in verband gebracht met ontstekingsremmende effecten op de luchtwegen (Antonelli et al., 2020). Deze VOC's worden daarom ook omschreven als fytonciden. Daarnaast wordt een positieve impact van BVOC's op cognitieve prestaties en welbevinden gesuggereerd. Gunstige psychologische en fysiologische effecten van een bosbezoek kunnen echter niet uitsluitend worden toegeschreven aan de inademing van biogene VOC's maar zijn eveneens het gevolg van een geïntegreerde zintuiglijke stimulatie door de natuurlijke omgeving (Antonelli et al., 2020).

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (**PAK's)** zijn een mengsel van meer dan 100 organische verbindingen, opgebouwd uit meerdere gekoppelde aromatische ringen, die ontstaan bij onvolledige verbranding. Mensen komen onvermijdelijk in contact met PAK's via de lucht, door sigarettenrook, uitlaatgassen, rook van houtkachels en open haard, maar ook door natuurbranden (Abdel-Shafy and Mansour, 2016). Houtstook door huishoudens is momenteel waarschijnlijk de belangrijkste bron van PAK's in Vlaanderen (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2022). Ook voedsel kan een belangrijke bron van PAK's zijn als er verbrande deeltjes aanwezig zijn, zoals in gegrild vlees of groenten, gerookte vis, zwart gebakken brood of gebak. Opname van PAK's via huidcontact is ook mogelijk.

Klimaatverandering kan het energieverbruik voor gebouwenkoeling in de zomer doen toenemen, daarnaast wordt een toename in natuurbranden verwacht in de zomermaanden, wat beide tot een toename in de emissie van PAK's zou kunnen leiden (Gouin et al., 2013). Bovendien wordt op warmere dagen meer buiten gegeten en de BBQ gebruikt (Patel et al., 2021). PAK's worden in het lichaam afgebroken tot zeer reactieve metabolieten en zijn kankerverwekkend; er zijn ook aanwijzingen dat milieublootstelling aan PAK's ook een rol kan spelen bij de ontwikkeling van chronische respiratoire, cardiovasculaire en cognitieve aandoeningen (Farzan et al., 2016; Kataria et al., 2015; Kim et al., 2013; S. S. Kim et al., 2021). Van PAK's is ook aangetoond dat zij immuunsuppressief zijn (Abdel-Shafy and Mansour, 2016). Meer blootstelling aan zonlicht kan daarenboven een invloed hebben op de toxiciteit van PAK's, aangezien ze bij bestraling met zonlicht fototoxisch zijn (Yu et al., 2006). PAK's met drie of vier aromatische ringen absorberen UVA-licht, PAK's met vijf of meer aromatische ringen absorberen zichtbaar licht. Bij de absorptie van lichtenergie kunnen deze PAK's reactieve tussenproducten genereren, oxidatieve stress en bijgevolg celschade veroorzaken. Zonlicht kan ook bijdragen aan de inductie van DNA-beschadiging door PAK's in de huid (Yu et al., 2006).

Zonnebrandmiddelen bevatten UV-filters als actieve bestanddelen, ze helpen zonnebrand te voorkomen en kunnen de kans op vroegtijdige huidveroudering en huidkanker verminderen. Huidkanker is de meest voorkomende kanker, treft 1 op 5 Belgen vóór de leeftijd van 75 en de incidentie blijft toenemen, ook bij jongere leeftijdsgroepen (30+) (Stichting tegen kanker, 2021). De fors stijgende incidentie van huidkanker in België vraagt om effectieve preventie en beschermingsmaatregelen, het gebruik van zonnebrandmiddelen is hier een essentieel onderdeel van. Toch wordt het toenemend gebruik van zonnebrandmiddelen ook in verband gebracht met nadelige effecten op de gezondheid. UV-filters worden in twee groepen ingedeeld: **organische (chemische) UV-filters,** die UV-licht absorberen, **en anorganische (fysische) UV-filters**, die UV-straling weerkaatsen en verstrooien (Narloch and Wejnerowska, 2021). Chemische UV-filters zoals benzofenonen, salicylaten, benzotriazolen, cinnamaten, p-aminobenzoaten, triazinen, kamferderivaten trekken deels in de huid, waar de filter de UV-straling absorbeert en omzet in warmte (Sabzevari et al., 2021). UV- filters zijn ook aanwezig in consumentenproducten als bescherming tegen foto-degradatie (Fivenson et al., 2021). De filters komen in het milieu terecht en zijn meetbaar aanwezig in zowat alle waterbronnen ter wereld, waar ze bioaccumeleren in de voedselketen (vissen) omwille van hun lipofiel karakter (Schneider and Lim, 2019). Mensen worden via de huid, voeding (voornamelijk via visconsumptie) en inhalatie van omgevingslucht aan organische UV-filters blootgesteld (Huang et al., 2021). De regelgeving van de EU staat het gebruik van 29 UV-filters in cosmetica toe (concentraties 2%-25%) (Narloch and Wejnerowska, 2021). Humane blootstelling aan organische UV-filters kan leiden tot schadelijke gezondheidseffecten zoals dermatitis, maar wordt ook geassocieerd met een mutagene, kankerverwekkende en/of oestrogene werking (Narloch and Wejnerowska, 2021). Een van de meest gebruikte UV-filters is benzofenon-3 (BP-3) (Narloch and Wejnerowska, 2021). Omwille van het risico voor milieu en mens, verlaagde de EU de grenswaarde van BP-3 in cosmetica in 2017 van 10% tot 6% (Huang et al., 2021). Benzofenon-3 is daarnaast goedgekeurd als additief in kunststof materialen die met levensmiddelen in aanraking komen, met een specifieke migratielimiet van 0,6 mg/kg. Naast de chemische filters, bestaan er ook minerale filters (zinkoxide, titaniumdioxide) die op de huid blijven liggen en de zonnestralen fysiek blokkeren (weerkaatsen). Hoewel TiO_2 en ZnO reeds lang als zonnefilters worden gebruikt, is hun toepassing onder de vorm van nanodeeltjes betrekkelijk nieuw (Fivenson et al., 2021).

Uit sommige studies blijkt dat nanodeeltjes in de bloedbaan orgaanschade kunnen veroorzaken door oxidatieve stress en inflammatie (Ze et al., 2014). Er is echter geen bewijs dat via de huid voldoende nano-ZnO of nano-TiO_2 kunnen worden geabsorbeerd om systemische effecten te veroorzaken (Sabzevari et al., 2021).

Naast UV-filters als actief bestanddeel, bevatten zonnebrandmiddelen ook **additieven** die mogelijk een negatieve impact op de gezondheid hebben. Zo werd in de Noorse Euromix studie een significant verband aangetoond tussen het gebruik van zonnecrèmes en de serum concentratie van verschillende **perfluorverbindingen** (PFOA, PFTrDA, and PFOSA). (Thépaut et al., 2021). Perfluorverbindingen worden aan zonnecrèmes toegevoegd om ze waterafstotend te maken, als bewaarmiddelen, emulgatoren en viscositeitsregelaars (Thépaut et al., 2021). Perfluorverbindingen zijn persistente stoffen, ze blijven lange tijd in het milieu en in de mens aanwezig. Meerdere studies hebben significante verbanden gevonden tussen blootstelling aan PFAS en ongunstige immuunresultaten bij kinderen en dyslipidemie; blootstelling aan PFAS wordt ook gerelateerd aan effecten op de neurologische ontwikkeling en mogelijk aan kanker (Sunderland et al., 2019).

Synthetische musks zijn aanwezig in zonnecrèmes als geurstoffen. Er zijn twee belangrijke klasse van synthetische musks, nl. nitromusks (vb. xyleen, keton) die in de EU verboden zijn, en polycyclische musks (vb. galaxolide/HHCB), tonalide/AHTN) die in hoge volumes geproduceerd en gebruikt worden in de EU (Roosens et al., 2007). Polycyclische musks worden teruggevonden in het milieu in waterlopen en in vissen (Roosens et al., 2007). Blootstelling van de mens aan musks verloopt dus zowel via de huid als via voeding. Studies geven aan dat synthetische musks hormoonverstorend kunnen werken en mogelijk astma induceren (Tavera Busso et al., 2018). **Parabenen** worden gebruikt in persoonlijke verzorgingsproducten en ook in voeding als antimicrobiële bewaarmiddelen en worden beschouwd als hormoonverstoorders (Nowak et al., 2018).

De klimaatverandering in Vlaanderen gaat gepaard met meer extreme weersomstandigheden, zoals natte winters, droge zomers en hoge temperaturen. Dat leidt in Vlaanderen tot een grotere behoefte aan bemesting en hogere verliezen van meststoffen naar het grond- en oppervlaktewater (VILT, n.d.). Als gevolg van een toename in gebruik van kunst- en dierlijke mest, komen ook meer **zware metalen**, voornamelijk cadmium, zink en koper, op landbouwgronden en in de geteelde voeding terecht en is er daarnaast ook een verhoogde kans op uitspoeling van de zware metalen naar het grond- en oppervlaktewater (Frogner-Kockum et al., 2020). Blootstelling aan zware metalen wordt in verband gebracht met verstoorde nierwerking, verstoorde botvorming, verhoogde bloeddruk, immuunverstoring en kanker (Jaishankar et al., 2014). Resultaten uit verschillende FLEHS-campagnes suggereren hormoonverstorende effecten van koper bij Vlaamse adolescenten (De Craemer et al., 2017). Door een verhoogde nood aan irrigatie van rijst- en graanvelden met grondwater kan de concentratie arseen in de voedingsgewassen op plaatsen met arseenrijk grondwater, voornamelijk in Azië, beïnvloed worden (Muehe et al., 2019).

Pesticiden in de landbouw omvatten de biociden en gewasbeschermingsmiddelen. Biociden zijn bestrijdingsmiddelen tegen o.a. insecten (insecticiden), onkruid (herbiciden), schimmels en zwammen (fungiciden) met daarin subklassen op basis van chemische identiteit, fysische toestand/toepassingsmethode (Richardson et al., 2019).

Volgens de Food and Agriculture Organization (FAO) ligt het huidig pesticiden gebruik per oppervlakte akkerland in België (6,96 kg/ha) ongeveer vier keer boven het Europese gemiddelde (1,66 kg/ha) (Food and Agriculture Organization (FAO), n.d.). Door klimaatverandering kan zowel het gebruik van pesticiden in de landbouw als in de persoonlijke context, voor bestrijding van muggen en teken, toenemen (Boxall et al., 2009). Historisch gezien waren de organochloorverbindingen zoals DDT en chlordaan van groot belang als pesticiden (Richardson et al., 2019). Het gebruik van deze pesticiden en ook andere persistente stoffen (PCB's, HCB, …) is verboden onder de Stockholm Conventie voor Persistente Organische polluenten (POP's) omwille van hun chemische stabiliteit en resistentie tegen biodegradatie en omwille van hun schadelijke effecten voor mens (hormoon-, immuunverstorend, carcinogeen). Door hun persistentie hebben ze zich verspreid over de hele wereld en accumuleren ze in de voedselketen, waardoor mensen nog steeds blootgesteld worden aan POP's via voeding (knolgewassen, bladgroenten, vet vlees, vis, kip en eieren). Door de klimaatverandering smelten ijskappen en eeuwige sneeuw, opgeslagen POP's kunnen opnieuw vrijkomen uit deze natuurlijke depots en in waterlopen belanden (Balbus et al., 2013). Bovendien zullen door het toenemende aantal overstromingen POP's uit bodem en het sediment vrijkomen en mogelijk naar natuur- en landbouwgebieden worden getransporteerd (Balbus et al., 2013). Ook klimaatverandering-gerelateerde bosbranden zijn een mogelijke bron voor vrijstelling en verspreiding van historische vervuiling door POP's (Balbus et al., 2013).

Met het oog op huidig en toekomstig gebruik van pesticiden zijn volgende stofgroepen mogelijk relevant, hoewel de lijst zeker niet volledig is:

- Insecticiden: Organofosfaatpesticiden zijn insecticiden met een brede werking, ze worden vooral gebruikt bij de teelt van groenten, fruit en in de sierteelt. Organofosfaat pesticiden komen voor in ongeveer de helft van de insecticiden die wereldwijd gebruikt worden. Eén van de meest gebruikte organofosfaatpesticiden in België was chloorpyrifos, 2017 werd het gebruik ervan in Vlaanderen beperkt tot welomschreven toepassingen en op EU-niveau is gebruik sinds 2019 niet langer toegestaan (European Commission, n.d.). Organofosfaatpesticiden kunnen neurotoxisch, hormoonverstorend en immunotoxisch zijn en worden geassocieerd met ongunstige zwangerschapsuitkomsten (laag geboortegewicht, vroeggeboorte) (Ubaid ur Rahman et al., 2021). Pyrethroïden (o.a. permethrine, cypermethrine, deltamethrin) worden veelvuldig gebruikt als insecticiden ter behandeling van vee, huisdieren, en als persoonlijke bescherming tegen muggen en teken. Ze zijn neurotoxisch en mogelijk immuunverstorend (Richardson et al., 2019).
- Herbiciden: het fenoxyherbicide 4-dichlorofenoxy-azijnzuur (2,4-D) beïnvloedt de groei van planten en wordt wereldwijd gebruikt tegen breedbladige onkruid in graanvelden en graslanden. Humane blootstelling verloopt voornamelijk via voeding. 2,4-D wordt gerelateerd aan hormoonverstoring, neurotoxiciteit; 2,4-D wordt door het IARC (International Agency for Research on Cancer) geklasseerd als 'mogelijk kankerverwekkend voor de mens' (groep 2B) (Richardson et al., 2019). Glyfosaat is wereldwijd het meest gebruikte herbicide in de land- en tuinbouw. Het belangrijkste afbraakproduct van glyfosaat in planten en in het milieu is aminomethylfosfonzuur (AMPA). Het gebruik van glyfosaat en zijn afbraakproduct AMPA door niet-professionelen is sinds 2018 beperkt in Vlaanderen, maar het wordt nog steeds gebruikt door landbouwers. IARC (International Agency for Research on Cancer) deelt glyfosaat in als "waarschijnlijk kankerverwekkend" (klasse 2A), glyfosaat wordt ook in verband gebracht met hormoonverstoring en neurotoxiciteit (Richardson et al., 2019).

- Fungiciden: Dithiocarbamaten worden wereldwijd gebruikt in de landbouw. Ethyleenthioureum (ETU) is één van de belangrijkste metabolieten van dithiocarbamaten en wordt door het IARC geklasseerd als 'niet klasseerbaar als carcinogeen voor de mens' (groep 3) maar ETU heeft bij proefdieren een nadelig effect op de schildklier, teratogene, carcinogene, immunotoxische en mutagene effecten (Houeto et al., 1995). Bij de mens kunnen carbamaatpesticiden een irriterende en allergische werking hebben op de huid (Richardson et al., 2019). DE EU schrapte in 2017 en 2018 de erkenning voor gebruik van een aantal dithiocarbamaten. Para-dichlorobenzeen (2,5-DCP) is een fungicide dat wordt gebruikt voor de bestrijding van o.a. meeldauw, maar ook van motten. 2,5-DCP is moeilijk afbreekbaar en kan hierdoor lange tijd in het milieu aanwezig blijven. 2,5-DCP wordt door het IARC geklasseerd als 'mogelijk kankerverwekkend voor de mens' (groep 2B) en wordt geassocieerd met neurotoxiciteit, immuunmodulerende en cardiovasculaire effecten (Dubey et al., 2014).

1.5 GEZONDHEIDSIMPACT VAN TOENAME AAN ALLERGENEN OP ALLERGIE EN LUCHTWEGAANDOENINGEN

Klimaatverandering heeft op allerlei manieren een negatieve invloed op atopische aandoeningen (allergie, astma, eczeem) en verhoogt de kans op huidirritatie (Smith et al., 2014). Dergelijke ziekten worden meestal als een geheel bestudeerd, waarbij aandoeningen van de luchtwegen (van allergische rhinoconjunctivitis tot astma) binnen het zogenaamde concept *"one airway, one disease"* (Licari et al., 2017) worden opgenomen.

Dit is bijzonder relevant gezien een gecombineerde blootstelling aan luchtverontreinigende stoffen (vb. fijn stof, ozon/NOx/PAK's) en allergenen een synergetisch effect kan hebben op zowel astma als allergieën (Rouadi et al., 2020). Ook hoge temperaturen en het toenemend aantal hittegolven kunnen zorgen voor meer en ernstigere ademhalingsklachten en een verhoogde mortaliteit bij individuen met chronische respiratoire aandoeningen (vb. astma, COPD) (D'Amato et al., 2020).

De relatie tussen allergische symptomen en blootstelling aan allergenen is sterk afhankelijk van de bioklimatologische regio's, de actuele gezondheidstoestand van de patiënten en het type allergeen. Belangrijk hierbij is dat de relatie niet lineair verloopt en er meestal een variabele tijdspanne tussen de eigenlijke blootstelling en het optreden van de allergische symptomen vastgesteld kan worden. Zo kan er een gewijzigde blootstelling zijn aan allergenen geproduceerd door planten, schimmels en insecten (zowel buitens- als binnenshuis) en kan er een verandering optreden in de gevoeligheid van patiënten voor deze of voor nieuwe allergenen (D'Amato et al., 2020). Naast symptomen aan de luchtwegen heeft een aantal patiënten met een pollenallergie ook last van gelijktijdige pollengerelateerde voedselallergieën. Verhoogde gevoeligheid en meer ernstige symptomen zijn het resultaat van:

- De toename van blootstelling aan **allergieverwekkende pollen** in de lucht. Er zijn verschillende gevolgen van de klimaatverandering (voornamelijk door stijgende temperaturen, langere vorstvrije seizoenen, veranderende neerslagpatronen en stijgende kooldioxideconcentraties in de atmosfeer) beschreven, waaronder: een verhoogde stuifmeelproductie van planten waarbij de bestuiving door de wind gebeurt, vroegere aanvang en langere pollenseizoenen waardoor

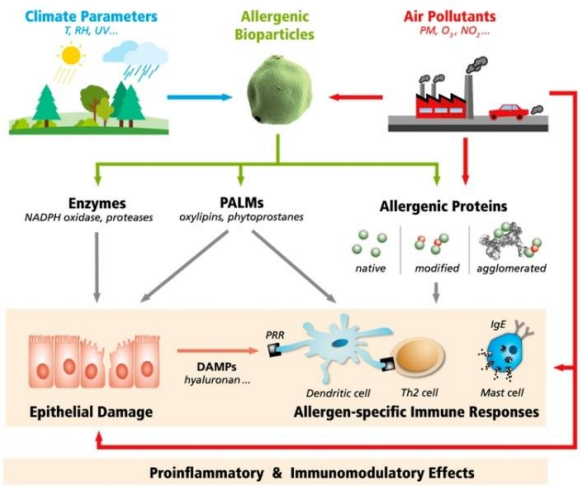
het optreden van allergische symptomen moeilijker te voorspellen wordt, een verhoogde allergeniciteit van pollen die ernstigere gezondheidseffecten veroorzaken bij allergische personen, de introductie of expansie van invasieve, meer warmte-minnende plantensoorten die nieuwe sensibilisaties veroorzaken (klein glaskruid, ambrosia, platanen, cipressen en olijfbomen). In onze regio vertoonden de meeste onderzochte pollentaxa een algemeen stijgende trend in de jaarlijkse pollenaantallen en de piekwaarden maar ook in de verschuivingen van de pollenseizoenen (de Weger et al., 2021). Terwijl dit werd waargenomen voor de houtachtige taxa, vertoonden de grassen en de bijvoet dalingen in hun jaarlijkse pollenaantallen en piekwaarden. Eveneens kon een verlenging van het pollenseizoenen voor deze taxa waargenomen worden.

Het is bovendien belangrijk om op te merken dat de blootstelling aan aeroallergenen niet enkel afhankelijk is van plaatselijke klimaatgevoelige emissies, zoals blijkt uit zowel fenologische- (Menzel et al., 2021) als modelstudies (Verstraeten et al., 2021). Het wordt in grote mate ook beïnvloed door het lange-afstandstransport van aeroallergenen uit naburige regio's, die (hoewel biogeografisch verschillend) op hun beurt eveneens getroffen worden door de wereldwijde klimaatverandering.

- Daarnaast kan door de klimaatverandering (binnenhuistemperatuur en vochtigheid) de aanwezigheid van **huisstofmijt** en **schimmels**, die allergenen kunnen verspreiden in woningen, toenemen met een toename aan atopische aandoeningen tot gevolg (D'Amato et al., 2020). Concentraties van allergenen in het binnenmilieu worden bepaald door een complexe bioaerosoldynamiek, waarbij specifieke fracties als een vector voor blootstelling gezien kunnen worden doordat ze in staat zijn om allergenen mee te voeren (Pomés et al., 2016). Bovendien kan de allergenenconcentratie buitenshuis een aanzienlijke invloed hebben op deze binnenshuis, waardoor een indirect verband gelegd kan worden tussen klimaatgevoelige seizoensparameters en het bioexposoom binnenshuis.
- Wegens extreme weersomstandigheden in de zomer zullen mensen meer tijd binnenshuis doorbrengen wat zou kunnen impliceren dat, naast een algemene toename van de blootstellingsomvang, ook een verandering in het blootstellingspatroon kan verwacht worden.

Daarnaast zijn er nog andere klimaat-gerelateerde parameters waarmee rekening gehouden moet worden. Deze factoren kunnen een belangrijke rol spelen in de potentiële toename en verergering van allergische ziekten:

Adjuvante mediatoren afkomstig van pollen, zoals lipiden en adenosine, kunnen op vergelijkbare wijze worden beïnvloed door klimaatverandering (Gilles-Stein et al., 2016). Stuifmeel geeft namelijk een grote verscheidenheid aan bioactieve stoffen af, zoals suikers, lipiden, secundaire metabolieten en hormonen. Deze bioactieve mediatoren binden zich aan de receptoren van immuuncellen, wat de allergische gevoeligheid aan eiwitten afkomstig van pollen zou kunnen bevorderen of reeds gemanifesteerde niet-specifieke allergische immuunreacties zou kunnen versterken (Gilles et al., 2020) . Deze stoffen, naast het allergeen zelf, zouden verantwoordelijk kunnen zijn voor de potentie van de allergeniciteit van pollen. Bijkomend kan de allergeniciteit versterkt worden door omgevingsfactoren zoals ozon (Sénéchal et al., 2015).



Figuur 1-4 Trajecten waarlangs klimaatparameters en luchtverontreinigende stoffen het vrijkomen, de potentie en de effecten van allergenen en hulpstoffen kunnen beïnvloeden (Reinmuth-Selzle et al., 2017).

Zoals reeds vermeld in sectie 1.4, stoten bomen, zoals de plataan, niet enkel allergenen uit maar ook biogene vluchtige organische stoffen (BVOC's) uit (Cariñanos et al., 2020; Vrinceanu et al., 2021). Deze BVOC's kunnen, net als antropogene VOC's, een rol spelen als precursoren van **troposferisch ozon** (afhankelijk van de klimatologische omstandigheden, de stedelijke ontwikkeling en vele andere factoren) (Araya et al., 2019). Het is zeer waarschijnlijk dat de klimaatverandering, afhankelijk van de specifieke BVOC- en plantensoorten, deze BVOC-emissies zal doen toenemen (Peñuelas and Staudt, 2010).

Hogere temperaturen zorgen ook voor een betere habitat voor de **(eiken)processierupsen**, die brandharen produceren. Contact met deze brandharen kan verschillende type reacties veroorzaken: mechanische/toxische irritatie, een niet-allergische of pseudo-allergische reactie en een allergische reactie met huid-, en oogklachten en klachten van de bovenste luchtwegen tot gevolg (De Boer and Harvey, 2020).

De International Society of Dermatology richtte een Committee on Climate Change op, met als doen onderzoek te doen naar de relatie tussen klimaatverandering en dermatologische aandoeningen. Zoals eerder aangehaald, heeft klimaatverandering op allerlei manieren een negatieve invloed op atopische aandoeningen zoals eczeem (warmte-eczeem, zonne-eczeem) en verhoogt het de kans op huidirritatie en op huidinfecties (Silva and Rosenbach, 2021; Smith et al., 2014).

1.6 GEZONDHEIDSIMPACT DOOR TOENAME VAN INFECTIEZIEKTEN

De incidentie van verschillende infectieziekten van virale, bacteriële, fungale en parasitaire oorsprong kan beïnvloed worden door klimatologische omstandigheden die de verspreiding bevorderen (Silva and Rosenbach, 2021).

Veranderende klimaatomstandigheden vergroten de kans op overdracht van veel door water, lucht, en voedsel overgebrachte ziekteverwekkers (bv. *Vibrio, Campylobacter, Salmonella, Escherichia coli, Legionella, …*) (Romanello et al., 2021). Zo worden steeds meer gevallen van huidirritatie (bv. zwemmersjeuk) en huidinfecties (bv. *Vibrio*) in verband gebracht met de opwarming van kustwateren (Dayrit et al., 2018; Silva and Rosenbach, 2021).

Klimaatverandering en temperatuurstijging zijn van invloed op overdracht en verspreiding van vectoren van infectieziekten zoals bloedzuigende insecten (hematofagen) en teken (spinachtigen) (Mcmichael et al., 2003; Sweileh, 2020; Thomas et al., 2014). Mensen die wonen in of aan bosrijke gebieden en mensen die in de vrije tijd of tijdens het werk veel in aanraking komen met dichtbegroeide bossen met hoog gras en/of struiken, komen sneller in aanraking met een besmette teek. De meest voorkomende ziekte die veroorzaakt wordt door teken is de ziekte van Lyme. Deze ziekte wordt veroorzaakt door de bacterie *Borrelia burgdorferi*. Daarnaast kan het tekenencefalitis-virus een hersen(vlies)ontsteking (TBE) veroorzaken na een tekenbeet. Bij de symptomen na een tekenbeet hoort ook een allergische reactie na het eten van rood vlees. Galactose-α-1,3-galactose (Alfa-gal) is een koolhydraat dat vooral aanwezig is in het vlees van teken-gastheren zoals runderen, varkens, lammeren, schapen of paarden, maar van nature niet voorkomt bij mensen (Commins et al., 2011). Alfa-gal van de gastheer blijft aanwezig in het speeksel en het maag-darmstelsel van de teek. Wanneer vervolgens een persoon door deze teek wordt gebeten, vindt alfa-gal overdracht plaats. Het immuunsysteem kan hierop reageren door het aanmaken van IgE-afweerstoffen; dit duurt ongeveer 1 tot 3 maanden (Hamsten et al., 2013). Inname van alfa-gal bevattende voedingsmiddelen kan daarop resulteren in een kruisreactie. Bij het uitblijven van volgende tekenbeten kan de IgE-respons op alfa-gal in de loop van de tijd uitdoven. De kenmerken van het alfa-galsyndroom zijn jeuk, urticaria, luchtwegklachten, gastro-intestinale klachten en soms ook anafylactische reacties, die meestal pas 2-6 uur na het eten van vleesproducten optreden. Niet alle personen bij wie sIgE-antistoffen tegen alfa-gal aantoonbaar zijn, hebben klachten na het eten van zoogdierenvlees (Hamsten et al., 2013). Niet alle tekensoorten lokken het alfa-galsyndroom uit. In België is *Ixodes ricinus* de enige gekende tekensoort die sIgE-antistoffen tegen alfa-gal kan opwekken (Hamsten et al., 2013). Omdat het risico op tekenbeten is toegenomen, valt te verwachten dat tekenziekten en ook dit *alfa-galsyndroom* vaker optreedt. Het werkelijk aantal mensen met klachten ligt wellicht hoger dan onderzoekers vermoeden.

De aanwezigheid van exotische *Aedes* muggen is de essentiële voorwaarde om lokale overdracht van arbovirussen mogelijk te maken. De tijgermug (*Aedes albopictus*) kan virussen van mens op mens overdragen. Hiervoor moet de mug eerst een persoon steken die besmet is met dit virus, daarna kan de mug dit virus naar een andere persoon overdragen. Deze virussen komen meestal het land binnen via een geïnfecteerde reiziger. De tijgermug is een goede vector van virussen die potentieel ernstige aandoeningen veroorzaken zoals dengue, Zika en chikungunya-koorts. De laatste vijf jaar is een toenemend aantal uitbraken van deze muggen-overdraagbare aandoeningen gemeld in Zuid-Europa[1]. Reizigers die terugkeren uit landen waar de ziekte endemisch is, kunnen deze ziekten introduceren in gebieden waar deze *Aedes*-soort gevestigd is, waardoor het risico van lokale overdracht van deze ziekten toeneemt. De tijgermug (*Aedes albopictus*) is in opmars in Europa en ook in België (Deblauwe et al. 2022). Via het burgerwetenschapsplatform www.muggensurveillance.be (MEMO+ project) werden in 2022 al op minstens vijf locaties tijgermuggen vastgesteld[2]. Ook op drie parkings werden eitjes van tijgermuggen gevonden tijdens de actieve monitoring van het MEMO+ project. Dit betekent dat de vestiging van de tijgermug in België binnenkort een feit is.

Intensieve regen en overstromingen veroorzaken vochtigheid en schimmelproliferatie binnenhuis (met vorming van schimmelsporen), waardoor de binnenhuis luchtkwaliteit negatief beïnvloed wordt (Eguiluz-Gracia et al., 2020).

[1] https://www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2022/dengue-en-france-metropolitaine-les-cas-autochtones-en-hausse
[2] https://muggensurveillance.be/resultaten

Parameters die verband houden met klimaatverandering, zoals verlies aan biodiversiteit, meteorologische factoren en luchtvervuiling, kunnen epidemieën bevorderen (Marazziti et al., 2021). De bijdrage van klimaat en luchtvervuiling aan het ontstaan en de verspreiding van SARS-CoV-2 wordt momenteel volop bestudeerd (Barouki et al., 2021). In overeenstemming met eerdere literatuur (Marazziti et al., 2021), toonde Vlaamse onderzoek aan dat blootstelling aan luchtverontreiniging op het woonadres geassocieerd was met opnameduur en de kans op opname op de intensieve zorg na Covid-19 hospitalisatie (Vos et al., 2022). Deze resultaten impliceren een verband tussen blootstelling aan luchtverontreiniging en de ernst van een COVID-19 infectie. Een analyse uitgevoerd door de Universiteit van Bergamo concludeerde bovendien dat SARS-CoV-2 RNA aanwezig zou kunnen zijn in PM (Setti et al., 2020).

Verschillende klimaat-gerelateerde factoren, waaronder hitte en luchtvervuiling (bv. door bosbranden) kunnen ook de efficiëntie van de immuunrespons beïnvloeden (Mirsaeidi et al., 2016).

1.7 GEZONDHEIDSIMPACT VAN KLIMAATVERANDERING OP MENTALE GEZONDHEID EN WELBEVINDEN

Door klimaatverandering nemen weersextremen zoals hitte in zowel ernst als frequentie toe. Warme temperaturen ‘s nachts hebben een negatieve impact op de slaapkwaliteit. Relatief korte periodes van onvoldoende slaap veroorzaken reeds fysiologische en psychologische verstoringen. Mensen die blootgesteld worden aan extreme omstandigheden, zoals een overstroming of hittegolf hebben meer kans om ook op lange termijn psychologische stress-stoornissen te ontwikkelen (Cianconi et al., 2020). Slachtoffers kunnen psychologisch trauma ervaren als gevolg van persoonlijk leed (verlies van familielid of vriend), verlies van of schade aan persoonlijke eigendommen en een opeenstapeling van infrastructurele en technische problemen die de ramp heeft veroorzaakt. Deze psychologische gevolgen omvatten angst- en stemmingsstoornissen, acute stressreacties en posttraumatische stressstoornissen, slaapstoornissen, zelfmoord en zelfmoordgedachten, alsook een verminderd zelf- en identiteitsgevoel en rouwreacties door verlies of aantasting van de vertrouwde leefomgeving (Palinkas and Wong, 2020). Onderzoek toonde aan dat 25% tot 50% van degenen die worden blootgesteld aan extreme weersomstandigheden negatieve gevolgen voor de geestelijke gezondheid ondervinden (Palinkas and Wong, 2020). Bovendien is er een constante wisselwerking tussen de gevolgen voor de lichamelijke gezondheid en voor de geestelijke gezondheid. Bij kinderen en jongeren kunnen mentale problemen op hun beurt leiden tot problemen met cognitie, leren, gedrag, taalontwikkeling en schoolprestaties (Burke et al., 2018).

Ook mensen die niet direct te maken krijgen met de gevolgen van klimaatverandering kunnen psychische effecten ervaren. Omdat deze mentale problemen in verband met klimaatverandering nieuw en nog onbegrepen zijn, werden nieuwe termen bedacht om sommige ervan te definiëren. De term "solastalgie" duidt op een psychische toestand waarin mensen de omgeving waarin ze leven niet als vertrouwd herkennen en niet in staat zijn om zich eraan aan te passen (Marazziti et al., 2021).

Daarnaast ondervinden steeds meer mensen, in het bijzonder jongeren, de negatieve invloed van “eco-anxiety” op het dagelijks leven (Hickman et al., 2021; Palinkas and Wong, 2020). Bij "eco-anxiety" wordt de natuur als fragiel en kwetsbaar waargenomen en heerst er angst en frustratie

omwille van de gevolgen van klimaatverandering (Marazziti et al., 2021). De verwachting is dat niveaus van klimaat-gerelateerde angst en solastalgie zullen toenemen naarmate de gevolgen van klimaatverandering steeds voelbaarder worden. In FLEHS-4 werd, naar analogie met de Eurobarometer bevraging 2017[3], reeds kort bevraagd welke milieu-onderwerpen de deelnemer het meest verontrustten. De drie hoogst gerangschikte milieu-onderwerpen houden allen verband met klimaatverandering en werden door meer dan de helft van de jongeren aangeduid: opwarming van de aarde (66,2%), uitsterven van planten en dieren (53,8%) en watervervuiling (52,1%). De top vijf wordt vervolledigd door luchtvervuiling (42,3%) en de groeiende hoeveelheid afval (39,7%). Resultaten van de Eurobarometer 2017 gaven aan dat volwassen Belgen voornamelijk ongerust zijn over luchtvervuiling (58%), opwarming van de aarde (57%) en afval (40%). In de totale Europese steekproef stond opwarming van de aarde echter op de eerste plaats, gevolgd door luchtvervuiling en afval.

1.8 FACTOREN DIE DE KWETSBAARHEID BEÏNVLOEDEN

De kwetsbare doelgroepen hangen af van het beschouwde gezondheidseffect, men kan algemeen volgende categorieën beschouwen:

- Leeftijd
- Gezondheidsstatus
- Woonplaats
- Socio-economische parameters

Aspecten van kwetsbaarheid zijn belangrijk bij het analyseren van het verband tussen blootstelling aan klimaat-gerelateerde factoren en gezondheidseffecten. Deze kunnen bevraagd worden zoals weergegeven in sectie 3.16.2.

1.8.1 Leeftijd

Sommige bevolkingsgroepen zijn gevoeliger voor klimaat-gerelateerde gezondheidseffecten. Dit geldt in het algemeen voor ouderen, zuigelingen en kinderen (Thomas et al., 2014). Zo leiden ouderdom vaak tot verminderde of onaangepaste fysiologische reacties op hittestress (Haines and Ebi, 2019). Zuigelingen en kinderen hebben een kleiner lichaamsoppervlak, waardoor de warmte minder goed kan worden afgevoerd dan bij volwassenen en daarbij hebben ze ook een lagere capaciteit om te zweten (Hashim, 2010). Ouderen nemen vaak ook geneesmiddelen; inname van veelvoorkomende geneesmiddelen kan de thermoregulerende en algemene fysiologische belasting bij hoge temperaturen versterken (Smith, 2019). Bij gebruik van fotosensibiliserende geneesmiddelen kan een verhoogde blootstelling aan UV-straling door klimaatverandering leiden tot meer overmatige huidreacties (verbranding, eczema, urticaria, hyperpigmentatie) (Beggs, 2000). Bij gebruik van immuunsuppressieve geneesmiddelen is een toename van het risico van huidkanker door verhoogde blootstelling aan UV-licht niet uit te sluiten (Silva and Rosenbach, 2021). Bovendien zijn kinderen en bepaalde ouderen ook erg afhankelijk van zorg door anderen. Met betrekking tot kinderen is in een recente review (Helldén et al., 2021) een overzicht opgenomen van het scala van kinderziekten die verergerd worden door de directe en indirecte effecten van klimaatverandering, zoals vectoren-, water- en voedsel-overgedragen infectieziekten en geestelijke gezondheidsproblemen.

[3] https://ec.europa.eu/environment/eurobarometers_en.htm

Er is momenteel weinig inzicht in hoe de heersende maatschappelijke trends zoals vergrijzing de kwetsbaarheid en de impact van klimaatverandering op de volksgezondheid zullen beïnvloeden (Huynen et al., 2019). Binnen de categorie 'leeftijd' maken we onderscheid tussen:

- Ouderen;
- Jonge kinderen.

1.8.2 Gezondheidsstatus

Mensen met een zwakkere gezondheid zijn ook gevoeliger voor klimaat-gerelateerde gezondheidseffecten, bv. zwangere vrouwen en hun foetus, mensen met chronisch aandoeningen (luchtwegaandoeningen, diabetes, obesitas), mensen met fysische of psychische klachten, gebruikers van medicijnen, alcohol en drugs (Thomas et al., 2014). Zoals hierboven reeds aangehaald nemen deze groepen vaak geneesmiddelen, hetgeen kan leiden tot neveneffecten bij blootstelling aan klimaat-gerelateerde stressoren.

Mensen met een zwakkere gezondheid zijn vaak ook erg afhankelijk van zorg door anderen, dit maakt hen extra kwetsbaar tijdens omstandigheden van extreem weer (bv. hitte, storm, overstroming, natuurbrand, …). Binnen de categorie 'gezondheidsstatus' maken we onderscheid tussen:

- Mensen met reeds bestaande chronische aandoeningen (bv. obesitas, diabetes, cardiovasculaire en respiratoire aandoeningen). Obesitas en klimaatverandering hebben beide een impact op subklinische vasculaire ontsteking, een synergie die verder kan leiden tot progressieve atherosclerose en zo bijdraagt aan doodsoorzaak nummer 1 in de wereld: hart- en vaatziekten (Clearfield et al., 2018);
- Mensen met fysieke aandoeningen en/of beperkte mobiliteit;
- Mensen met psychische stoornissen;
- Mensen met alcohol- of drugsproblematiek;
- Zwangere vrouwen.

Inzicht in de gezondheidsstatus kan relevant zijn wanneer verbanden tussen blootstelling aan klimaat-gerelateerde factoren en gezondheidseffecten geëvalueerd worden. Zo zijn er mogelijk verschillen in de sterkte van relaties, zoals immuunparameters bij jongeren met/zonder obesitas in relatie tot temperatuur. Ook kan het onderzoek toegespitst worden op specifieke doelgroepen, zoals bv. zwangere vrouwen.

1.8.3 Woonplaats

In Vlaanderen is het leven in een stedelijke omgeving een belangrijke risicofactor voor hittestress en luchtvervuiling, gezien de hoge verstedelijkingsgraad in combinatie met een dicht weggennet en weinig groen (Dons et al., 2014; Van den Wyngaert et al., 2021). Er is momenteel weinig inzicht in hoe de heersende maatschappelijke trends zoals verstedelijking de kwetsbaarheid en de impact van klimaatverandering op de volksgezondheid zullen beïnvloeden (Huynen et al., 2019). Naast de woonomgeving is ook de kwaliteit van de woning belangrijk om blootstelling aan hitte maar ook aan koude en vocht (en hieraan gerelateerde stressoren) te beperken. In een stedelijke omgeving is door de hoge verhardingsgraad het risico op pluviale overstromingen groter, maar ook inwoners van riviervalleien en het kustgebied zijn kwetsbaarder door risico op fluviale overstromingen of zeespiegelstijging.

Binnen de categorie 'woonplaats' maken we onderscheid tussen:

- Stedelijke bevolking;
- Mensen woonachtig in riviervalleien en kustgebieden;
- Kwaliteit van de woning (voldoende koeling, verwarming, ventilatie);
- Toegang tot groene en blauwe ruimte in de woonomgeving: De relatie tussen groene en blauwe ruimte en gezondheid krijgt steeds meer aandacht. Meer groen in de woonomgeving en toegang tot publieke groene ruimte worden o.a. in relatie gebracht met een positieve impact op cognitieve en neurologische ontwikkeling bij kinderen, reductie van cardiovasculaire ziekten, geestelijk welzijn en lichamelijke gezondheid (Marselle et al., 2021). Onderzoek toont aan dat 21% van de Vlamingen geen nabij groen op wandelafstand heeft, dit is vaak in steden. Bij een bevraging van 13.000 Vlamingen naar de invloed van de natuur op het welzijn van de mens, verklaarde 80% van de respondenten dat ze zich fitter, positiever, meer ontspannen of gelukkiger voelen nadat ze in het groen zijn geweest (Simoens et al., 2018). Mensen gaan vooral naar buiten om te bewegen, om rust en stilte te vinden, voor het opzoeken van gezonde lucht en de esthetische ervaring in de natuur. Belangrijkste redenen die aangegeven worden om niet naar buiten te gaan zijn o.a. het weer en de afwezigheid van natuur in de woonomgeving. Onderzoek in FLEHS-4 toonde aan dat jongeren met meer groen in hun buurt beter scoorden op aandachttesten en een tragere celveroudering vertoonden (Bijnens et al., 2022; V. J. Verheyen et al., 2020). Jongeren die wonen in een buurt met meer hoog groen (bomen) presteerden beter op aandachttesten. Niet enkel de aanwezigheid van groen, maar ook de toegankelijkheid van het groen en de tijd die jongeren doorbrengen in het groen was geassocieerd met betere scores op de aandachttesten.

Voorgestelde onderliggende mechanismen voor de gunstige gezondheidsimpact van groen zijn stressreductie door de zintuiglijke waarneming van groen/natuur, verhoogde fysieke activiteit en sociale interactie, maar ook een positieve impact van groen op klimaat-gerelateerde factoren zoals hitteregulatie en verbetering van de luchtkwaliteit (Markevych et al., 2017). Bij het inschatten van het verband tussen groene en blauwe ruimte en gezondheid moet steeds ook gekeken worden naar de mogelijke negatieve effecten, zoals een verhoogd risico's van infectieziekten (vb. ziekte van Lyme), hooikoorts en huidirritaties (vb. eikenprocessierups).

1.8.4 Socio-economische parameters

Een lage socio-economische status kan de kwetsbaarheid voor klimaat-gerelateerde gezondheidseffecten vergroten door een combinatie van hierboven reeds aangehaalde problemen: verminderde algemene gezondheid, slechte woningen, wonen in een stedelijke woonomgeving met meer luchtvervuiling, hittestress en weinig groen. Bovendien blijken kinderen met lagere SES extra kwetsbaar (Arpin et al., 2021).

Binnen de categorie 'socio-economische parameters' maken we onderscheid tussen:

- Lagere inkomensgroepen;
- Alleenstaanden, sociaal geïsoleerde personen;
- Personen die te maken hebben met uithuiszetting, afsluiting van nutsvoorzieningen, dak- en thuislozen;
- Mensen woonachtig of werkzaam in zorg- en onderwijsinstellingen;
- Mensen met buitenberoepen;
- Mensen die zware lichamelijke arbeid verrichten, sporters;
- Vrijetijdsbesteding in buitenomgeving;
- Sporters in buitenomgeving;

- Mensen met migratie-achtergrond;
- Reizigers.

Mensen die fysieke arbeid of buitenactiviteiten verrichten of buiten sporten of recreëren zijn eveneens meer blootgesteld en dus kwetsbaarder.

Op basis van leeftijd van de bevolking, SES en woonkwaliteit bracht VITO eerder de kwetsbaarheid voor klimaat-gerelateerde risico's per statistische sector in kaart voor Vlaanderen en Brussel, op een schaal van 0 tot 10, zie ook Figuur 1-5 (Hooyberghs, 2018). Deze informatie kan bijdragen aan het onderbouwd selecteren van geografische "hotspots" voor de biomonitoring van klimaat-gerelateerde gezondheidsrisico's.

Figuur 1-5: Kwetsbaarheid op niveau van statistische sector voor Vlaanderen en Brussel. Bron: Hooyberghs (2018).

2 OMGEVINGSINDICATOREN OM DE GEZONDHEIDSIMPACT VAN KLIMAATVERANDERING TE MONITOREN

In een eerste luik van deze studie wordt een set van omgevingsindicatoren opgesteld die een indicatie (kunnen) vormen voor aan klimaatverandering-gerelateerde gezondheidseffecten.

2.1 INLEIDING

Het opvolgen van de gevolgen van klimaatverandering op de gezondheid is pertinent in functie van onder meer early warning, kennisvergroting, en de evaluatie van de effectiviteit van het beleid; het ondersteunt een cyclisch leerproces dat toelaat beleid progressief bij te stellen in functie van (eventueel gewijzigde) prioriteiten.
In het kader van deze opdracht zijn we (onder meer) op zoek naar indicatoren voor omgevingskenmerken die enerzijds een relatie hebben met klimaatverandering, en die anderzijds aantoonbaar indicatief kunnen zijn voor het voorkomen van eventuele klimaat-gerelateerde gezondheidseffecten. Aangezien de doorwerking van klimaatverandering op de gezondheid op veel manieren gebeurt en tal van omgevingskenmerken hierbij een rol kunnen spelen, vertrekken we met het opstellen van een longlist van mogelijk bruikbare indicatoren (sectie 2.2). Op basis van resultaten van een bevraging van experten naar beleidsrelevantie wordt uit deze longlist een beknopte lijst van indicatoren gefilterd (sectie 2.3). In sectie 2.4 wordt dieper ingegaan worden op de technische haalbaarheid voor de implementatie van deze indicatoren. In sectie 0 wordt de uitwerking van een aantal omgevingsindicatoren gedemonstreerd.

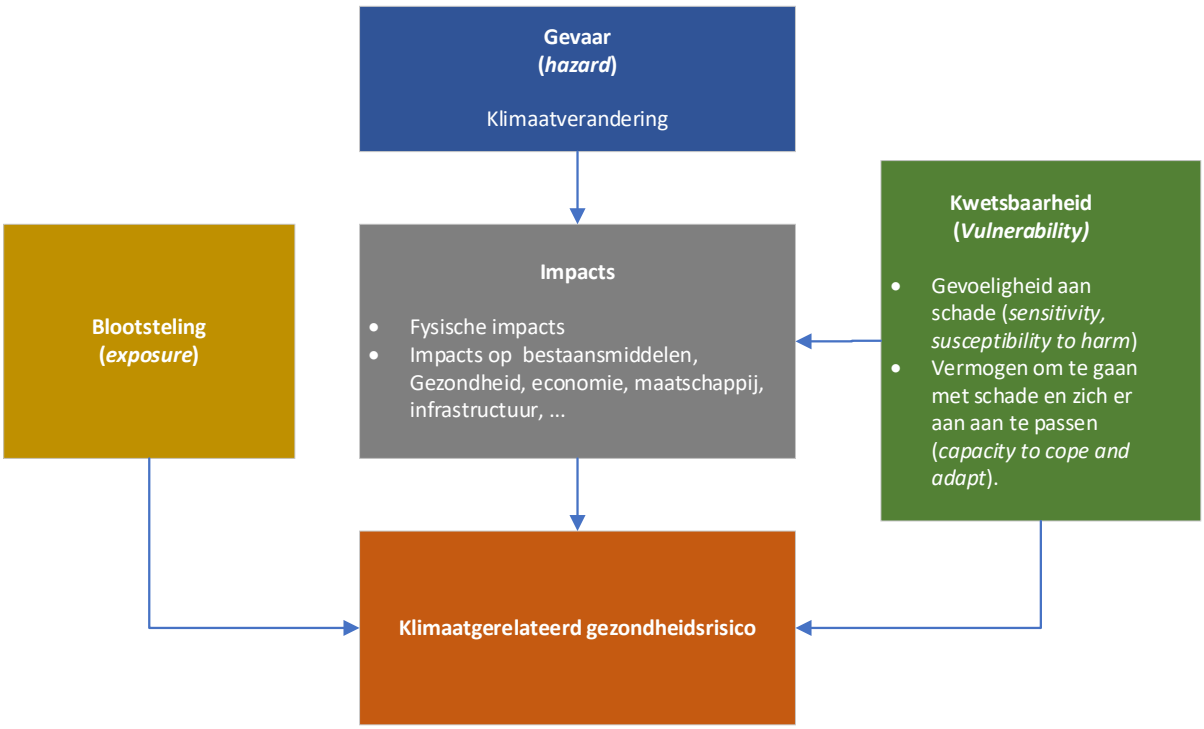
2.2 OPSTELLEN VAN EEN LONGLIST VAN OMGEVINGSINDICATOREN

2.2.1 Methodologisch kader

Als methodologisch kader voor het opstellen van de longlist maken we gebruik van het zogenaamde risicoraamwerk (*risk framework*) ontwikkeld door het International Panel on Climate Change (IPCC, 2014). Volgens dit kader ontstaat een risico als de resultante van een gevaar (*hazard*), blootstelling (*blootstelling*) en kwetsbaarheid (*vulnerability*). Geschikte indicatoren kunnen op elk van deze niveaus te vinden zijn.
In overeenstemming met IPCC hanteren we de volgende definities:
Risico: De mogelijke gevolgen wanneer er iets van waarde op het spel staat en waar de uitkomst onzeker is. Risico wordt vaak voorgesteld als de kans van het voorkomen van gevaarlijke gebeurtenissen vermenigvuldigd met de gevolgen als deze gebeurtenissen zich voordoen.
Gevaar: Het potentieel optreden van een natuurlijke of door de mens veroorzaakte fysieke gebeurtenis die verlies van mensenlevens, letsel of andere gezondheidseffecten kan veroorzaken, evenals schade en verlies aan eigendommen, infrastructuur, middelen van bestaan, het voorzien van diensten, ecosystemen en milieubronnen. In de IPCC-rapporten verwijst de term gevaar (*gevaar*) meestal naar klimaat-gerelateerde fysieke gebeurtenissen of hun fysieke effecten.

Kwetsbaarheid: De neiging of aanleg om nadelig te worden beïnvloed. Kwetsbaarheid (*vulnerability*) omvat een verscheidenheid aan concepten en elementen, waaronder gevoeligheid aan schade (*sensitivity*) en gebrek aan vermogen om ermee om te gaan en zich aan te passen (*capacity to cope or adapt*).
Blootstelling: De aanwezigheid van mensen, middelen van bestaan, soorten of ecosystemen, milieufuncties, diensten, hulpbronnen, infrastructuur of economische, sociale of culturele activa op plaatsen en in omgevingen die nadelig kunnen worden beïnvloed.
Stressoren: Gebeurtenissen en trends, vaak niet klimaat-gerelateerd, die een belangrijk effect hebben op het blootgestelde systeem en die de kwetsbaarheid voor klimaat-gerelateerde risico's kunnen vergroten.
Impacts: Impacts verwijzen naar effecten op levens, middelen van bestaan, gezondheid, ecosystemen, economieën, samenlevingen, culturen, diensten en infrastructuur, als gevolg van de interactie van klimaatverandering of gevaarlijke klimaatgebeurtenissen en de kwetsbaarheid van een blootgestelde samenleving of systeem. De impacts van klimaatverandering op geofysische systemen, waaronder overstromingen, droogtes en zeespiegelstijging, zijn een subset van impacts die fysieke impacts worden genoemd. Impacts zijn de basisbouwstenen van de oorzaak-gevolgketens (impactketens).

Het principe en de relaties tussen de verschillende hoofdcomponenten worden in Figuur 2-1 weergegeven.



Figuur 2-1: Risicoraamwerk voor inschatting risico's door klimaatverandering.

Met name het aspect blootstelling (en de onderliggende aanname van de aanwezigheid van een gevaar) heeft een duidelijke relatie met omgevingskenmerken[4], maar ook in de andere stappen van de oorzaak-gevolgketen kunnen bruikbare indicatoren gevonden worden.

[4] Hoe groot de gezondheidsimpact werkelijk is hangt daarnaast uiteraard ook af van een reeks andere factoren (maatschappelijke, economische, institutionele, technologische, beleidsmatige …) waarvan we echter aannemen dat ze op korte en middellange termijn en binnen Vlaanderen min of meer constant zijn.

De uitdaging daarbij is om via de omgevingskenmerken een voldoende breed beeld te krijgen van de manier waarop parameters die de gezondheid kunnen beïnvloeden evolueren, maar tegelijk, om redenen van efficiëntie en effectiviteit, niet alles te willen meten. Aansluiten bij bestaande monitoringnetwerken is vanuit dat oogpunt een goede strategie. Uiteraard moet er een aantoonbare (mogelijke) relatie zijn tussen de omgevingskenmerken die we opvolgen en de gezondheidsimpact. Dit lijkt evident, maar niettemin is het belangrijk om bij elke indicator duidelijk de rechtstreekse of onrechtstreekse relatie met gezondheid te beschrijven en zo nodig te documenteren.

Omgevingskenmerken worden uiteraard door tal van aspecten beïnvloed; hun evolutie zal dan ook afhangen van enerzijds 'autonome' ontwikkelingen (bijvoorbeeld klimaatverandering), en anderzijds van de invloed van het beleid (omgevingsbeleid, maar ook ander beleid).

Het relatieve belang van beide soorten van beïnvloedende krachten op de 'waarde' van een indicator kan meestal niet zonder meer afgeleid worden uit de waarnemingen.

Om trends te kunnen detecteren en aan de indicatoren dus niet alleen een beschrijvende maar ook een verklarende dimensie te geven is het daarom aangewezen niet alleen de omgevingsindicatoren zelf, maar ook de beïnvloedende (autonome) factoren op te volgen.
Een voorbeeld: een eventuele afname in de gerapporteerde incidentie van de ziekte van Lyme kan te maken hebben met informatiecampagnes in het kader van het gezondheidsbeleid, maar ook met wijzigingen in het areaal geschikt habitat voor teken (onder invloed van bv. het natuurbeleid), of met het droger worden van het klimaat (autonome evolutie), of met gewijzigde gewoontes van de mens.

2.2.2 Gevolgde methode voor het opstellen van de longlist

In eerste instantie wordt een longlist op van mogelijk bruikbare omgevingsindicatoren in het kader van de opvolging van de effecten van klimaatverandering op gezondheid opgesteld. Daaropvolgend wordt dieper ingegaan op respectievelijk de beleidsrelevantie en de haalbaarheid van deze indicatoren; dit leidt tot een zekere mate van trechtering, die moet leiden tot een finale set van 'sterke' en operationaliseerbare indicatoren[5]. Uiteraard zijn deze drie deelaspecten niet volledig van elkaar te scheiden; reeds bij het opstellen van de longlist werden relevantie en haalbaarheid in de mate van het mogelijke mee in overweging genomen worden.
De uitdaging bestaat er daarbij in om geen indicatoren op te lijsten waarvan relevantie of haalbaarheid bij voorbaat kunnen ingeschat worden als erg laag, maar anderzijds ook niet al te snel mogelijk interessante indicatoren opzij te schuiven.

De longlist werd opgebouwd op basis van relevante literatuur en van de kennis en ervaring van de consortiumleden (zie de literatuurlijst). Vanuit recente en lopende studies waar VITO en/of KENTER aan meegewerkt hebben of meewerken (SECLIM, Kosten/baten adaptatie, Gezondheidsimpact van

[5] In het kader van de studie naar de opmaak van een monitoringssysteem voor het Vlaams Klimaatadaptatieplan 2021-2030 (KENTER, 2019) resulteerde de oorspronkelijke longlist uiteindelijk in drie deellijsten: een lijst met niet geschikte indicatoren (met telkens motivatie waarom dat zo was), een lijst met potentieel interessante maar op dit moment (om diverse redenen) niet bruikbare indicatoren, en een lijst met geschikte indicatoren, waarvoor geen of slechts beperkte aanpassingen nodig waren om ze te operationaliseren. Mogelijk is een vergelijkbare indeling ook in het kader van deze opdracht interessant.

groenblauwe ruimtes, ETC-CCA, …) hebben we een goed beeld van de relevante literatuur, zodat deze fase efficiënt kon aangepakt worden.
De bedoeling was om, vertrekkende van kennis over de mogelijke gezondheidseffecten van klimaatverandering, de tussenliggende omgevingsfactoren die een rol spelen bij of indicatief zijn voor het tot stand komen van die relatie te identificeren.
Bij het identificeren van relevante omgevingsindicatoren zijn we vertrokken van onderstaand overzicht van gezondheidsaspecten die (minstens deels) kunnen beïnvloed worden door klimaatverandering. Zoals gezegd gaat het er in dit werkpakker niet om indicatoren te definiëren voor de gezondheidseffecten zelf, wel voor aan het 'risk framework' gerelateerde omgevingseigenschappen.

Tabel 2-1: Overzicht van de beschouwde gezondheidsimpacten en de relatie met klimaat/klimaatverandering.

Gezondheidsimpact	Mogelijke relatie met klimaat/klimaatverandering
Verminderde arbeidsproductiviteit	Hittestress (binnen/buiten)
Absenteïsme	Extreem weer, klimaatgerelateerde ziektes
Algemene gezondheid	Beschikbaarheid van energie en water, aanwezigheid van groen, …
Respiratoire aandoeningen	Verandering in luchtkwaliteit (ozon, fijn stof, …) als gevolg van droogte, hitte, bosbranden, wijzigingen in verwarmingsemissies, …
	Vochtproblemen en schimmels na overstromingen
	Toename huisstofmijt door zachtere en nattere winters
Allergieën (huid, ogen, luchtwegen)	Veranderingen in pollenconcentraties en - allergeniciteit als gevolg van o.m. wijzigingen in temperatuur en landgebruik.
	Toename van voorkomen van eikenprocessierups
Cardiovasculaire aandoeningen	Hitte in combinatie met luchtvervuiling
Toxische effecten (toxines van biotische oorsprong)	Blauwalgenbloei wordt bevorderd door (onder meer) hogere watertemperaturen
Vectoroverdraagbare ziektes (ziekte van Lyme, denguevirus, Westnijlvirus, chikungunyavirus, …)	Wijzigingen in temperatuur, vochtigheid, vegetatie, water, landgebruik, biodiversiteit, … hebben invloed op de vectoren en hun vermogen om ziektes over te dragen.
Wateroverdraagbare ziektes (Campylobacter, Vibrio, Norovirus, Cryptosporidiosis, Shigella, Gardia, Amoebiase, Legionella, …)	Veranderend voorkomen bacteriën/virussen in water omwille van klimaatverandering (warmer klimaat, droogte, overstromingen, waterkwaliteit, …)
UV-gerelateerde ziekte en sterfte (huidkankers, staar, zonnebrand, vitamine D-tekort, …)	Meer of minder tijd buiten doorbrengen als gevolg van hogere temperaturen
Verwondingen/sterfte door rampen en ongevallen (verkeersongevallen, verdrinking, …)	Overstromingen, extreme regenval, stormen, hitte…
Voedseloverdraagbare ziekten (Salmonella, Listeria, …)	Hogere temperaturen
Ondervoeding	Verminderde landbouwproductiviteit, hogere prijzen.
Mentale gezondheid	Als gevolg van bv. (dreiging van) overstromingen, verlies, schade, extreme temperaturen, opgelegde restricties, …

Voor een aantal van de in Tabel 2-1: vermelde gezondheidsaspecten ligt de relatie met omgevingskenmerken voor de hand en bestaat er ook zeer veel informatie in de literatuur: er is bijvoorbeeld veel gepubliceerd over de effecten van een groene omgeving op (ook mentale) gezondheid, en de kenmerken van de groene omgeving die daarbij een rol spelen zijn uitgebreid bestudeerd. Die kenmerken vormen dan ook een voor de hand liggende basis voor mogelijke omgevingsindicatoren. Voor andere gezondheidsaspecten is de relatie met de kenmerken van de fysische en biologische omgeving minder uitgebreid bestudeerd, en is bijkomend (literatuur)onderzoek uitgevoerd.

We kijken daarbij zowel naar gevaarindicatoren (is het gevaar, onder vorm van hitte, overstromingen, vectoren etc. aanwezig, en in welke mate) als naar blootstellingsindicatoren (hoe groot is de kans dat mensen worden blootgesteld aan deze gevaren), en naar indicatoren die iets zeggen over de gevoeligheid van de populatie of over haar vermogen om zich aan te passen aan of te reageren op de bedreigingen en hun gevolgen.

Een aandachtspunt daarbij is dat voor veel indicatoren de relatie met klimaatverandering niet eenduidig is; klimaatverandering kan bijvoorbeeld bijdragen aan de verspreiding van exotische muggen (en de bijhorende ziektes), maar is lang niet de enige factor (attributieprobleem). Anderzijds hoeft een gevaar niet steeds tot een risico of een effect te leiden, zolang er geen blootstelling is of zolang geen kwetsbare populaties worden blootgesteld.

Indicatoren met betrekking tot de gezondheidsimpact zelf (bv. incidentie van bepaald ziektes) of tot de adaptieve capaciteit (bv. bestaan van hitteplannen) beschouwen we in deze context uiteraard niet als omgevingsindicatoren, wat uiteraard niet wil zeggen dat ze geen deel moeten uitmaken van een uitgebreider monitoringssysteem[6].

Bij het opmaken van de lijst gaan we redundantie bewust niet uit de weg, omdat geen twee indicatoren exact hetzelfde meten en het nuttig kan zijn een variabele vanuit verschillende invalshoeken te bekijken.

2.2.3 Resultaten

Het resultaat van deze oefening is een lijst in Excel, die 209 potentiële indicatoren bevat. De volledige lijst wordt gegeven in Bijlage A. In deze lijst worden ter informatie ook de mediaanwaarden van de tijdens de expertbevraging (zie verder) toegekende scores opgenomen. Zoals gezegd is dit een longlist, die in de volgende stappen van de opdracht zal getrechterd, verfijnd en geoperationaliseerd worden op basis van de beleidsrelevantie en haalbaarheid van de indicatoren.

Het Excel-bestand is opgevat als een database waarbij elke lijn (*record*) informatie over een aparte (potentiële) indicator bevat. De kolommen bevatten daarbij achtereenvolgens volgende velden:

ID: Uniek identificatienummer voor de indicator (blijft onveranderd)
Gezondheidsrisico: Korte omschrijving van het gezondheidsrisico waar de indicator betrekking op heeft. Volgende selecteerbare mogelijkheden worden onderscheiden (alfabetische rangschikking):

- Absenteïsme
- Algemene gezondheid
- Alle risico's
- Allergieën
- Cardiovasculaire aandoeningen
- Mentale gezondheid
- Ondervoeding

[6] Binnen de Partnerorganisatie Milieugezondheidszorg (POMGZ) van AZG zal VITO onder het preventieprogramma klimaat-gezondheid de komende jaren een monitoringsysteem uitwerken voor klimaatgerelateerde gezondheidseffecten, bv. incidentie of prevalentie van hittegerelateerde aandoeningen.

- Respiratoire aandoeningen
- Toxische effecten
- UV-gerelateerde ziekte en sterfte
- Vectoroverdraagbare ziekten
- Verminderde arbeidsproductiviteit
- Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen
- Voedseloverdraagbare ziekten
- Wateroverdraagbare ziekten

Stressor: Verdere detaillering van het veld "Gezondheidsrisico", zoals hieronder aangegeven. Ze maken expliciet de link met de omgevingsindicatoren (in blauw)

Substressor: Verdere detaillering van het veld "Stressor", voor een beperkt aantal stressoren (in groen):

- Absenteïsme
  - Hitte
  - Koude
  - Overstromingen
- Algemene gezondheid
  - Aanwezigheid van groen
- Alle risico's
  - Sociale ongelijkheid
- Allergieën
  - Aeroallergenen
    - Pollen
    - Schimmels
    - Huisstofmijt
  - Eiken- en dennenprocessierupsen
- Cardiovasculaire aandoeningen
  - Hitte
  - Luchtkwaliteit
- Mentale gezondheid
  - Droogte
  - Hitte
    - Geweld
    - Zelfmoord
  - Natuurbranden
  - Schade aan teelten en niet-binnengehaalde oogsten
- Ondervoeding
  - Kwantiteit voedsel
- Respiratoire aandoeningen
  - Luchtkwaliteit
    - Fijn stof
    - Ozon
    - Rook van natuurbranden
  - Hitte (en vochtigheid)

- Toxische effecten
    - Blauwalg
    - Mycotoxines
- UV-gerelateerde ziekte en sterfte
    - Te hoge UV-dosis als basis voor kanker
    - Te hoge UV-dosis als basis voor staar
    - Te hoge UV-dosis als basis voor zonnebrand
    - Te lage UV-dosis als basis voor tekort aan Vitamine D
- Vectoroverdraagbare ziekten
    - Muggen als dragers van ziekteverwekkers
        - Inheemse muggen
        - Exotische muggen
        - Alle muggen
    - Teken als dragers van ziekteverwekkers
- Verminderde arbeidsproductiviteit
    - Hitte
    - Koude
- Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen
    - Droogte
    - Hitte
    - Natuurbranden
    - Overstromingen
- Voedseloverdraagbare ziekten
    - Salmonella
- Wateroverdraagbare ziekten
    - Ziekteverwekkers die voorkomen in zout of brak water
        - Vibrio
        - Dinoflagellaten
        - Andere
    - Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater

Omgevingscomponent: toewijzing van de indicator aan enkele grote groepen van omgevingscomponenten:

- Bedrijfswereld
- Bevolking
- Energie
- Fauna en Flora
- Infrastructuur en voorzieningen
- Landschap
- Luchtkwaliteit
- Meteorologie
- Voedsel
- Waterkwaliteit
- Waterkwantiteit

Beschrijving: korte beschrijving van de omgevingsindicator. Om bruikbaar te zijn zal deze omschrijving in een aantal gevallen nog verder moeten geoperationaliseerd worden. Dit zal gebeuren nadat er een selectie is doorgevoerd op de groslijst (op basis van beleidsrelevantie).
Aard van de indicator: toewijzing van de indicator aan een van de categorieën van het risicoraamwerk (gevaar, blootstelling, kwetsbaarheid, aanpassingsvermogen, impact)
Eenheid: eenheid waarin de indicator kan of zal uitgedrukt worden, voor zover die in het stadium van de groslijst al gekend kan zijn.
Databron: Mogelijke data- of informatiebronnen voor de indicator. In dit stadium nog vrij algemeen, zal verder gespecifieerd worden, nadat er een selectie is doorgevoerd op de groslijst.
Motivatie voor selectie: Korte beschrijving van de reden waarom deze indicator relevant wordt geacht om de omgevingsfactoren in de relatie tussen klimaatverandering en gezondheidseffecten uit te drukken.
Opmerkingen en aandachtspunten: eventuele bijkomende relevante informatie met betrekking tot de indicator
Literatuurreferentie: verwijzing naar relevante literatuur.

Een overzicht van de longlist van de omgevingsindicatoren wordt gegeven in Bijlage A.

2.3 FILTERING VAN DE LONGLIST OP BASIS VAN BELEIDSRELEVANTIE

2.3.1 Organisatie van de bevraging

De hierboven beschreven longlist bevat de informatie die nodig is om elke indicator te kunnen identificeren en om te kunnen oordelen over zijn bruikbaarheid en beleidsrelevantie. Het beoordelen van de beleidsrelevantie vormt de basis voor een eerste selectiestap die moet leiden tot een kortere, meer werkbare lijst.

De filtering gebeurde op basis van een bevraging van 27 deskundigen, zowel overheidsdeskundigen als experten werkzaam in diverse onderzoeksinstellingen (bv. ITG, ANB, INBO, VITO, Sciensano).
De bevraging was gericht op het bepalen van de beleidsrelevantie. Beleidsrelevantie kan onder meer samenhangen met volgende kenmerken van een indicator:

- Hij laat toe de effectiviteit van het beleid te monitoren;
- Hij kan helpen nieuwe aandachtspunten en prioriteiten voor het beleid te identificeren;
- Hij kan functioneren als ‘early warning’ (voor toekomstige gezondheidseffecten);
- Hij draagt bij tot een beter inzicht (kwalitatief of kwantitatief) in de relatie klimaatverandering / omgeving / gezondheid;
- Hij kan gebruikt worden in de communicatie rond de gezondheidsimpacten van klimaatverandering.

Uiteraard kan een indicator om meer dan één reden beleidsrelevant zijn. Bovendien is een indicator die beleidsrelevant is daarom nog niet praktisch bruikbaar. De vraag naar de haalbaarheid stellen we echter pas in een volgende stap. In de eerste stap werd enkel gepeild naar de beleidsrelevantie van de indicatoren, los van de vraag of het (vandaag) al dan niet haalbaar is om ze ook op te volgen.

Aan de geraadpleegde deskundigen werd gevraagd de beleidsrelevantie (volgens hun inschatting) te scoren op een schaal van zeer weinig beleidsrelevant (1) tot uiterst beleidsrelevant (5). Ook konden

ze opmerkingen of aanvullingen geven om hun keuze te onderbouwen, of voorstellen doen om de indicatoren aan te passen of om bijkomende indicatoren te definiëren.

2.3.2 Resultaten

In totaal kregen we 23 ingevulde formulieren terug. Voor elke indicator werd de mediaan van de verschillende scores berekend. Aangezien niet elke expert een score gaf aan elke indicator varieerde het aantal scores per indicator tussen 14 en 3. De mediaanwaarden situeerden zich tussen 5 en 1.
In een volgende stap werd op basis van deze input een verdere selectie gemaakt in de lijst. Daarbij werd volgende symboliek gebruikt:

- J (= Ja): De indicator is beleidsrelevant en wordt meegenomen naar de volgende ronde, waar meer in detail zal gekeken worden naar de haalbaarheid.
- N (=Nee): De indicator in onvoldoende beleidsrelevant en wordt verder niet meer meegenomen
- O (= Optioneel): De indicator is mogelijk beleidsrelevant, maar zaken als databeschikbaarheid of een te vage omschrijving maken dat hij in zijn huidige vorm niet bruikbaar is.

Bij de toekenning van de quotering werd rekening gehouden met volgende elementen:

- De mediaan van de toegekende scores;
- De toelichting bij de scores zoals gegeven door de deskundigen;
- Een reassessment over wat 'omgevingsindicatoren' zijn. In de uiteindelijk bekomen lijst werden (geselecteerde) omgevingsindicatoren en niet-omgevingsindicatoren apart gehouden. Het gaat daarbij in het tweede geval om indicatoren in verband met communicatie, bewustwording, gedrag, … Vaak zijn dit indicatoren m.b.t. het adaptatievermogen;
- Correctie voor beleidsrelevantie rekening houdend met de noodzakelijke relatie met zowel klimaatverandering als met gezondheid;
- Het al dan niet compatibel zijn van een indicator met het huidige beleid rond een bepaald thema werd niet als een doorslaggevend criterium beschouwd om indicatoren al dan niet mee te nemen. Indicatoren zijn immers slechts een meetinstrument, ze drukken geen waardeoordeel uit;
- Beheersbaarheid: Om een werkbare shortlist over te houden moest de lijst ingekort worden. Dat gebeurde onder andere door redundante indicatoren te verwijderen;
- Mate waarin data beschikbaar zijn of kunnen gemaakt worden, hierbij werd de link gemaakt met de volgende stap in de analyse ('haalbaarheid').

Op basis van deze oefening werd een lijst met 63 (waarvan 48 unieke) omgevingsindicatoren vastgelegd. Een aantal van deze indicatoren kunnen gebruikt worden voor de opvolging van verschillende gezondheidseffecten.
Tabel 2-2 geeft een overzicht van deze 63 omgevingsindicatoren in een matrix die verschillende omgevingsaspecten uitzet in functie van verschillende gezondheidseffecten, de aantallen voor de haakjes geven per omgeving-gezondheid combinatie het aantal geselecteerde omgevingsindicatoren. Deze lijst bevat 'dubbels', indicatoren die aan meerdere gezondheidseindpunten gelinkt kunnen worden. Als we deze uit de lijst halen houden we nog 48 unieke beleidsrelevante omgevingsindicatoren over.

Verder werd van 8 (unieke) beleidsrelevante indicatoren geoordeeld dat het geen echte omgevingsindicatoren waren. Aan 26 (unieke) indicatoren werd de code “O” toegekend, wat betekent dat ze op de manier waarop ze nu geformuleerd zijn niet beleidsrelevant zijn; mogelijk kunnen ze dat, mits aanpassingen, wel worden. Van 113 (unieke) indicatoren werd geoordeeld dat ze niet voldoende beleidsrelevant waren om verder mee te nemen. De som van het aantal indicatoren met code “O” en die niet beleidsrelevant zijn, wordt ook weergegeven in Tabel 2-2 als het getal tussen de haakjes.

Tabel 2-3 geeft de voornaamste informatie weer voor de geselecteerde 48 omgevingsindicatoren (inbegrepen de omgevingsindicatoren die gelinkt worden aan verschillende gezondheidseffecten).

Tabel 2-2: Matrix van het aantal weerhouden omgevingsindicatoren per omgevingsthema (verschillende rijen) en per gezondheidseffect (verschillende kolommen). Het eerste getal geeft het aantal weerhouden indicatoren weer (in totaal 63), tussen haakjes staat het aantal niet-geselecteerde omgevingsindicatoren (hetzij wegens niet beleidsrelevant (code N) of wegens te vage omschrijving of onvoldoende data (code O)).

	Absenteïsme	Algemene gezondheid	Alle risico's	Allergieën	Cardiovasculaire aandoeningen	Mentale gezondheid	Ondervoeding	Respiratoire aandoeningen	Toxische effecten	UV-gerelateerde ziekte en sterfte	Vectoroverdraagbare ziekten	Verminderde arbeidsproductiviteit	Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen	Voedseloverdraagbare ziekten	Wateroverdraagbare ziekten
Aanwezigheid van groen		1 (0)													
Aeroallergenen				5(13)											
Blauwalg									3 (5)						
Droogte		1 (1)				0(3)							0 (1)		
Eiken- en dennenprocessierupsen				1(0)											
Hitte	7 (3)				2(21)	0(2)						3 (1)	1 (0)		
Koude	0 (2)											0 (3)			
Kwantiteit voedsel							1(1)								
Luchtkwaliteit					7 (9)			7 (9)							
Muggen als dragers van ziekteverwekkers											2 (13)				
Mycotoxines									1 (0)						
Natuurbranden						0(1)							2 (4)		
Overstromingen	0 (5)					2(3)							3 (5)		
Salmonella														0 (3)	
Schade aan teelten en niet-binnengehaalde oogsten						0(3)									
Sociale ongelijkheid			0(1)												
Te hoge UV-dosis voor kanker										1 (2)					
Te hoge UV-dosis voor staar										1 (1)					

	Absenteïsme	Algemene gezondheid	Alle risico's	Allergieën	Cardiovasculaire aandoeningen	Mentale gezondheid	Ondervoeding	Respiratoire aandoeningen	Toxische effecten	UV-gerelateerde ziekte en sterfte	Vectoroverdraagbare ziekten	Verminderde arbeidsproductiviteit	Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen	Voedseloverdraagbare ziekten	Wateroverdraagbare ziekten
Te hoge UV-dosis voor zonnebrand										1 (1)					
Te lage UV-dosis voor tekort aan vitamine D										0 (2)					
Teken als dragers van ziekteverwekkers											5 (15)				
Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater															4 (9)
Ziekteverwekkers die voorkomen in zout of brak water															2 (5)

Tabel 2-3: Overzicht van de unieke geselecteerde omgevingsindicatoren (48 in totaal).

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor selectie in shortlist
Vectoroverdraagbare ziekten - teken				
Datum waarop de cumulatieve temperatuur (uitgedrukt in GDD) 10°C overschrijdt (op basis van dagelijkse maximumtemperatuur).	Bij klimaatverandering zou de gemiddelde voorjaarstemperatuur kunnen toenemen (en het actieve tekenseizoen dus langer kunnen worden).		**3**	Hoewel niet de enige voorwaarde heeft een warm voorjaar wel degelijk een invloed op tekenactiviteit, en is het duidelijk klimaat-gebonden. Sowieso te bekijken in combinatie met indicatoren die iets zeggen over droogte. Een bijkomende indicator m.b.t. wintertemperaturen kan ook nuttig zijn, aangezien deze een invloed kan hebben op de gastheerpopulaties (nog uit te werken).
Neerslagtekort in lente, zomer en herfst	Teken hebben vochtige omstandigheden nodig om te overleven. Klimaatverandering zou tijdens het tekenseizoen tot drogere en dus minder geschikte omstandigheden kunnen leiden.	Algemene contextindicator die ook in relatie tot andere gevaren, relevant kan zijn.	**2,5**	Er is duidelijk een verband: hoe droger, hoe minder teken of tekenactiviteit. Opsplitsing in lente, zomer en herfst vergroot de voorspellende waarde in vergelijking met een waarde voor het volledig (hydrologisch) jaar. Eventuele verdere opsplitsing op maandbasis is mogelijk nuttig. Data -analyse op basis van tijdreeksen kan helpen verband duidelijker te omschrijven. Gemakkelijk te bepalen op basis van beschikbare gegevens.
Voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten (reeën, …)	Borrelia overleeft in zoogdieren; reeën zijn typische dragers waarop teken zich voeden en dus besmet geraken. Voorkomen van reeën kan beïnvloed worden door klimaatverandering (al dan niet beleid gestuurd), o.m. ook via wijzigingen in landgebruik.	Naast reeën kunnen ook tal van andere vertebraten relevant zijn als drager/voedselbron, onder meer in verstedelijkte omgevingen. De link met klimaatverandering van het voorkomen van deze soorten is echter niet altijd even eenduidig. Zie ook indicator 'Voorkomen van kleine zoogdieren in stedelijk gebied'.	**2,5**	Onderzoek heeft duidelijk verband aangetoond tussen aanwezigheid van reeën in een voor teken geschikt habitat en de aan/of afwezigheid (of abundantie) van tekenpopulaties. Wijze van systematische monitoring verder uit te werken.
Mate waarin gastheer- en reservoirsoorten drager zijn van ziekteverwekkers (bv. TBE bij wild)	Individuen van gastheersoorten zijn slechts een probleem in de mate dat ze geïnfecteerd zijn.		**2,5**	Geeft in combinatie met andere indicatoren een proxy voor het voorkomen van besmette teken en dus (bij blootstelling) van kans op infectie van mensen. Vooral relevant als parallel ook andere ziekteverwekkers worden opgevolgd.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor selectie in shortlist
Mate waarin in groengebieden op teken gerichte beheermaatregelen genomen worden.	Op zich weinig relatie met klimaatverandering, maar wel relevant als verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties.		**3**	Onder de aanname dat (besmette) teken op veel plaatsen te vinden zijn en dat tekenhabitat grotendeels toegankelijk is speelt het beheer van de gebieden een grote rol bij de kans op infectie. Geen directe relatie met klimaatverandering, maar wel belangrijk als verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties.
Vectoroverdraagbare ziekten - muggen				
Voorkomen van exotische muggen (o.a. Aziatische tijgermug en andere Aedes- en Anopheles-soorten, …)	Noodzakelijke voorwaarde voor verspreiding van bepaalde tropische ziekten. Vestigingskans neem toe bij een warmer klimaat.	Voorkomen van muggen op zich betekent nog niet dat er acuut gevaar is voor infectie. De muggen zelf moeten besmet zijn, de populatie moet voldoende groot zijn, er moet blootstelling kunnen zijn, …	**4**	Noodzakelijke voorwaarde voor verspreiding van bepaalde tropische ziekten. Vestigingskans neem toe bij een warmer klimaat.
Voorkomen van met Westnijlvirus geïnfecteerde (trek)vogels of andere reservoirsoorten (ook bv. paarden)	Relevant voor import en verspreiding van virus. Relatie met klimaatverandering beperkt maar relevant als verklarende variabele.	Zie recent voorbeeld in Nl: met WNV besmette grasmus	**4**	Goede indicator voor kans op besmetting met WNV (via muggen). WNV is een klimaat-gerelateerd virus dat een hoge temperatuur (+18°c) nodig heeft om zich tijdig te kunnen ontwikkelen in de mug.
Wateroverdraagbare ziekten				
Gemiddelde en max. temperatuur van het kustwater en het water in estuaria	Temperatuur van het water wordt beïnvloed door klimaatverandering.		**3**	Relevante indicator voor bloei door blauwalg, dinoflagellaten en pathogene amoeben.
Aandeel schelpdieren dat geïnfecteerd is.	'Bloei' van bv. Gonyaulax gerelateerd aan temperatuur. Klimaatverandering kan periode waarin besmetting van schelpdieren kan voorkomen verlengen.	Dinoflagellaten werden in de droge zomers 2018-2020 ook gemeld in zoet water.	**3**	Omgevingsindicator voor mogelijke gezondheidseffecten en klimaat-gerelateerd. Kan nog relevanter worden naargelang aquacultuur voor Belgische kust toeneemt. Verschillende genera dinoflagellaten op te volgen (Alexandrium, Dinophysis, Prorocentrum, Pyrodinium en Gymnodinium).
Frequentie van overstortevents	Klimaatverandering kan leiden tot intensere neerslag en dus (in afwezigheid van maatregelen) tot intensere en meer frequente overstortevents. Dit leidt tot een verslechtering van de waterkwaliteit met mogelijke gezondheidseffecten.	Gerichte technische maatregelen (bv. gescheiden rioleringen) kunnen belang en frequentie van overstortevents helpen reduceren.	**4**	Omgevingsindicator beïnvloedbaar door klimaat en met duidelijke relatie met volksgezondheid.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor selectie in shortlist
Algemene ((micro-))biologische) kwaliteit van het oppervlaktewater.	Gemiddeld lagere waterstanden in waterlopen (bij droogte) kunnen leiden tot een slechtere waterkwaliteit, met gezondheidseffecten als gevolg.	1) Fysico-chemische parameters kunnen deels een proxy vormen voor microbiologische kwaliteit. 2) gezondheidseffecten van een gemiddeld slechtere waterkwaliteit spelen vooral bij rechtstreeks contact bij professioneel of recreatief gebruik. 3) Op te volgen organismen: Campylobacter, Norovirus, Cryptosporidiosis, Shigella, Gardia, Naegleria fowleri, Acanthamoeba, Legionella, … Amoeben zullen in de toekomst vermoedelijk meer gaan voorkomen.	**4,5**	Kan c.p. beïnvloed worden door bv. droogte of overstortevents. Invloed op gezondheid via waterrecreatie of gebruik van water in bv. industrie of landbouw.
Kwaliteit van het zwemwater (op het vlak van wateroverdraagbare ziekten).	Slechte kwaliteit van recreatie- en zwemwater kan tot infecties leiden		**4,5**	Op meerdere manieren beïnvloedbaar door klimaatverandering, en duidelijke relatie met gezondheid.
Aantal getroffen woningen of bewoners door overstromingen	Overstromingen kunnen toenemen bij klimaatverandering. Waterkwaliteit bij overstromingen is vaak slecht. Dit kan leiden tot acute gezondheidseffecten.		**4,5**	Duidelijke relatie met gezondheid en met klimaatverandering.
Toxische effecten - blauwalg				
Voorkomen van blauwalgen	Basisvoorwaarde voor het optreden van een toxisch effect. Hogere temperaturen als gevolg van klimaatverandering kunnen algenbloei bevorderen.		**4**	Basisvoorwaarde voor het optreden van een mogelijk gezondheidseffect.
Gemiddelde dagelijkse watertemperatuur voor een selectie van waterlichamen	Temperatuur van het water wordt beïnvloed door klimaatverandering, en heeft invloed op algenbloei.	Temperatuur is proxy voor het mogelijk voorkomen (gevaar) van blauwalgen	**3**	Temperatuur is slechts een van meerdere indicatoren die het voorkomen van algen beïnvloeden. Recent onderzoek zou echter ook aantonen dat blauwalgen meer toxine produceren bij hogere temperaturen. Dit verhoogt de relevantie van de indicator.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor selectie in shortlist
Sterfte bij vissen en watervogels	Sterfte kan een indicatie (proxy) zijn voor het voorkomen van blauwalgen. Geen rechtstreekse relatie met klimaatverandering.	Sterfte kan veel andere oorzaken hebben, dus crosscheck met andere variabelen blijft nodig.	**2**	Niet enkel indicatief voor blauwalg, maar wel te linken aan andere factoren die ook een relatie kunnen hebben met klimaatverandering, Bv. algemene waterkwaliteit, zuurstofgehalte, … waarvan sommigen ook kunnen leiden tot gezondheidseffecten voor de mens. Sterfte bij vissen en watervogels is een proxy voor mogelijke gezondheidseffecten bij de mens.
Toxische effecten - Mycotoxines				
Aantal vaststellingen van aanwezigheid van mycotoxines in voedsel boven wettelijk vastgelegde maximum limieten (voor gereglementeerde mycotoxines) - Aantal vaststellingen van aanwezigheid mycotoxines in voedsel (voor opkomende niet-gereglementeerde mycotoxine)	Klimaatverandering heeft rechtstreekse invloed op de verspreiding van mycotoxigene schimmels en dus aanwezigheid van mycotoxines		**4**	Klimaatverandering heeft een rechtstreekse invloed op de verspreiding van dominante mycotoxigene schimmels (en dus mycotoxineproductie). Er is een trend waarbij mycotoxigene schimmels poolwaarts verschuiven. Deze verschuiving is onder andere reeds observeerbaar in Europa voor de aflatoxine-producerende Aspergillus flavus schimmels met grotere kans op contaminatie van granen (maïs) met het levercarcinogeen aflatoxine. Daarnaast verwacht men ook dat A. flavus en Fusarium verticilioides (= fumonisine producent) meer samen gaan voorkomen in Europa;
Ondervoeding – kwantiteit voedsel				
Verlies aan landbouwopbrengsten in Vlaanderen door natuurrampen	Grote variabiliteit in landbouwproductie door meer extreem weer te wijten aan de klimaatverandering		**3,5**	Deze indicator geeft een beeld in hoeverre de voedselproductie in Vlaanderen rekening kan houden met het veranderende klimaat. Directe link met gezondheid (gezond voedsel) maar ook psychologisch (vermijden doemscenario's)
Respiratoire en cardiovasculaire aandoeningen – Luchtkwaliteit – Fijn stof				
Gemeten concentratie fijn stof (PM10, PM2.5), jaargemiddelde en # overschrijdingsdagen	Veranderende atmosferische condities door de klimaatverandering (droogte, hittegolven) kunnen negatieve impact hebben op de concentraties.	Ook het gebruik van biomassa i.p.v. gas en stookolie kan een negatieve impact hebben op PM-concentraties. Gecombineerde blootstelling aan fijn stof en hitte.	**5**	Er is een link tussen fijn stof concentratie en weer/klimaat. Zowel op verspreidingsniveau als op emissieniveau.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor selectie in shortlist
Evolutie fijn stof emissies huishoudens	Warmere winters door klimaatverandering. Uitstoot door (hout)kachels is verantwoordelijk voor 49% van de PM2.5 emissies in 2019.		**4**	Bij de verklaring van de evolutie van de fijn stof emissies moet de evolutie van de warmtevraag door de klimaatverandering zeker worden meegenomen. De klimaatverandering kan bijdragen tot een daling maar de energiecrisis zorgt mogelijk voor een extra stimulans. Goed op te volgen.
Respiratoire en cardiovasculaire aandoeningen – Luchtkwaliteit – Ozon				
Gemeten concentratie ozon (achtergrondconcentraties en piekconcentraties)	Ozon wordt aangemaakt op warme en zonnige dagen in aanwezigheid van stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen.		**4**	Sterke link tussen ozonvorming en weer/klimaat. Klimaatverandering kan de positieve effecten van emissiereducties van ozonprecursoren (NOx, VOC) deels tenietdoen. Opvolging belangrijk.
Aantal dagen waar de waarschuwingsfase en de alarmfase van het nationale ozon- en hitteplan wordt afgekondigd	Criteria alarmfase is gebaseerd op luchttemperaturen en ozonconcentraties	Sinds het ontstaan van het nationale ozon- en hitteplan, werd de alarmfase nog nooit afgekondigd.	**4,5**	Deze indicator combineert als enige indicator zowel hitte en ozon. Voorkomen alarmfase is wel heel zeldzaam momenteel maar opvolging belangrijk.
Respiratoire aandoeningen – Luchtkwaliteit – Rook van natuurbranden; Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen - Natuurbranden				
Brandwaarschuwingsindex.	Door de klimaatverandering zal de duur van het brandseizoen en de ernst van de natuurbranden verhoogd worden.	De brandwaarschuwingsindex wordt berekend op basis van meteorologische parameters en kan voor historische periodes berekend worden. Deze index is gebaseerd op Canadees model (bosbranden).	**4**	Ondanks het feit dat de brandwaarschuwingsindex vooral iets zegt over het ontstekingsrisico en hoe gemakkelijk natuurbranden kunnen ontstaan (het is geen rechtstreekse maat voor de hoeveelheid rook van natuurbranden die effectief wordt vrijgesteld) is wel een belangrijke verklarende parameter in het begrijpen van de evolutie in vrijgestelde rook van natuurbranden.
Oppervlakte afgebrande gebieden per jaar	Door de klimaatverandering zal de duur van het brandseizoen en de ernst van de natuurbranden verhoogd worden.	De Copernicus EFFIS service bevat gestandaardiseerde data. Verder te onderzoeken. Oppervlakte is een goede maat, maar ook niet heiligmakend, de hoeveelheid rook zal eerder nog samenhangen met de hoeveelheid (massa) organisch materiaal / biomassa er effectief op die oppervlakte verbrand wordt, een droog grasveld is anders dan een heideterrein is anders dan een bos.	**3**	Een belangrijke verklarende parameter in het begrijpen van de evolutie in vrijgestelde rook.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor selectie in shortlist
Blootgestelde bevolking aan rookpluim natuurbrand	Grootste gezondheidsimpacten zijn te verwachten dicht bij de brandhaarden	Verder te onderzoeken wat/wie de beste databron is. Kan het VMM luchtkwaliteitsmeetnet gebruikt worden om het gebied onder de rook van een brand te bepalen.	**4**	Belangrijke indicator voor de gezondheidseffecten van natuurbranden.
Allergieën – Aeroallergenen – Pollen				
(Ruimtelijke spreiding van) voorkomen van allergene soorten	Relatie met klimaat: meer bomen in parken en langs straten, uitbreiding bossen in kader van bv. hitte; natuurlijke verspreiding van bepaalde soorten (Ambrosia artemisiifolia, Parietaria) als gevolg van (onder meer) klimaatverandering; toename in pollenproductie van reeds aanwezige bomen als platanen of olijven.	Gaat om zowel autochtone als ingevoerde soorten (exoten) (bv. olijfbomen). Verspreidingswijze van pollen speelt ook een rol. Bij tweehuizige soorten: aandeel mannelijke planten. Aandacht voor zowel bestaande soorten als nieuw aan te planten soorten. Bij verspreiding van bv. Ambrosia speelt ook transport een belangrijke rol.	**4**	Duidelijke relatie met gezondheid en met klimaatverandering. Eventueel aspect 'geografische spreiding" toe te voegen en onderscheid te maken tussen autochtone en allochtone soorten (gezien verschillende respons)
Gemeten pollenconcentraties	Pollenproductie en lengte van pollenseizoen worden beïnvloed door temperatuur.	Zie ook dagelijkse risico-index grassenstuifmeel door Sciensano -KMI	**5**	Concentraties hangen sterk af van weersomstandigheden en zijn dus op zich geen indicator voor een toename van de pollenproductie als gevolg van klimaatverandering. Laten wel toe evoluties in de lengte van het pollenseizoen (die klimaat-gerelateerd kunnen zijn) in kaart te brengen.
Pollencyclus			**4**	Belangrijke indicator omdat hij specifiek het stress-gerelateerde gedrag van de allergene soorten weerspiegelt onder druk van klimaat- en milieuveranderingen. Sommige inheemse boomsoorten vertonen bijvoorbeeld geen significante veranderingen in hun verspreiding, maar drukken hun stress nog steeds uit met een schijnbare verstoring van hun productiecycli.
Start pollenseizoen	Start van pollenseizoen wordt beïnvloed door de temperatuur.		**4**	Alternatief voor indicator 90, heeft meer betekenis in context van early warning.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor selectie in shortlist
Voorkomen en verspreiding Ambrosia	Verspreiding van Ambrosia wordt onder meer door klimaatverandering beïnvloed. Ambrosia verlengt het pollenseizoen (augustus-september)	Andere factoren (o.a. transport) verklaren deels de verspreiding van Ambrosia.	**3**	Verspreiding (voorkomen) van Ambrosia is minstens deels klimaat-gerelateerd en heeft duidelijke gezondheidsimplicaties.
Allergieën – Processierupsen				
Voorkomen van bomen aangetast met eikenprocessierups of dennenprocessierups	Eikenprocessierups komt oorspronkelijk uit Zuid-Europa, is warmte minnend. Klimaatverandering is waarschijnlijke verklaring voor inburgering in Vlaanderen. Ook Dennenprocessierups is in opmars vanuit het zuiden.		**3**	Minstens deels klimaat-gerelateerd en duidelijke gezondheidsimpact.
Cardiovasculaire aandoeningen, verminderde arbeidsproductiviteit, absenteïsme - hitte				
Outdoor hitte comfortindicator zoals WBGT	Sterk gelinkt aan menselijke gezondheid	Wordt gebruikt in de Belgische arbeidswetgeving (https://werk.belgie.be/nl/themas/welzijn-op-het-werk/omgevingsfactoren-en-fysische-agentia/thermische-omgevingsfactoren). Voorzien in Klimaatportaal in najaar 2022 (Vlaanderen dekkend, huidige situatie op een warmste dag in een gemiddeld jaar + op de warmste dag in 20 jaar). Resolutie 1m.	**5**	Sterk gelinkt aan omgeving gerelateerd beleid: de luchttemperatuur in een kern is moeilijk te beïnvloeden, maar de gevoelstemperatuur plaatselijk wel - bv materiaalgebruik, vegetatie, schaduw, …
Aandeel stedelijk groen en niet-verharde oppervlaktes	Steden zijn hotspots in blootstelling aan hittestress		**4**	Sterk beleidsrelevant. Evaluatie of dit samengenomen worden tot één hitte omgevingsindicator (inclusief aanwezigheid bomen, verharding)
Indoor hitte comfortindicator zoals WBGT	Sterk gelinkt aan menselijke gezondheid	Wordt gebruikt in de Belgische arbeidswetgeving (https://werk.belgie.be/nl/themas/welzijn-op-het-werk/omgevingsfactoren-en-fysische-agentia/thermische-omgevingsfactoren)	**5**	Mensen spenderen een groot deel van hun tijd indoor.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor selectie in shortlist
Aandeel hittebestendige ingerichte bedrijventerreinen en bedrijfsgebouwen	Ruimtelijke ingrepen kunnen thermisch comfort op bedrijfsterreinen verhogen.		**4**	Te integreren tot indicator "hittebestendige bedrijfsterreinen en gebouwen" en uit te breiden tot indicator die over alle gebouwen gaat. Hierbij ook aandacht voor schaduw creërende en hittewerende elementen in de omgeving van gebouw
Aantal hittegolfgraaddagen	Het gaat om de som van de overschrijdingen van de dagelijkse maximumtemperatuur boven de drempel van 29,6 °C, samen met de som van de overschrijdingen van de dagelijkse minimumtemperatuur boven de drempel van 18,2 °C.	Wordt ook gebruikt in het VMM-klimaatportaal	**5**	Beschikbare dataset met geïntegreerde bijdrage van dagelijkse en nachtelijke hittestress.
Aantal dagen met een meteorologische hittegolf	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		**5**	Minder relevant wat betreft de link met gezondheidsaspecten. Aantal hittegolfgraaddagen en WBGT beter geschikt.
Aantal dagen met een waarschuwingsfase	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		**4**	Minder relevant wat betreft de link met gezondheidsaspecten.
Aantal dagen met een alarmfase	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		**4**	Minder relevant wat betreft de link met gezondheidsaspecten.
Aantal zomerse dagen	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		**3**	Minder relevant wat betreft de link met gezondheidsaspecten.
Aantal tropische dagen	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		**4**	Minder relevant wat betreft de link met gezondheidsaspecten.
Aantal nachten boven 18°C en 20°C	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		**4,5**	Sterk gelinkt aan slaapverstoring en hieraan gerelateerde gezondheidseffecten.
UV-gerelateerde ziekte en sterfte – kanker, staar, zonnebrand				
UV-index	Er bestaat een internationale standaard UV-index. De klimaatverandering zal aanleiding geven tot meer warme en zonnige dagen.	Het KMI heeft een UV-onderzoeksgroep: https://ozone.meteo.be/research-themes/uv/what-is-the-uv-index	**4**	Belangrijke gevaarindicator. Data beschikbaar.
Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen, mentale gezondheid - overstromingen				

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor selectie in shortlist
Aantal getroffen woningen van mensen die tot een socio-economisch zwakke groep behoren	Personen uit deze groep (en hun bezittingen) zullen minder goed gewapend zijn tegen overstromingen, kans van verwondingen en sterfte is groter.	Ook grotere kans op mentale problemen, zie verder.	**4**	Proportioneel meer gezondheidsimpacten te verwachten in deze groep.
Aantal tussenkomsten van hulpdiensten voor wateroverlast en overstromingen	Aantal interventies is een maat voor de reële omvang van de potentiële verwondingen en sterfte (inbegrepen uitgestelde sterfte).		**4**	Uit aantal en aard van de interventies kan een beeld verkregen worden van de (actuele of te verwachten) gezondheidsimpact.
Aantal huizen zonder water of elektriciteit na een overstroming, en duur van de onderbreking.	Mentale gevolgen van het niet kunnen beschikken over basisvoorzieningen.		**4**	Klimaat-gerelateerd en maat voor potentiële gezondheidsimpact.
Algemene gezondheid				
Aantal personen dat minstens eenmaal per jaar geen toegang heeft tot kwaliteitsvol drinkwater als gevolg van extreme droogte	Indicator voor de mate waarin extreme droogte heeft geleid tot tijdelijk verlies van drinkwatervoorziening, wat gevolgen kan hebben op het vlak van veiligheid en gezondheid.	Gerelateerd aan indicator "Klimaatgerelateerde beperkingen in levering van drinkbaar water".	**4**	Relevant en klimaat-gerelateerd.
Algemene gezondheid				
Aanwezigheid van groen in of in de onmiddellijke nabijheid van woon- en werkomgevingen	Groen heeft een positieve impact op de menselijke fysische, mentale en cognitieve gezondheid. In de mate dat meer groen het gevolg is van klimaatbeleid is er een relatie tussen klimaatverandering en het positieve gezondheidseffect.		**5**	Verklarende variabele, deels gerelateerd aan klimaatverandering, en met duidelijke gezondheidseffecten

2.4 HAALBAARHEIDSANALYSE VAN OMGEVINGSINDICATOREN

2.4.1 Inleiding

In een volgende stap werd de technische haalbaarheid voor implementatie van deze indicatoren onderzocht. Tabel 2-4 bevat de 48 unieke indicatoren van de shortlist. Het overgrote deel van deze indicatoren zijn gevaar indicatoren.

Tabel 2-4 Overzicht van de shortlist van48 omgevingsindicatoren.

Nr	Omschrijving omgevingsindicator	Type omgevingsindicator
1	Datum waarop de cumulatieve temperatuur (uitgedrukt in GDD) 10°C overschrijdt (op basis van dagelijkse maximumtemperatuur).	Gevaar
2	Neerslagtekort in lente, zomer en herfst	Gevaar
3	Voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten (reeën, …)	Gevaar
4	Mate waarin gastheer- en reservoirsoorten drager zijn van ziekteverwekkers (bv. TBE bij wild)	Gevaar
5	Mate waarin in groengebieden op teken gerichte beheermaatregelen genomen worden.	Vermogen tot adaptatie
6	Voorkomen van exotische muggen (o.a. Aziatische tijgermug en andere Aedes- en Anopheles-soorten, …)	Gevaar
7	Voorkomen van met Westnijlvirus geïnfecteerde (trek)vogels of andere reservoirsoorten (ook bv. paarden)	Gevaar
8	Gemiddelde en max. temperatuur van het kustwater en het water in estuaria	Gevaar
9	Aandeel schelpdieren dat geïnfecteerd is.	Gevaar
10	Frequentie van overstortevents	Gevaar
11	Algemene ((micro)) biologische) kwaliteit van het oppervlaktewater.	Gevaar
12	Kwaliteit van het zwemwater (op het vlak van wateroverdraagbare ziekten).	Gevaar
13	Aantal getroffen woningen of bewoners door overstromingen	Blootstelling
14	Voorkomen van blauwalgen	Gevaar
15	Gemiddelde dagelijkse watertemperatuur voor een selectie van waterlichamen	Gevaar
16	Sterfte bij vissen en watervogels	Gevaar
17	Aantal vaststellingen van aanwezigheid van mycotoxines in voedsel boven wettelijk vastgelegde maximum limieten (voor gereglementeerde mycotoxines)	Blootstelling
18	Verlies aan landbouwopbrengsten in Vlaanderen door natuurrampen	Gevaar
19	Gemeten concentratie fijn stof (PM_{10}, $PM_{2.5}$), jaargemiddelde en aantal overschrijdingsdagen	Gevaar
20	Evolutie fijn stof emissies huishoudens	Gevaar
21	Gemeten concentratie ozon (achtergrondconcentraties en piekconcentraties)	Gevaar
22	Aantal dagen waar de waarschuwingsfase en de alarmfase van het nationale ozon- en hitteplan wordt afgekondigd	Gevaar
23	Brandwaarschuwingsindex.	Gevaar
24	Blootgestelde bevolking aan rookpluim natuurbrand	Blootstelling
25	(Ruimtelijke spreiding van) voorkomen van allergene soorten	Gevaar
26	Gemeten pollenconcentraties	Gevaar
27	Pollencyclus	Gevaar
28	Start pollenseizoen	Gevaar

29	Voorkomen en verspreiding Ambrosia	Gevaar
30	Voorkomen van bomen aangetast met eikenprocessierups of dennenprocessierups	Gevaar
31	Aandeel stedelijk groen en niet-verharde oppervlaktes	Vermogen tot adaptatie
32	Outdoor hitte comfortindicator zoals WBGT	Gevaar
33	UV-index	Gevaar
34	Indoor hitte comfortindicator zoals WBGT	Gevaar
35	Aandeel hittebestendige bedrijfsterreinen en gebouwen	Vermogen tot adaptatie
36	Aantal getroffen woningen van mensen die tot een socio-economisch zwakke groep behoren	Gevoeligheid
37	Aantal hittegolfgraaddagen	Gevaar
38	Aantal dagen met een meteorologische hittegolf	Gevaar
39	Aantal dagen met een waarschuwingsfase	Gevaar
40	Aantal dagen met een alarmfase	Gevaar
41	Aantal zomerse dagen	Gevaar
42	Aantal tropische dagen	Gevaar
43	Aantal nachten boven 18°C en 20°C	Gevaar
44	Aantal tussenkomsten van hulpdiensten voor wateroverlast en overstromingen	Vermogen tot adaptatie / Gevaar.
45	Aantal personen dat minstens eenmaal per jaar geen toegang heeft tot kwaliteitsvol drinkwater als gevolg van extreme droogte	Blootstelling
46	Oppervlakte afgebrande gebieden per jaar	Gevaar
47	Aantal huizen zonder water of elektriciteit na een overstroming, en duur van de onderbreking.	Blootstelling
48	Aanwezigheid van groen in of in de onmiddellijke nabijheid van woon- en werkomgevingen	Vermogen tot adaptatie/ Blootstelling

Het resultaat van deze haalbaarheidsstudie moet een onderbouwde lijst van indicatoren zijn waarvoor in de volgende stap een demonstratie zal worden gedaan (zie sectie 0).

2.4.2 Aanpak

In de haalbaarheidsanalyse werden de volgende 3 aspecten onderzocht:

- Beschikbaarheid van inputdata voor de berekening van de indicator?
- Is de definitie van de indicator voldoende duidelijk en is de daarbij horende methodologie beschikbaar?
- Gebeurt er al een rapportering? Dit is bijv. reeds zo voor de luchtkwaliteit gerelateerde indicatoren als “gemeten concentratie fijn stof (PM_{10}, $PM_{2.5}$), jaargemiddelde en # overschrijdingsdagen” waarvoor de VMM operationeel een uitgebreide jaarlijkse rapportering doet. Voor deze indicatoren zal geen demonstratie worden gedaan.

Naast de beschikbaarheid van de inputdata is ook het tweede criterium cruciaal. Gezien de lange lijst aan indicatoren (48) en de beperkte tijd voor de demonstratie is het niet mogelijk om onderzoek te

doen naar de verfijning van de definitie van de indicatoren. Voor de demonstratie in dit project moet de definitie scherp genoeg zijn. Een mooi voorbeeld van een indicator waarvoor de definitie nog te onduidelijk is en er verder onderzoek nodig is, is “Verlies aan landbouwopbrengsten in Vlaanderen door natuurrampen”.
Voor de klimaatdata gerelateerde gevaarindicatoren zijn er meerdere opties mogelijk naargelang de gebruikte inputdata: in-situ waarnemingen van KMI-weerstations of op basis van gemodelleerde data (geïnterpoleerde data op een regulier grid over Vlaanderen, gemodelleerde data op een heel fijn grid van 100 m over Vlaanderen).

De beschikbaarheid van inputdata werd via e-mails, telefoongesprekken en online meetings in kaart gebracht. Hierbij werd vertrokken van suggesties naar data-eigenaars in de shortlist. Voor sommige indicatoren waren meerdere acties nodig om uiteindelijk bij de goede contactpersonen te komen.

Naast de beschikbaarheid van de data werden ook bijkomende aspecten mee bevraagd als bijv. de beschikbaarheid van historische tijdsreeksen, de structurele aard van de dataverzameling (is dit een projectgebonden activiteit met een einddatum of niet?), de voorwaarden om de data te mogen gebruiken (Data Transfer Agreements).

De voornaamste overheidsinstanties die data verzamelen zijn Sciensano, VMM, KMI, FAVV, AIV, Vlaams Departement Landbouw & Visserij, INBO en ANB.

2.4.3 Resultaten haalbaarheidsanalyse

Hierna wordt per indicator een overzichtstabel getoond met meer informatie over:
- Definitie: is de omschrijving helder of moet er verfijnd worden
- Inputdata: korte omschrijving van de resultaten m.b.t. inputdata
- Methodologie: korte omschrijving van de resultaten m.b.t. inputdata
- Demonstratie: Ja of neen

Tabel 2-5: Overzichtstabel voor indicator ‘Datum waarop de cumulatieve temperatuur (uitgedrukt in GDD) 10°C overschrijdt (op basis van dagelijkse maximumtemperatuur)’.

Datum waarop de cumulatieve temperatuur (uitgedrukt in GDD) 10°C overschrijdt (op basis van dagelijkse maximumtemperatuur)	
Definitie	Herdefiniëring naar “Dag van het jaar waarop de som van het verschil (Tmax-10°C) groter of gelijk is aan X°C”
Inputdata	Kan berekend worden op basis van in-situ gemeten klimaatdata of modelmatige gekomen klimaatdata. Lange tijdsreeksen in-situ klimaatdata is beschikbaar op het data portaal van het KMI (https://opendata.meteo.be/). De vraag is gesteld naar de beschikbaarheid van langere tijdsreeksen maar nog geen antwoord ontvangen. De gratis Copernicus Climate Change Service bevat de ERA5 re-analyse klimaatdataset (“ERA5-Land hourly data from 1950 to present”) op een grid van +/- 10km vanaf 1950 tot heden (https://climate.copernicus.eu/)
Methodologie	Het is momenteel nog onduidelijk welke drempelwaarde gebruikt moet worden. Er wordt aangeraden om te wachten op de resultaten van een paper in opmaak. Meer informatie bij contactpersoon bij AZG.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-6: Overzichtstabel voor indicator 'Neerslagtekort in lente, zomer en herfst'.

Neerslagtekort in lente, zomer en herfst	
Definitie	resp. voor de maanden maart-april-mei (MAM), juni-juli-augustus (JJA), september-oktober-november (SON) uitgedrukt in mmWE.
Inputdata	Neerslagtekortdata is beschikbaar bij VMM maar dit kan ook op basis van Copernicus C3S data berekend worden.
Methodologie	Meer informatie in sectie 2.5.6
Demonstratie	Ja

Tabel 2-7: Overzichtstabel voor indicator 'Voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten (reeën, …)'.

Voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten (reeën, …)	
Definitie	n.v.t.
Inputdata	Meer in detail te onderzoeken naar beschikbaarheid data bij INBO.
Methodologie	n.v.t.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-8: Overzichtstabel voor indicator 'Mate waarin gastheer- en reservoirsoorten drager zijn van ziekteverwekkers (bv. TBE bij wild'.

Mate waarin gastheer- en reservoirsoorten drager zijn van ziekteverwekkers (bv. TBE bij wild)	
Definitie	Verder te verfijnen. Geeft in combinatie met indicator "Voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten (reeën, …)" een proxy voor het voorkomen van besmette teken en dus (bij blootstelling) van kans op infectie van mensen.
Inputdata	Data beschikbaar bij ANB. Er is data beschikbaar m.b.t. TBE bij everzwijn (2 maal een monitoring uitgevoerd), zoönotische pathogenen bij teken (een screening gedaan in regio Antwerpen) en in 2023 is een meetcampagne gepland voor TBE bij reeën in wild. Onduidelijk of beschikbare data projectmatige of operationele (over meerdere jaren) data is. Verder te onderzoeken.
Methodologie	N.v.t.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-9: Overzichtstabel voor indicator 'Mate waarin in groengebieden op teken gerichte beheermaatregelen genomen worden'.

Mate waarin in groengebieden op teken gerichte beheermaatregelen genomen worden.	
Definitie	Verder te verfijnen ("mate" ?)
Inputdata	Bestaand risico-evaluatie kader beschikbaar op https://www.tekenbeten.be maar geen informatie beschikbaar m.b.t. mate van implementatie. Informatie moet opgevraagd worden bij de verschillende beheerders van groengebieden (gemeenten, provincies, regio's)
Methodologie	Neen
Demonstratie	Neen

Tabel 2-10: Overzichtstabel voor indicator 'Voorkomen van exotische muggen (o.a. Aziatische tijgermug en andere Aedes- en Anopheles-soorten, …)'.

Voorkomen van exotische muggen (o.a. Aziatische tijgermug en andere Aedes- en Anopheles-soorten, …)	
Definitie	ok
Inputdata	Projectmatige data voor België beschikbaar (tot eind september 2024) bij ITG. Contactpersoon is Isra Deblauwe. Alle data zijn beschikbaar op Global Biodiversity Information Facility (https://www.gbif.org/): • https://www.gbif.org/dataset/9ee09033-8aab-4813-8c2b-db6d54d9817b • https://www.gbif.org/dataset/6679952f-649b-4888-bd97-00daca4b8cc1 • https://www.gbif.org/dataset/f5361e97-c8f1-4697-b209-8817e14ae780 • https://www.gbif.org/dataset/403ac8e4-dfaa-4bcd-ab2e-f30f4632b12d • https://www.gbif.org/dataset/a178c443-d737-4938-b983-5fa8e50936fe • https://www.gbif.org/dataset/f5361e97-c8f1-4697-b209-8817e14ae780 Data voor 2022 gaat toegevoegd worden. Een rapportering van deze data is heel recent gepubliceerd in de review paper **From a long-distance threat to the invasion front: a review of the invasive Aedes mosquito species in Belgium between 2007 and 2020** *(Deblauwe et al. Parasites & Vectors (2022) 15:206.*
Methodologie	N.v.t.
Demonstratie	Neen, zie gepubliceerde open access review paper.

Tabel 2-11: Overzichtstabel voor indicator 'Voorkomen van met Westnijlvirus geïnfecteerde (trek)vogels of andere reservoirsoorten (ook bv. paarden)'.

Voorkomen van met Westnijlvirus geïnfecteerde (trek)vogels of andere reservoirsoorten (ook bv. paarden)	
Definitie	Verder uit te werken (selectie van reservoirsoorten)
Inputdata	Geen data beschikbaar. In België geen Westnijlvirus infecties waargenomen bij paarden (cfr. contactpersoon Universiteit Luik).
Methodologie	Neen
Demonstratie	Neen

Tabel 2-12: Overzichtstabel voor indicator 'Gemiddelde en max. temperatuur van het kustwater en het water in estuaria'.

Gemiddelde en max. temperatuur van het kustwater en het water in estuaria	
Definitie	ok
Inputdata	Data beschikbaar. Meer info zie sectie 2.5.1
Methodologie	Ja
Demonstratie	Ja

Tabel 2-13: Overzichtstabel voor indicator 'Aandeel schelpdieren dat geïnfecteerd is'.

Aandeel schelpdieren dat geïnfecteerd is	
Definitie	Ok
Inputdata	Er is data beschikbaar over de aanwezigheid van fycotoxines in levende tweekleppige weekdieren (mosselen, oesters, sint-jacobschelpen) sinds 2008 bij FAVV. Dit zijn hoofdzakelijk geïmporteerde weekdieren.
Methodologie	Ok
Demonstratie	Neen. Verder onderzoek nodig. Onderstaande tabel toont de evolutie sinds 2008 van het aantal monsters (stijgend aantal) en het percentage van het aantal conforme monsters. Dit percentage is bijna meestal 100% de laatste jaren. Jaartal / #monsters / Percentage conform monsters 2008 / 310 / 97,4 2009 / 213 / 99,5 2010 / 201 / 98,5 2011 / 203 / 99,5 2012 / 342 / 96,2 2013 / 443 / 100 2014 / 441 / 100 2015 / 975 / 100 2016 / 441 / 100 2017 / 473 / 96 2018 / 541 / 100 2019 / 530 / 100 2020 / 694 / 99,9 2021 / 887 / 100

Tabel 2-14: Overzichtstabel voor indicator 'Frequentie van overstortevents'.

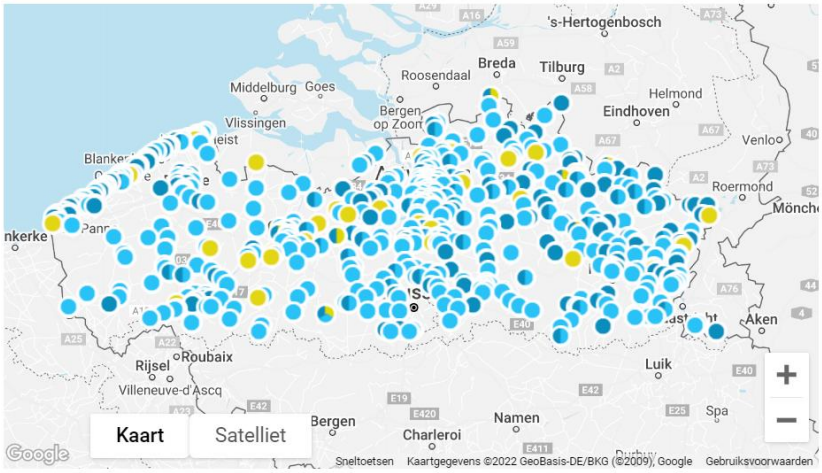
Frequentie van overstortevents	
Definitie	OK
Inputdata	In Vlaanderen is er historische data (sinds 2003) beschikbaar over het voorkomen van overstortevents. Voor de periode 2003 tot oktober 2017 zijn er voor een 529 VMM-meetlocaties gegevens beschikbaar. Voor een 50-tal locaties lopen de metingen door tot op heden. De laatste jaren is het meetnet heroriënteerd naar belangrijke punten in het afvalwatertransport (eerstwerkend overstort van RWZI's, bergingsbekkens, belangrijke pompstations, …). VITO heeft een Acces-DB ontvangen met geaggregeerde data (de niet-geaggregeerde data is +/- 20 GB groot) van 19 meetjaren (2003 tot oktober 2021) voor een 529 VMM-meetlocaties. Het Geoloket Waterkwaliteit bevat ook de data. Naast de gegevens afvalwater, oppervlaktewater, waterbodem is er ook de overstortenlaag van de 529 meetplaatsen. Hierin zijn er 3 drop-down rapporten met per meetplaats: • een geaggregeerd overzicht van de meetjaren • per meetjaar een overzicht van de overstortevents • per event de detailmetingen De opdracht is recent overgegaan naar Aquafin. Dit is in ontwikkeling. Er is nog geen data beschikbaar.

Methodologie	Neen, verder onderzoek nodig. De ontwikkeling van een overstortindicator wordt best in overleg met VMM/Aquafin gedaan om verder te bouwen op beschikbare kennis/data bij beide actoren en rekening te houden met toekomstige investeringen in overstort meetnetdata.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-15: Overzichtstabel voor indicator 'Algemene (micro)-biologische kwaliteit van het oppervlaktewater'.

Algemene (micro)-biologische kwaliteit van het oppervlaktewater	
Definitie	Neen, verdere specificering nodig nog van de mee te nemen parameters.
Inputdata	Data beschikbaar bij VMM. Via het Geoloket Waterkwaliteit kan je de waterkwaliteitsdatabank van de VMM raadplegen. Deze databank wordt voortdurend geactualiseerd. Zodra de analyseresultaten beschikbaar zijn, worden ze toegevoegd aan de databank. Dit betreft alle gegevens van de meetnetten voor oppervlaktewater, afvalwater, overstorten en waterbodem. Grotere hoeveelheden data (voor langere periodes) worden best via de contactpersoon bekomen.
Methodologie	Neen. De ontwikkeling van de indicator wordt best in overleg met de VMM gedaan om dit zo efficiënt mogelijk uit te voeren.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-16: Overzichtstabel voor indicator 'Kwaliteit van het zwemwater (op het vlak van wateroverdraagbare ziekten)'.

Kwaliteit van het zwemwater (op het vlak van wateroverdraagbare ziekten)	
Definitie	OK
Inputdata	Alle badplaatsen (kustwater), zwem- en recreatievijvers worden gedurende meer dan 10 jaar opgevolgd in het kader van de uitvoering van de zwemwaterrichtlijn en VLAREM door VMM en AZG. Naast de belangrijke kwaliteitsparameters bacterieel E. colli en intestinale enterokokken en cyanobacteriën ("blauwalgen") worden ook temperatuur, pH en andere systematisch gemeten. Data is zeker beschikbaar vanaf 2008 in kader huidige Europese zwemwaterrichtlijn maar mogelijks ook oudere data in kader van vorige richtlijnen zwemwater. Data kan opgevraagd worden. Zie https://www.vmm.be/water/zwemwater Hoe is de kwaliteit van het zwemwater? 

	Een actueel overzicht van de kwaliteit van het zwemwater is beschikbaar op https://kwaliteitzwemwater.be/nl, een gezamenlijk initiatief van VMM en AZG.
Methodologie	Neen, bijkomend onderzoek nodig naar opmaak Vlaamse indicator op basis van alle beschikbare data. Best in samenwerking met VMM en AZG om optimaal verder te bouwen op bestaande monitoringsactiviteiten.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-17: Overzichtstabel voor indicator 'Aantal getroffen woningen of bewoners door overstromingen'.

Aantal getroffen woningen of bewoners door overstromingen	
Definitie	Ok
Inputdata	In het kader van de overstromingsrisicobeoordeling nodig voor de Europese overstromingsrichtlijn (die om de 6 jaar herhaald moet worden, volgende eind 2024) gebruikt de VMM-data van Rampenfonds en Assuralia. Deze mag evenwel niet doorgegeven worden. Enkel de data uit de voorlopige overstromingsrisicobeoordeling, p 25-27 kan gedeeld worden.
Methodologie	Neen, best verder opnemen met de VMM en de data-eigenaars.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-18: Overzichtstabel voor indicator 'Voorkomen van blauwalgen'.

Voorkomen van blauwalgen	
Definitie	Ok
Inputdata	Deel van dataset voor indicator "Algemene (micro)-biologische kwaliteit van het oppervlaktewater"
Methodologie	Neen
Demonstratie	Neen

Tabel 2-19: Overzichtstabel voor indicator 'Gemiddelde dagelijkse watertemperatuur voor een selectie van waterlichamen'.

Gemiddelde dagelijkse watertemperatuur voor een selectie van waterlichamen	
Definitie	Ok
Inputdata	Deel van dataset voor indicator "Algemene (micro)-biologische kwaliteit van het oppervlaktewater". Bevat ook watertemperatuur.
Methodologie	Neen
Demonstratie	Neen

Tabel 2-20: Overzichtstabel voor indicator 'Sterfte bij vissen en watervogels'.

Sterfte bij vissen en watervogels	
Definitie	Verder te verfijnen.
Inputdata	Er bestaat een meldpunt vissterfte: https://www.natuurenbos.be/node/119 De opvolging van vissterfte wordt gecoördineerd door Milieu-incidenten van de Vlaamse Milieumaatschappij. Regelmatig worden er parlementaire vragen gesteld over vissterfte. In het overzicht worden zoveel mogelijk gegevens over onder meer de oorzaak en de hoeveelheid gestorven vis gegeven. • - Schriftelijke vraag 951 van 17 juni 2022: https://www.vlaamsparlement.be/nl/parlementaire-documenten/schriftelijke-vragen/1649809 • - Schriftelijke vraag 1183 van 21 juni 2021: https://www.vlaamsparlement.be/nl/parlementaire-documenten/schriftelijke-vragen/1535532 • - Schriftelijke vraag 834 van 3 juni 2020: https://www.vlaamsparlement.be/nl/parlementaire-documenten/schriftelijke-vragen/1411510 In de periode 1 juli 2021 tot eind juni 2022 was 55% van de vissterfte te wijten aan een verhoogde organische belasting en 25% was te wijten aan een overstortwerking. Verder onderzoek nodig om een klimaatrelevantie indicator te definiëren.
Methodologie	Neen
Demonstratie	Neen

Tabel 2-21: Overzichtstabel voor indicator 'Aantal vaststellingen van aanwezigheid van mycotoxines in voedsel boven wettelijk vastgelegde maximum limieten (voor gereglementeerde mycotoxines)'.

Aantal vaststellingen van aanwezigheid van mycotoxines in voedsel boven wettelijk vastgelegde maximum limieten (voor gereglementeerde mycotoxines)	
Definitie	Moet verfijnd worden
Inputdata	Het FAVV-controleprogramma omvat analyses van aflatoxines, ochratoxine A, fumonisines, ergotalkaloïden en moederkoren (*Claviceps purpurea*; visuele controle), T-2- en HT-2-toxines, deoxynivalenol, zearalenone, patuline en citrinine in levensmiddelen en diervoeders. Meer informatie hierover kan teruggevonden worden in een advies dat het Wetenschappelijk Comité begin dit jaar uitbracht (Advies 01-2022: Evaluatie van het FAVV-analyseprogramma: Mycotoxines in levensmiddelen en diervoeders; https://www.favv-afsca.be/wetenschappelijkcomite/adviezen/2022/). Data over mycotoxines worden sinds 2002 gerapporteerd in het jaarverslag beschikbaar op de website van het FAVV. Voor meer info https://www.favv-afsca.be/jaarverslagen/. Een aanvraag om FAVV-gegevens te bekomen in het kader van wetenschappelijk onderzoek dient ingediend te worden aan de Directeur-generaal van het DG Controlebeleid (Jean-Francois.Heymans@favv-afsca.be)
Methodologie	Neen
Demonstratie	Neen

Tabel 2-22: Overzichtstabel voor indicator 'Verlies aan landbouwopbrengsten in Vlaanderen door natuurrampen'.

Verlies aan landbouwopbrengsten in Vlaanderen door natuurrampen	
Definitie	Verder te verfijnen om een klimaatrelevantie indicator te bekomen.
Inputdata	Via het departement Landbouw & Visserij is onderstaande informatie bekomen: 1. De **gemiddelde opbrengst per hectare** van **Statbel** (data op de website sinds 2007 maar mogelijks ook langere tijdsreeksen beschikbaar) berust volgens de metadata op een enquête bij 1.900 landbouwers. Men zegt hierbij: "de niet geoogste oppervlakten worden in aanmerking genomen voor de berekening van de gemiddelde opbrengsten". Dit doet vermoeden dat er inderdaad rekening gehouden wordt met rampen in de gemiddelden. Verder na te vragen bij Statbel i.s.m. het departement L&V. Indien nodig kan het departement, als aanvulling op de akkerbouwteelten van Statbel, ook inschattingen maken van de belangrijkste groente- en fruitteelten in Vlaanderen. Opgelet deze gemiddelde opbrengsten per hectare moeten wel voorzichtig geïnterpreteerd worden. Naast de impact van het klimaat zijn er ook nog veel andere factoren als de prijs kunstmeststof, energieprijzen, gebruik gewasbeschermingsmiddel, … 2. **Schadedossiers**: bevat informatie maar mits enkele grote kanttekeningen: a. Voor de **rampenfondsen** zullen hier gegevens van zijn, maar énkel indien de ramp effectief erkend werd door de regering. Anders is er geen sprake van een ramp en treedt het fonds niet in werking. Voor het landbouwrampenfonds heeft het departement L&V vermoedelijk data tot 2020, daarna zit dit bij departement Kanselarij en Buitenlandse Zaken. Verder onderzoek i.s.m. het departement L&V nodig om in te schatten hoe bruikbaar deze data is en wat de werklast is om deze te verwerken. b. Vanaf 2020 subsidieert het departement L&V een **brede weersverzekering** die door private verzekeraars verstrekt wordt. Hierdoor ontvangt het departement ook informatie over de schadedossiers (% schade, getroffen hectare). Het nadeel hier is dat de verzekering niet verplicht is en de totale schade dus zeer sterk beïnvloed wordt door het aantal landbouwers met een verzekering – en welke teelten men al dan niet verzekert. Deze aantallen zijn niet constant in de tijd, wat nefast is voor de indicator. De geaggregeerde opbrengsten per hectare lijken de meest haalbare optie. Wel rekening houdend met alle reeds gemaakte kanttekeningen.
Methodologie	Verder te verfijnen in samenwerking met Statbel en het departement L&V
Demonstratie	Neen

Tabel 2-23: Overzichtstabel voor indicator 'Gemeten concentratie fijn stof (PM10, PM2.5), jaargemiddelde en aantal overschrijdingsdagen'.

Gemeten concentratie fijn stof (PM_{10}, $PM_{2.5}$), jaargemiddelde en aantal overschrijdingsdagen	
Definitie	Ok
Inputdata	Data beschikbaar bij VMM-IRCEL. Operationele jaarlijkse rapportering door VMM in kader van EU-richtlijnen luchtkwaliteit
Methodologie	Ok
Demonstratie	Neen

Tabel 2-24: Overzichtstabel voor indicator 'Evolutie fijn stof emissies huishoudens'.

Evolutie fijn stof emissies huishoudens	
Definitie	Ok
Inputdata	Data beschikbaar bij VMM-IRCEL. Operationele jaarlijkse rapportering door VMM in kader van EU-richtlijnen luchtkwaliteit
Methodologie	Ok
Demonstratie	Neen

Tabel 2-25: Overzichtstabel voor indicator 'Gemeten concentratie ozon (achtergrondconcentraties en piekconcentraties)'.

Gemeten concentratie ozon (achtergrondconcentraties en piekconcentraties)	
Definitie	Ok
Inputdata	Data beschikbaar bij VMM-IRCEL. Operationele jaarlijkse rapportering door VMM in kader van EU-richtlijnen luchtkwaliteit
Methodologie	Ok
Demonstratie	Neen

Tabel 2-26: Overzichtstabel voor indicator 'Aantal dagen waar de waarschuwingsfase en de alarmfase van het nationale ozon- en hitteplan wordt afgekondigd'.

Aantal dagen waar de waarschuwingsfase en de alarmfase van het nationale ozon- en hitteplan wordt afgekondigd	
Definitie	Ok
Inputdata	Data beschikbaar bij IRCEL. Zie FAQ voor rapportering https://www.irceline.be/nl/documentatie/faq
Methodologie	Ok
Demonstratie	Neen

Tabel 2-27: Overzichtstabel voor indicator 'Brandwaarschuwingsindex'.

Brandwaarschuwingsindex	
Definitie	Ok
Inputdata	Zie sectie 2.5.2
Methodologie	Zie sectie 2.5.2
Demonstratie	Ja

Tabel 2-28: Overzichtstabel voor indicator 'Blootgestelde bevolking aan rookpluim natuurbrand'.

Blootgestelde bevolking aan rookpluim natuurbrand	
Definitie	Ok
Inputdata	Zie sectie 2.5.4
Methodologie	Zie sectie 2.5.4

Demonstratie	Ja

Tabel 2-29: Overzichtstabel voor indicator '(Ruimtelijke spreiding van) voorkomen van allergene soorten'.

(Ruimtelijke spreiding van) voorkomen van allergene soorten	
Definitie	Ok
Inputdata	Er is geen data beschikbaar voor gans Vlaanderen. Er bestaat enkel lokale data (cfr. Sciensano). Binnen het RespirIT (2016-2021) Belspo-project werd de impact van de klimaatverandering (zichtjaar 2040) bestudeerd voor Betula, Alnus en Corylus.
Methodologie	N.v.t.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-30: Overzichtstabel voor indicator 'Gemeten pollenconcentraties'.

Gemeten pollenconcentraties	
Definitie	OK

Inputdata	Sciensano heeft gemeten pollenconcentraties (standaard Hirst-methode). Data is beschikbaar volgens data transfer agreement.
	• Tijdreeksen op dagbasis voor 37 pollen taxa en 5 tot 6 (afhankelijk van beschouwde meetstation) schimmelsporen taxa voor verschillende meetstations.
	• Locaties:
	  ○ Brussel: van 1982 tot nu,
	  ○ De Haan: van 1984 tot nu,
	  ○ Genk: van 2001 tot 2004 (en van 2011 tot nu),
	  ○ Antwerpen: van 2005 tot 2010,
	  ○ Gent: van 1997 tot 1999
	Operationele rapportering beschikbaar in gepubliceerde papers

Methodologie	OK
Demonstratie	Neen

Tabel 2-31: Overzichtstabel voor indicator 'Pollencyclus'.

Pollencyclus	
Definitie	ok
Inputdata	Sciensano heeft gemeten pollencyclus. Data is beschikbaar volgens data transfer agreement. • Jaarlijkse pollenintegraal of seizoensgebonden pollenintegraal, af te leiden uit tijdreeksen van dagelijkse metingen • Locaties: Brussel: van 1982 tot nu, De Haan: van 1984 tot nu, Genk: van 2001 tot 2004 (en van 2011 tot nu), Antwerpen: van 2005 tot 2010, Gent: van 1997 tot 1999 • Operationele rapportering beschikbaar. Zie gepubliceerde papers.
Methodologie	Ok
Demonstratie	Neen

Tabel 2-32: Overzichtstabel voor indicator ‘Start pollenseizoen’.

Start pollenseizoen	
Definitie	OK
Inputdata	Sciensano heeft gemeten pollencyclus. Data is beschikbaar volgens data transfer agreement. • Af te leiden uit tijdreeksen van dagelijkse metingen • Locaties: Brussel: van 1982 tot nu, De Haan: van 1984 tot nu, Genk: van 2001 tot 2004 (en van 2011 tot nu), Antwerpen: van 2005 tot 2010, Gent: van 1997 tot 1999 • Operationele rapportering beschikbaar. Zie gepubliceerde papers.
Methodologie	Onduidelijk. Verschillende definities zijn beschikbaar: https://doi.org/10.1007/s10453-021-09735-2 “Five ways to define a pollen season: exploring congruence and disparity in its attributes and their long-term trends”)
Demonstratie	Neen

Tabel 2-33: Overzichtstabel voor indicator ‘Voorkomen en verspreiding Ambrosia’.

Voorkomen en verspreiding Ambrosia	
Definitie	Ok
Inputdata	Geen data voor Vlaanderen beschikbaar. In Wallonië wordt dit sinds kort onderzocht door het "Observatoire Wallon des Ambroisies": het combineren van kaarten van de klimatologische gegevens met kaarten van de milieu-niche en kaarten van de in het veld gevalideerde populaties.
Methodologie	Neen
Demonstratie	Neen

Tabel 2-34: Overzichtstabel voor indicator ‘Voorkomen van bomen aangetast met eikenprocessierups of dennenprocessierups’.

Voorkomen van bomen aangetast met eikenprocessierups of dennenprocessierups	
Definitie	ok
Inputdata	Er is data beschikbaar bij de provincies die een coördinerende rol opnemen bij het bestrijden van de eikenprocessierups. Verder onderzoek nodig bij de provincies m.b.t. beschikbare data om tot een Vlaamse dataset te komen.
Methodologie	Neen
Demonstratie	Neen

Tabel 2-35: Overzichtstabel voor indicator 'Aandeel stedelijk groen en niet-verharde oppervlaktes'.

Aandeel stedelijk groen en niet-verharde oppervlaktes	
Definitie	Ok

Inputdata	Om de hoeveelheid groene ruimte vast te stellen, kan gebruik gemaakt worden van de volgende kaartlaag:
	• Groenkaart Vlaanderen: De groenkaart toont het groen in Vlaanderen in verschillende klassen: "Hoog Groen" (meer dan 3m), "Laag Groen" (minder dan 3m), "Landbouw" en "Niet groen". Deze groenkaart is opgemaakt door Digitaal Vlaanderen op basis van orthofoto's (luchtopnames via fotovluchten) tijdens de zomermaanden en is 3-jaarlijks beschikbaar (2009-2012-2015-2018) als een rasterkaart met een 1m resolutie https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/70c663ac-ff3e-4b9a-9867-bb22bbdfcf6d
	
	Voor het in kaart brengen van de verharde oppervlaktes in Vlaanderen zijn er verschillende mogelijke bronnen:
	• Bodemafdekkingskaart (BAK): Deze kaart focust op de bodem en het verlies van zijn essentiële ecosysteemfuncties. De bodemafdekking of verharding wordt uitgedrukt als de oppervlakte waarvan de aard en/of de toestand van het bodemoppervlak gewijzigd is door het aanbrengen van artificiële, (semi-)ondoorlaatbare materialen waardoor essentiële ecosysteemfuncties van de bodem verloren gaan. In de praktijk gaat het vooral om gebouwen, wegen, parkeerterreinen en andere verharde oppervlakten zoals pleinen, opritten, ... Deze groenkaart is, net zoals de groenkaart, opgemaakt door Digitaal Vlaanderen op basis van orthofoto's tijdens de zomermaanden en is 3-jaarlijks beschikbaar (2009-2012-2015-2018). De kaart wordt weergegeven in percentage afdekking (op 5m resolutie) en is beschikbaar op: https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/3fbc3302-7b8a-4379-92b5-d2d5f802b439
	• Daarnaast werkt het Departement Omgeving momenteel aan een jaarlijkse verhardingskaart op basis van de orthofoto's tijdens de wintermaanden die via Artificial Intelligence worden omgezet in verhardingskaarten. Deze kaarten zijn momenteel nog niet publiek beschikbaar en bevinden zich in een testfase.
	
	Via GIS-overlays kan op basis van deze kaartlagen het aandeel groene ruimte / onverharde ruimte worden berekend voor verschillende omgevingen.
	
	Stedelijke gebieden kunnen, afhankelijk van het doel van de indicator, worden berekend als:
	• De locaties die vallen binnen de afbakeningslijnen van de stedelijke gebieden uit het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen (Departement Omgeving): Deze afbakeningen hebben vooral een waarde voor het beleid. Ze geven aan in welke gebieden het stedelijke gebiedenbeleid van kracht is.
	• De verstedelijkte gebieden uit het Ruimterapport. Deze typologie werd ontwikkeld voor het uitvoeren van ruimtelijke analyses. De verstedelijkte gebieden zijn hierbij een selectie van statistische sectoren die worden gekenmerkt door:
	  ○ Hoog ruimtebeslag (≥ 32,5%, dus meer dan het gemiddelde van Vlaanderen in 2013)
	  ○ Hoge activiteitsgraad: hoge bevolkingsdichtheid en/of hoge tewerkstellingsdichtheid (bevolkingsdichtheid)
	  ○ Aaneengesloten, verstedelijkte clusters met minimaal 15.000 inwoners.

Methodologie	Verder uit te werken.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-36: Overzichtstabel voor indicator ‘Outdoor hitte comfortindicator zoals WBGT’.

Outdoor hitte comfortindicator zoals WBGT	
Definitie	OK
Inputdata	In het kader van het VMM-project “Uitbreiding klimaatportaal met adaptatietools” wordt door VITO een Vlaanderen gebiedsdekkende 1-meter resolutie kaart berekend van de outdoor thermisch comfort indicator “Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)”, een hittestress indicator die zowel de lucht temperatuur, luchtvochtigheid, straling en de windsnelheid combineert. De kaart in het klimaatportaal wordt berekend voor een T20 event (een extreem warme dag die zich éénmaal in de 20 jaar voordoet) op basis van kaartmateriaal van 2018 (BodemBedekkingKaart). Deze kaart gaat in het najaar 2022 bij de lancering van het vernieuwde klimaatportaal publiek beschikbaar komen, zie voorbeeld voor centrum van stad Antwerpen in Figuur 2-2. Figuur 2-2 WBGT-kaart voor centrum van stad Antwerpen. Bron: VITO. Een mogelijke implementatie van de indicator “Outdoor hitte comfort indicator zoals WBGT” zou kunnen bestaan uit volgende stappen: • Berekening WBGT-kaartmateriaal (waarde op het warmste en koudste moment van de dag) op basis van groenkaart en bodembedekkingskaartmateriaal voor de verschillende jaren 2009/2012/2015/2018/2021 (data beschikbaar op Geopunt Vlaanderen). Hierbij wordt de klimaatforcering (T20 event bijv.) constant gehouden om de invloed van de omgevingsfactoren (bodembedekking, groen, verharding) op de distributie van de indicator naar voor te laten komen. Bij elke driejaarlijkse update van de input kaarten kan een nieuwe berekening gedaan worden om de evolutie op te volgen en eventuele doelstellingen rond hitte adaptatie te evalueren. • Berekening van de oppervlaktes die bepaalde WBGT internationale drempelwaarden overschrijden (extreme hittestress, gematigde hittestress, …). Dit kan gebeuren voor het ganse grondgebied of per gemeente.
Methodologie	Voorstel hierboven af te toetsen.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-37: Overzichtstabel voor indicator 'UV-index'.

UV-index	
Definitie	Ok, internationale standaard
Inputdata	KMI. Opendata-server bevat data sinds 1989. Zie sectie 2.5.5
Methodologie	Zie sectie 2.5.5
Demonstratie	Ja

Tabel 2-38: Overzichtstabel voor indicator 'Indoor hitte comfortindicator zoals WBGT'.

Indoor hitte comfortindicator zoals WBGT	
Definitie	Ok
Inputdata	Niet beschikbaar. Enkel sporadische meetgegevens binnen onderzoeksprojecten.
Methodologie	Nog onduidelijk hoe deze te berekenen representatief voor gebouwenpark in gans Vlaanderen. Verder onderzoek nodig.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-39: Overzichtstabel voor indicator 'Aandeel hittebestendige ingerichte bedrijfsterreinen en gebouwen'.

Aandeel hittebestendige ingerichte bedrijfsterreinen en gebouwen	
Definitie	Nog te verfijnen. Wanneer is een gebouw/bedrijfsterrein hittebestendig? Bestaan er internationale standaarden?
Inputdata	Niet beschikbaar.
Methodologie	Neen. Ook meenemen van schaduw creërende en hittewerende elementen in de directe omgeving van gebouw. Verder onderzoek nodig.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-40: Overzichtstabel voor indicator 'Aantal getroffen woningen van mensen die tot een socio-economisch zwakke groep behoren'.

Aantal getroffen woningen van mensen die tot een socio-economisch zwakke groep behoren	
Definitie	Ok
Inputdata	Neen, zie ook analyse van indicator "Aantal getroffen woningen of bewoners door overstromingen" maar focus op socio-economisch zwakke groep.
Methodologie	Neen
Demonstratie	Neen

Tabel 2-41: Overzichtstabel voor indicator 'Aantal hittegolfgraaddagen/aantal dagen met een meteorologische hittegolf/aantal dagen met een waarschuwingsfase/aantal dagen met een alarmfase/aantal zomerse dagen/Aantal tropische dagen/aantal nachten boven 18°C en 20°C'.

Aantal hittegolfgraaddagen/aantal dagen met een meteorologische hittegolf/aantal dagen met een waarschuwingsfase/aantal dagen met een alarmfase/aantal zomerse dagen/Aantal tropische dagen/aantal nachten boven 18°C en 20°C	
Definitie	OK
Inputdata	Kan berekend worden op basis van in-situ gemeten klimaatdata of modelmatige gekomen klimaatdata. Lange tijdsreeksen in-situ klimaatdata is beschikbaar op het data portaal van het KMI (https://opendata.meteo.be/). De vraag is gesteld naar de beschikbaarheid van langere tijdsreeksen maar nog geen antwoord ontvangen. Het data portaal van het KMI bevat ook gemodelleerde gegridde data op 5 km resolutie (data vanaf 1961). De VMM rapporteert jaarlijks over hittegolven en andere temperatuurextremen op basis van de lange KMI-tijdsreeks van Ukkel (data sinds 1892). Zie https://www.vmm.be/klimaat/hittegolven-en-andere-temperatuurextremen VITO berekent jaarlijks op 100 m resolutie klimaatdata voor gans Vlaanderen. Er is data beschikbaar vanaf het jaar 2000. Naast de ruwe data worden ook de indicatoren hittegolfgraaddagen, aantal zomerse dagen en aantal tropische dagen opgeleverd. De gratis Copernicus Climate Change Service bevat de ERA5 re-analyse klimaatdataset ("ERA5-Land hourly data from 1950 to present") op een grid van +/- 10km vanaf 1950 tot heden (https://climate.copernicus.eu/)
Methodologie	Ja. De definitie van de indicatoren is duidelijk en kan geïmplementeerd worden. • Aantal hittegolfgraaddagen: definitie beschikbaar. Zie https://www.vmm.be/klimaat/hitte-eilanden-in-steden (kaartmateriaal over gans Vlaanderen beschikbaar) • Aantal dagen met een meteorologische hittegolf: kan berekend worden volgens de definitie van KMI "Het KMI spreekt van een landelijke hittegolf wanneer de maxima in Ukkel gedurende minstens 5 opeenvolgende dagen tenminste 25 graden halen, waarbij op minstens drie dagen ten minste 30 graden gehaald wordt". Zie https://www.vmm.be/klimaat/hittegolven-en-andere-temperatuurextremen (resultaten voor Ukkel) • Aantal dagen met een waarschuwingsfase/aantal dagen met een alarmfase: zie indicator "Aantal dagen waar de waarschuwingsfase en de alarmfase van het nationale ozon- en hitteplan wordt afgekondigd" • Aantal zomerse dagen: definitie beschikbaar. Zie https://www.vmm.be/klimaat/hittegolven-en-andere-temperatuurextremen (resultaten voor Ukkel) • Aantal tropische dagen: definitie beschikbaar. Zie https://www.vmm.be/klimaat/hittegolven-en-andere-temperatuurextremen (resultaten voor Ukkel) • Aantal nachten boven 18°C en 20°C. Kan berekend worden.
Demonstratie	Neen wegens grote beschikbaarheid bestaande rapporteringen bij de VMM. Bijkomende indicatoren in overleg met de VMM te bespreken.

Tabel 2-42: Overzichtstabel voor indicator 'Aantal tussenkomsten van hulpdiensten voor wateroverlast en overstromingen'.

Aantal tussenkomsten van hulpdiensten voor wateroverlast en overstromingen	
Definitie	ok
Inputdata	Onderzoek naar beschikbaarheid data en contactpersoon bij Federaal Kenniscentrum lopend.
Methodologie	Neen

Demonstratie	Neen

Tabel 2-43: Overzichtstabel voor indicator 'Aantal personen dat minstens eenmaal per jaar geen toegang heeft tot kwaliteitsvol drinkwater als gevolg van extreme droogte'.

Aantal personen dat minstens eenmaal per jaar geen toegang heeft tot kwaliteitsvol drinkwater als gevolg van extreme droogte	
Definitie	Anders te definiëren. Huidige drinkwateronderbrekingen zijn niet alleen maar te wijten aan de klimaatverandering maar worden veroorzaakt door een combinatie van technische en/of organisatorische factoren. Een onderbreking van het drinkwater is bijgevolg nooit uitsluitend te wijten aan klimaatverandering maar aan een combinatie hiervan met andere factoren. De waarde van deze indicator is dus momenteel gelijk aan nul en moet daarom anders gedefinieerd worden. De klimaatverandering zorgt voor druk op de beschikbaarheid en kwaliteit van de waterbronnen. Drinkwaterbedrijven bereiden zich hierop voor door middel van risico-analyses (inclusief klimaatscenario's) en de implementatie van remediërende acties (verbinden van distributienetwerken, in gebruik nemen van nieuwe waterbronnen, …) om de mogelijks verminderde werking of het wegvallen van waterbronnen te kunnen opvangen. Voorstel om een indicator te definiëren die de daling van waterbeschikbaarheid en waterkwaliteit weergeeft aan bronzijde omwille van de klimaatverandering.
Inputdata	Drinkwaterbedrijven hebben hierover gegevens.
Methodologie	Neen. Verder uit te werken in samenwerking met de drinkwaterbedrijven.
Demonstratie	Neen

Tabel 2-44: Overzichtstabel voor indicator 'Oppervlakte afgebrande gebieden per jaar'.

Oppervlakte afgebrande gebieden per jaar	
Definitie	Ok
Inputdata	Zie sectie 2.5.3
Methodologie	Zie sectie 2.5.3
Demonstratie	Zie sectie 2.5.3

Tabel 2-45: Overzichtstabel voor indicator 'Aantal huizen zonder water of elektriciteit na een overstroming, en duur van de onderbreking'.

Aantal huizen zonder water of elektriciteit na een overstroming, en duur van de onderbreking	
Definitie	ok
Inputdata	Neen, zie ook analyse van indicator "Aantal getroffen woningen of bewoners door overstromingen"
Methodologie	Neen
Demonstratie	Neen

Tabel 2-46: Overzichtstabel voor indicator 'Aanwezigheid van groen in of in de onmiddellijke nabijheid van woon- en werkomgevingen'.

Aanwezigheid van groen in of in de onmiddellijke nabijheid van woon- en werkomgevingen	
Definitie	OK. Wel extra onderzoek nodig over de bepaling van het begrip "onmiddellijke nabijheid". Sterk verwant met de indicator "Aandeel stedelijk groen en niet-verharde oppervlaktes".
Inputdata	Zie analyse van de indicator "Aandeel stedelijk groen en niet-verharde oppervlaktes"
Methodologie	Nog verder te verfijnen in functie van de gebruikte inputgegevens naar groen en bevolking.
Demonstratie	Neen

2.4.4 Conclusie haalbaarheidsanalyse

Op basis van bovenstaande resultaten vallen heel wat indicatoren af waarvan we nu al weten dat er geen data beschikbaar is of de methodologie veel te grote onzekerheden bevat.

Indicatoren waarvoor er **geen inputdata** is (13):

- Mate waarin in groengebieden op teken gerichte beheermaatregelen genomen worden (zie ook Tabel 2-9);
- Voorkomen van met Westnijlvirus geïnfecteerde (trek)vogels of andere reservoirsoorten (ook bv. paarden) (zie ook Tabel 2-11);
- Voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten (reeën, …) (zie ook Tabel 2-7);
- (Ruimtelijke spreiding van) voorkomen van allergene soorten (zie ook Tabel 2-29);
- Voorkomen en verspreiding Ambrosia (zie ook Tabel 2-33);
- Voorkomen van bomen aangetast met eikenprocessierups of dennenprocessierups (zie ook Tabel 2-34);
- Aantal getroffen woningen of bewoners door overstromingen (zie ook Tabel 2-40);
- Aantal getroffen woningen van mensen die tot een socio-economisch zwakke groep behoren (zie ook Tabel 2-40);
- Aantal personen dat minstens eenmaal per jaar geen toegang heeft tot kwaliteitsvol drinkwater als gevolg van extreme droogte (zie ook Tabel 2-43);
- Aantal huizen zonder water of elektriciteit na een overstroming, en duur van de onderbreking (zie ook Tabel 2-45);
- Indoor hitte comfortindicator zoals WBGT (zie ook Tabel 2-38);
- Aandeel hittebestendige bedrijfsterreinen en gebouwen (zie ook Tabel 2-39);
- Aantal tussenkomsten van hulpdiensten voor wateroverlast en overstromingen (zie ook Tabel 2-42).

Indicatoren waarvan de **methodologie niet duidelijk genoeg is of de beschikbare inputdata** en de verwerkingsmethode meer in detail moet bestudeerd worden of waarvan het duidelijk is dat de verdere uitwerking niet mogelijk is binnen de beschikbare middelen (14):

- Datum waarop de cumulatieve temperatuur (uitgedrukt in GDD) 10°C overschrijdt (op basis van dagelijkse maximumtemperatuur) (zie ook Tabel 2-5);
- Aandeel schelpdieren dat geïnfecteerd is (zie ook Tabel 2-13);
- Mate waarin gastheer- en reservoirsoorten drager zijn van ziekteverwekkers (bv. TBE bij wild) (zie ook Tabel 2-8);
- Frequentie van overstortevents (zie ook Tabel 2-14);
- Algemene ((micro)) biologische) kwaliteit van het oppervlaktewater (zie ook Tabel 2-15);

- Kwaliteit van het zwemwater (op het vlak van wateroverdraagbare ziekten) (zie ook Tabel 2-16);
- Voorkomen van blauwalgen (zie ook Tabel 2-18);
- Gemiddelde dagelijkse watertemperatuur voor een selectie van waterlichamen (zie ook Tabel 2-19);
- Sterfte bij vissen en watervogels (zie ook Tabel 2-20);
- Verlies aan landbouwopbrengsten in Vlaanderen door natuurrampen (zie ook Tabel 2-22);
- Aandeel stedelijk groen en niet-verharde oppervlaktes (zie ook Tabel 2-35);
- Aanwezigheid van groen in of in de onmiddellijke nabijheid van woon- en werkomgevingen (zie ook Tabel 2-46);
- Outdoor hitte comfortindicator zoals WBGT (zie ook Tabel 2-36);
- Aantal nachten boven 18°C en 20°C (zie ook Tabel 2-41).

De volgende indicatoren worden ook niet meegenomen in de demonstratie omwille van het bestaan van **operationele rapporteringen of recente gepubliceerde review papers waarop verder gebouwd** moet worden (16):

- Voorkomen van exotische muggen (o.a. Aziatische tijgermug en andere Aedes- en Anopheles-soorten, …) (zie ook Tabel 2-10);
- Gemeten concentratie fijn stof (PM_{10}, $PM_{2.5}$), jaargemiddelde en # overschrijdingsdagen (zie ook Tabel 2-23);
- Gemeten concentratie ozon (achtergrondconcentraties en piekconcentraties) (zie ook Tabel 2-25);
- Evolutie fijn stof emissies huishoudens (zie ook Tabel 2-24);
- Aantal vaststellingen van aanwezigheid van mycotoxines in voedsel boven wettelijk vastgelegde maximum limieten (voor gereglementeerde mycotoxines) (zie ook Tabel 2-21);
- Aantal dagen waar de waarschuwingsfase en de alarmfase van het nationale ozon- en hitteplan wordt afgekondigd (zie ook);
- Gemeten pollenconcentraties (zie ook Tabel 2-30);
- Gemeten pollencyclus (zie ook Tabel 2-31);
- Start pollenseizoen (zie ook Tabel 2-32);
- Aantal hittegolfgraaddagen (zie ook Tabel 2-41);
- Aantal dagen met een meteorologische hittegolf (zie ook Tabel 2-41);
- Aantal dagen met een waarschuwingsfase (zie ook Tabel 2-41);
- Aantal dagen met een alarmfase (zie ook Tabel 2-41);
- Aantal zomerse dagen (zie ook Tabel 2-41);
- Aantal tropische dagen (zie ook Tabel 2-41).

Finaal weerhouden indicatoren die in een volgende stap meer in detail zijn bestudeerd en gedocumenteerd (6):

- Neerslagtekort in lente, zomer en herfst (zie ook);
- Gemiddelde en max. temperatuur van het kustwater en het water in estuaria (zie ook);
- UV-index (zie ook);
- Brandwaarschuwingsindex (zie ook);
- Oppervlakte afgebrande gebieden per jaar (zie ook);
- Blootgestelde bevolking aan rookpluim natuurbrand (zie ook).

2.5 DEMONSTRATIE

Omgevingsindicatoren kunnen telkens worden afgeleid uit verschillende databronnen. Deze zijn enerzijds gebaseerd op directe metingen op specifieke locaties (bv. temperatuur en neerslag te Ukkel), en anderzijds op indirecte methodes en modelleringstechnieken (bv. atmosfeermodellen). De laatste laten toe om de indicatoren te berekenen op locaties waar geen metingen worden uitgevoerd of om verder in het verleden te kijken (bv. o.b.v. klimaatreconstructies), en om toekomstige scenario's te evalueren (bv. op basis van klimaatprojecties). Ten einde betrouwbare en universele indicatoren te voorzien met een ondubbelzinnige interpretatie worden bij voorkeur de indicatoren telkens berekend uit de verschillende databronnen en naast elkaar gelegd. In deze sectie demonstreren we verschillende databronnen voor een aantal van de beoogde indicatoren, waarbij we voor sommigen ook eerste resultaten tonen.

2.5.1 Gemiddelde en max. temperatuur van het kustwater en het water in estuaria

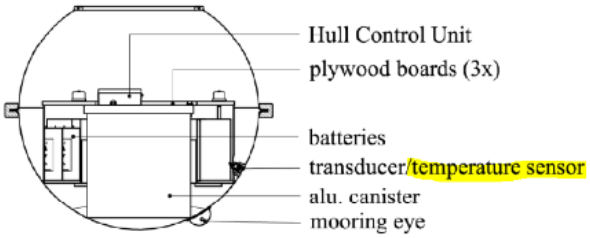
2.5.1.1 Boeien aan de kust

Overzicht

- Tijdsresolutie: 30-minuutswaarden
- Frequentie updates: real-time
- Gebiedsbedekking: verschillende meetlocaties
- Periode: 1990-heden
- Databronnen:
    - Kaarten
    - Gegevens
- Leverancier: Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust
- Formaat: txt-bestanden met tabel en vaste kolombreedtes

Beschrijving

Zeewatertemperatuur wordt gemeten op het autonome sensornetwerk (dus niet handmatig), vooral op de golfmeetboeien, maar ook met andere sensoren. Alle boeien (Datawell waveriders) hebben een thermistor, een sensor die de temperatuur meet op basis van resistiviteit. De sensoren hebben een meetnauwkeurigheid van 0.2°C, zoals gerapporteerd door de leverancier. Door de beweging van de boei is de diepte van de temperatuursensor niet constant (orde van enkele decimeter), maar de sensor zit dicht bij het ankeroog waardoor die vrijwel permanent onder water zit. De sensor meet dus permanent de bovenste waterlaag. De boei in onderstaande figuur heeft een diameter van 0.9m, waardoor de sensor de zeewatertemperatuur meet op ongeveer 0.5 m onder het wateroppervlak.



Figuur 2-3. *Schets van een boei met de sensoren*

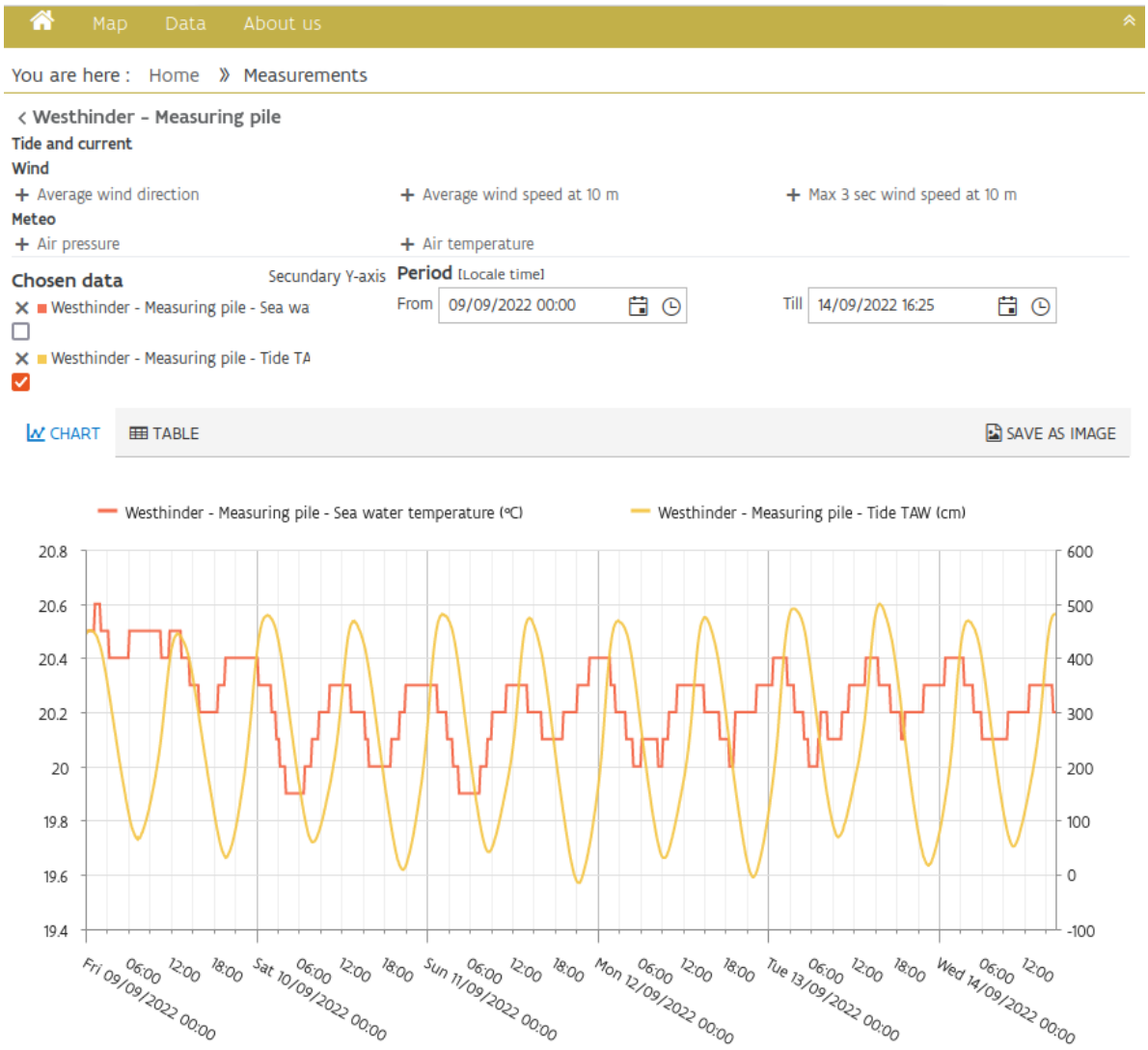
2.5.1.2 Meetpalen aan de kust

Overzicht

- Tijdsresolutie: 10-minuutswaarden
- Frequentie updates: real-time
- Tijdsspanne: afhankelijk van de meetpalen
    - MP0 en MP3: 1987-heden
    - MP7: 1994-heden
- Gebiedsbedekking: verschillende meetlocaties
- Databronnen:
    - Dataoverzicht en beschikbaarheid
    - Kaartoverzicht
    - Data via interactief dashboard
- Leverancier: Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust
- Formaat: txt-bestanden met tabel en vaste kolombreedtes

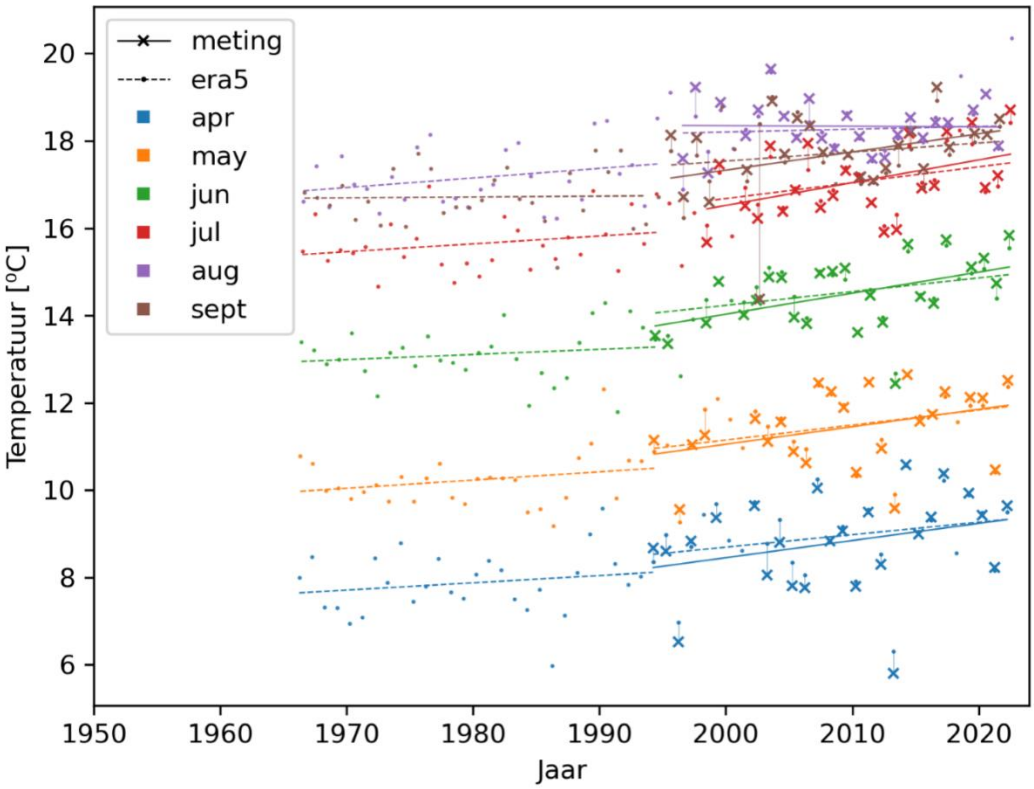
Beschrijving

Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust beschikt over een aantal vaste meetpalen aan de Belgische kust die de zeewatertemperatuur meten. Zo is er bv. de meetpaal ter hoogte van de Westhinder zandbank (MP7). Dit meetstation vervangt sinds halfweg de jaren negentig het lichtschip "De Westhinder". Westhinder meet de zeewatertemperatuur op met een conductiviteitssensor van het merktype Aanderaa 4120 met een meetnauwkeurigheid volgens de leverancier van 0.1°C en op een diepte van ongeveer 1.7m onder de referentiehoogte van de 'Tweede Algemene Wateraanpassing' (TAW).
De meetpalen zoals MP7 meten ook nog andere parameters op, waaronder getijhoogte, gemiddelde windsnelheid en windrichting, maximale windsnelheid, luchtdruk, luchttemperatuur. Een overzicht van databeschikbaarheid per site is te raadplegen. De beschikbaarheid van zeewatertemperatuur zelf is niet expliciet vermeld, maar deze is doorgaans beschikbaar zodra andere parameters beschikbaar zijn. De ruwe data kunnen afgehaald worden via het interactief dashboard, zie Figuur 2-4. Na registratie kan de gebruiker verschillende parameters selecteren en een specifiek tijdskader van meetgegevens. Onder Data – Download kan men vervolgens de data als tabel downloaden in een tekst-bestand (txt-extensie). De data zijn evenwel alleen te raadplegen per jaar. Voor lange-termijnreeksen is het dus aangewezen om rechtstreeks contact op te nemen met de data-eigenaar. De oorspronkelijke ruwe data zijn op 10-minuutsbasis (30-minuutsbasis voor de boeien), maar op vraag kunnen ook maandelijkse statistieken verkregen worden, incl. de temporele dekking van de metingen binnen elke maand.

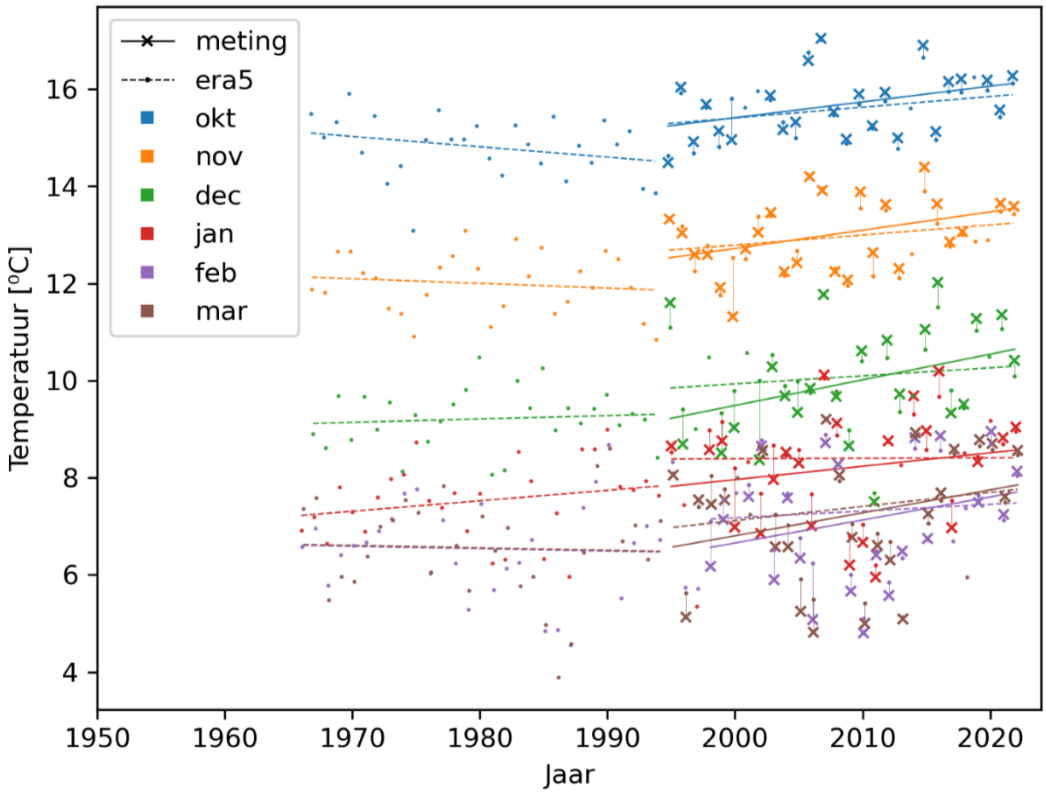


Figuur 2-4. Impressie van het interactief dashboard --- Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust.

De data uit boeien en meetpalen beperken zich tot enkele decennia, en het aantal meetplaatsen met continue meerjarige tijdreeksen is ook beperkt. Desondanks laten de langetermijn meetreeksen toe om de meerjarige evolutie van zeewatertemperatuur te gaan bekijken, bijvoorbeeld voor de meetpaal MP7 op Westhinder (zie Figuur 2-4 t.e.m. Figuur 2-6): Sinds 1994 wordt er daar een gemiddelde stijgende trend waargenomen van 0,038 °C/jaar, met een spreiding (standaarddeviatie) over de maanden van 0,014 °C/jaar.



Figuur 2-5. *Zeewatertemperatuur ter hoogte van Westhinder meetpaal MP7 (51.388N, 2.448E) op basis van metingen ter plaatse (kruisjes; zie sectie 2.5.1.2 voor details) en de klimaatreconstructie ERA5 (puntjes; zie sectie 2.5.1.4 voor details) voor de zomermaanden. Trends worden getoond voor de 28-jarige periode sinds de start van de metingen op Westhinder vanaf 1994 voor zowel de metingen (volle lijn) als ERA5 reanalyse data (stippellijn). Voor de ERA5 klimaatreconstructie die data omvat uit het verdere verleden wordt ook de trend (opnieuw in stippellijn) weergegeven voor de 28-jarige periode daarvoor (1966-1994).*



Figuur 2-6. *Idem als Figuur 2-4, maar voor de wintermaanden.*

2.5.1.3 Metingen in estuaria

Overzicht

- Tijdsresolutie: data om de 14 dagen gemiddeld
- Frequentie updates: real-time
- Periode beschikbaarheid: 1989 tot heden (afhankelijk van meetpunt)
- Ruimtelijke dekking: meetpunten in verschillende Estuaria
    - Databron: via VMM Geoloket Waterkwaliteit
- Leverancier: Vlaamse Milieumaatschappij
- Dataformaat: txt-bestanden met vaste kolombreedte

Beschrijving

De VMM doet metingen van waterkwaliteit op een 13-tal locaties (zie Tabel 2-47) van verschillende estuaria en daarbij horen ook metingen van watertemperatuur. Dit wordt gedaan in het kader van de Oslo-Parijs conventie sinds 1998 (OSPAR) ter bescherming van het mariene milieu in het noordoostelijk deel van de Atlantische oceaan. Er gebeuren ook meetcampagnes van zwemwaterkwaliteit, maar daarvan zijn geen metingen van temperatuur.

Tabel 2-47. *Sites met metingen oppervlaktewater van estuaria door VMM*

154100	TMONEBES	ZEESCHELDE - BENEDEN-ZEESCHELDE
6000	TMOIJLBP	LEOPOLDKANAAL

676000	TMOIJLBP	GROTE BEVERDIJKVAART - SLOPGATVAART - ST. MACHUITSBEEK - IEPJEBEEK - GROENBEEK
30000	TMOBSGKD	KANAAL GENT - TERNEUZEN
680000	TMOIJLBP	KANAAL PLASSENDALE-DUINKERKEN - KANAAL VAN NIEUWPOORT NAAR DUINKERKEN (BELGISCH GEDEELTE)
690900	TMOIJLBP	VLADSLOVAART
694000	TMOIJLBP	IEPERLEED - SLUISVAART - GRANINGATEGELEED - NIEUWGELEED - BEDELF
765007	TMOIJLBP	AFLEIDINGSKANAAL VAN DE LEIE - AFLEIDINGSKANAAL DER LEIE - SCHIPDONKKANAAL
770000	TMOIJLBP	KANAAL VAN GENT NAAR OOSTENDE
816000	TMOIJLBP	KANAAL BRUGGE- ZEEBRUGGE - BOUDEWIJNKANAAL - KANAAL BRUGGE - ZEEBRUGGE
856500	TMOIJLBP	KANAAL PLASSENDALE-DUINKERKEN - KANAAL VAN PLASSENDALE NAAR NIEUWPOORT
877000	TMOIJLBP	BLANKENBERGSEVAART
910000	TMOIJLBP	IJZER - HAVEN VAN NIEUWPOORT

De watertemperatuur (en andere waterkwaliteitsdata) kan worden bekomen met de stappen hieronder. De data is echter moeilijk in te lezen in data-analysesoftware (bv. R of Python Pandas) vanwege het onregelmatige tabelformaat. Het is daarom aan te raden om de data rechtstreeks op te vragen via de contactpersoon.

Procedure van afhalen metingen:

- Ga naar Geoloket
- Klik 'Ga naar het Geoloket waterkwaliteit'
- Selecteer in 'zoek naar' – meetplaatsen
- Meetplaatsnummer invoeren in het zoekveld en van de 'lagen' en enkel de kaartlagen Oppervlaktewater en Fysische gegevens aanklikken.
- Klik 'opzoeken'
- Klik op het groene meetplaats-icoontje op de kaart
- Klik in het nieuwe venster op 'Analyseresultaten per meetplaats'
- Selecteer de jaren + klik op 'voltooien'
- Er wordt een tabel aangemaakt
- Exporteer tabel door te klikken op het driehoekje linksboven 'excel uitvoeren'.

Via www.waterinfo.be/meetreeksen zijn er ook tijdsreeksen voor oppervlaktewatertemperatuur beschikbaar, maar daarin zijn enkel de meetplaatsen hydrologie (voor waterpeil en debiet) opgenomen, zowel voor de bevaarbare waterlopen (meetresultaten HIC) als voor de onbevaarbare waterlopen (meetresultaten VMM). Enige voorzichtigheid dient te worden geboden en mogelijks zijn de metingen niet geheel representatief voor de watertemperatuur. Zo zijn de meetresultaten niet betrouwbaar voor de waarden "0 °C" daar ze op 'geen meetresultaat' wijzen.

2.5.1.4 Klimaatreconstructie ERA5

Overzicht

- Tijdsresolutie: uurlijks of maandelijks
- Ruimtelijke resolutie: 0,25° x 0,25° (~ 25 km x 25 km)
- Gebiedsdekking: globaal

- Tijdspanne: 1959 - heden
- Frequentie updates: wekelijks/maandelijks
- Databronnen:
    - Maandelijkse data
    - Uurlijkse data
- Leverancier: Copernicus Climate Change Service (C3S) - data beschikbaar in de C3S Climate Data Store. ECMWF coördineert C3S als 'Entrusted Entity' van Copernicus.

Op basis van globale op kwaliteit gecontroleerde meetnetwerken, satellietwaarnemingen en computermodellering bestaan er ook globale kaarten van zeewatertemperatuur. Zo'n product bij uitstek is ERA5, een reconstructie van het weer en klimaat sinds 1959. ERA5 combineert modelgegevens met een uitgebreide reeks op kwaliteit gecontroleerde waarnemingen en biedt een wereldwijd volledige en consistente dataset en wordt beschouwd als een goede proxy voor waargenomen atmosferische omstandigheden. ERA5 maakt deel uit van de Copernicus Climate Change Service (C3S), en de data is gratis beschikbaar in de Climate Data Store.

Wat betreft zeewatertemperatuur integreert ERA5 de gegevens van de hadSST4 globale dataset (Hirahara et al., 2016; Kennedy et al., 2019; Rayner et al., 2003). Op haar beurt combineert dit product in situ observaties van schepen en boeien met satellietbeelden van de radiometersensoren "Along-Track Scanning Radiometers" (ATSRs; Christopher et al., 2012). De resolutie van dit product bedraagt 0.25^{o} x 0.25^{o} (~ 25 km x 25 km). Dit heeft de implicatie dat dit product uitsluitend voor zeewater en oceanen geschikt is, dus niet voor oppervlaktetemperatuur van estuaria of rivieren. Daarvoor zijn we vooralsnog aangewezen op lokale metingen. De ERA5 gegevens kunnen worden vergeleken met deze van de meetpalen aan onze kust, zie wederom Figuur 2-5 en Figuur 2-6. Er kan daarbij een schatting gemaakt worden van de afwijking t.o.v. de werkelijke zeewatertemperatuur zoals gemeten door de meetpalen. Op maandniveau blijkt er een correlatie (Pearson correlatiecoëfficiënt) van 0.995, een algemene gemiddelde afwijking (bias) van 0.05 ^{o}C, en een gemiddelde fout (RMSE Root Mean Square Error) van 0.41 ^{o}C. Hoewel dit product eerder indirecte meetgegevens zijn, geven deze scores aan dat dit product een realistisch beeld geeft van de zeewatertemperatuur.
Evenals de metingen van de meetpalen en boeien laten deze data ook toe om te kijken naar de evolutie van het zeewater over meerdere jaren, zie eveneens Figuur 2-5 en Figuur 2-6. Het laat ons verder ook toe om nog verder terug te kijken in het verleden vanaf 1959. Zo kan er worden opgemerkt dat de zeewatertemperatuur voor de laatste 28 jaar (1994-2022) beduidend hoger is dan in de periode daarvoor (1966-1994), en dat is iets wat met de meetgegevens van de meetpaal niet kan worden afgeleid vanwege de beperkte meetperiode. Evenals bij de boeimetingen wordt er de laatste 28 jaar een duidelijke trend waargenomen, terwijl de ERA5 gegevens aangeven dat er voor de eerdere periode (1966-1994) nog geen duidelijke trend was.
Het is evenwel zo dat de gemiddelde evolutie sinds 1994 volgens ERA5 wat lager uitvalt dan deze volgens de metingen, met name 0.021^{o}C/jaar. Dat is dus 0.017 ^{o}C/jaar minder, dan deze volgens de metingen van de meetpalen. De verschillen in trends tussen de metingen en ERA5 zijn groter voor de winter dan voor de zomer en dienen verder te onderzocht, maar ze geven alvast een indicatie van de algemene foutenmarge op de evolutie van zeewatertemperatuur. Een mogelijke reden van de verschillen is dat gegevens van ERA5 representatief zijn voor een groter zeeoppervlak van de gridcel van 0.25^{o} x 0.25^{o} (~25km x 25km), terwijl de boeimetingen onderhevig zijn aan bijkomende lokale effecten nabij de kustlijn. Deze hypothese wordt ondersteund door het feit dat de meetpaalgegevens een iets hogere spreiding (standaardafwijking: 4,10 ^{o}C) vertonen dan de ERA5-gegevens (3,98 ^{o}C). Nog een ander verschil is dat de metingen op Westhinder op zekere diepte

gebeuren naargelang de getijden, terwijl de era5 reconstructie refereert naar de temperatuur van het wateroppervlak.

Tot slot kan worden opgemerkt dat het product ERA5 gebiedsdekkend is zonder datagaps, en dus toelaat om gelijkaardige continue tijdsreeksen te leveren op andere locaties aan de kust en de Noordzee of elders ter wereld.

2.5.1.5 Klimaatprojecties

Overzicht

- Tijdsresolutie: maandelijks
- Gebiedsdekking: globaal
- Tijdspanne: 1950 – 2100, verschillende scenario's, en voor verschillende atmosfeer–oceaancirculatiemodellen
- Ruimtelijke resolutie: varieert tussen 0,5^{o} x 0,5^{o} en 3° x 3° (afhankelijk van model)
- Frequentie updates: statisch
- Databronnen:
    - CMIP5 projecties: ruwe data of gebiascorrigeerde data door VITO
    - CMIP6 projecties: ruwe data
- Leverancier: Copernicus Climate Change Service (C3S) - data beschikbaar in de C3S Climate Data Store. ECMWF coördineert C3S als de "Entrusted Entity" van Copernicus.

Beschrijving
Klimaatprojecties van het IPCC kunnen helpen om inschattingen te doen naar de toekomst. Zeewatertemperatuur wordt gemodelleerd door oceaancirculatiemodellen te koppelen aan atmosfeermodellen. Maandelijkse projecties van zeewatertemperatuur zijn beschikbaar in het CMIP5 (en CMIP6) archief vanaf midden vorige eeuw (1950) tot eind deze eeuw (2100) of langer en voor verschillende scenario's. Deze werden gebiascorrigeerd op basis van de voornoemde ERA5 klimaatreconstructie door VITO binnen het C3S biodiversity project waarvoor 10 CMIP5 modellen voor de periode 1950-2100 beschikbaar zijn. De dataset kan op vraag geüpdatet worden naar de laatste CMIP6 projecties.

2.5.2 Brandwaarschuwingsindex

Momenteel rapporteert het Agentschap Natuur en Bos (ANB) per provincie het brandgevaar via een brandwaarschuwingsindex. Hiervoor wordt in eerste instantie de Fire Weather Index (FWI) gebruikt. Deze index werd ontwikkeld door het Canadees Wildlife Forest Fire Weather Index System (CWFIS) en gebruikt weer- en klimaatgegevens. Voor het laatste kan men dan zowel historische tijdsreeksen aanwenden (weerstations, re-analyse ERA5…), maar ook klimaatvoorspellingen, seizoens-weersvoorspellingen (Copernicus).

Het is een meteorologische index die rekening houdt met het effect van brandstofvochtigheid en weersomstandigheden op het brandgedrag. Voor de berekening van de index zijn dagelijkse middagwaarden van de luchttemperatuur, de relatieve vochtigheid, de windsnelheid en de 24 uur gecumuleerde neerslag nodig. Momenteel wordt brandgevaar door ANB reeds opgevolgd met

behulp van voorspellingen van deze FWI-index voor de komende 9 dagen vanuit het European Forest Fire Information System (EFFIS), zie sectie 2.5.2.1.

De FWI-index wordt in kaart gebracht in 6 klassen (zeer laag, laag, gemiddeld, hoog, zeer hoog en extreem) die afhankelijk is van zijn waarde. De brandgevaarklassen zijn dezelfde voor alle landen en de kaarten geven een beeld van de ruimtelijke spreiding van het brandgevaarniveau in Europa, het Midden-Oosten en Noord-Afrika. De waarden voor de FWI en de subcomponenten ervan worden gegeven in Tabel 2-5.

Tabel 2-48. *De klasses voor vuurgevaar volgens FWI en de subcomponenten. Bron: EFFIS.*

Fire Danger Classes	FWI	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI
Very Low	FWI < 5.2	FFMC < 82.7	DMC < 15.7	DC < 256.1	ISI < 3.2	BUI < 24.2
Low	5.2 >= FWI < 11.2	82.7 >= FFMC < 86.1	15.7 >= DMC < 27.9	256.1 >= DC < 334.1	3.2 <= ISI < 5.0	24.2 <= BUI < 40.7
Moderate	11.2 >= FWI < 21.3	86.1 >= FFMC < 89.2	27.9 >= DMC < 53.1	334.1 >= DC < 450.6	5.0 <= ISI < 7.5	40.7 <= BUI < 73.3
High	21.3 >= FWI < 38.0	89.2 >= FFMC < 93.0	53.1 >= DMC < 140.7	450.6 >= DC < 749.4	7.5 <= ISI < 13.4	73.3 <= BUI < 178.1
Very High	38.0 >= FWI < 50.0	FFMC>=93.0	DMC>=140.7	DC>=749.4	ISI>=13.4	BUI>=178.1
Extreme	FWI >=50.0					

De FWI-index is geen sluitende parameter. Veel hangt af van de aard van de natuur. De FWI-index is ontworpen voor boslandschappen, daardoor is deze iets minder geschikt voor bv. heide. Ook zijn naaldwouden brandgevoeliger dan loofbossen. ANB houdt rekening met de duur van het aangekondigde droge weer en andere aspecten die onrechtstreeks verbonden zijn met brandgevaar zoals bevolkingsdichtheid, vakantieperiodes, evenementen en verwachte recreatie (bv. barbecue). Het is pas na interpretatie van verschillende informatiebronnen en overleg met mensen op het terrein dat een uiteindelijke brandwaarschuwingsindex wordt uitgevaardigd door ANB op basis van kleurcodes ter preventie van natuurbranden[7].

2.5.2.1 Voorspellingen van het European Forest Fire Information System (EFFIS)

Overzicht

- Ruimtelijke dekking: Europa
- Ruimtelijke Resolutie:
  - FWI op basis van ECMWF-data: 8 km
  - FWI op basis van Meteo France data: 10 km
- Tijdsspanne:
  - FWI op basis van ECMWF-data: historiek tot 1990, voorspelling van 1 tot 9 dagen vooruit
  - FWI op basis van Meteo France data: historiek tot 1990, voorspelling van 1 tot 3 dagen vooruit
- Tijdsresolutie: dagwaarden
- Frequentie updates: dagelijks
- Databronnen: EFFIS kaarten
- Eigenaar: Copernicus Emergency Management Service van de Europese Commissie
- Contactpersonen:
  - expert persoon bij ANB
  - EFFIS: jrc-effis@ec.europa.eu

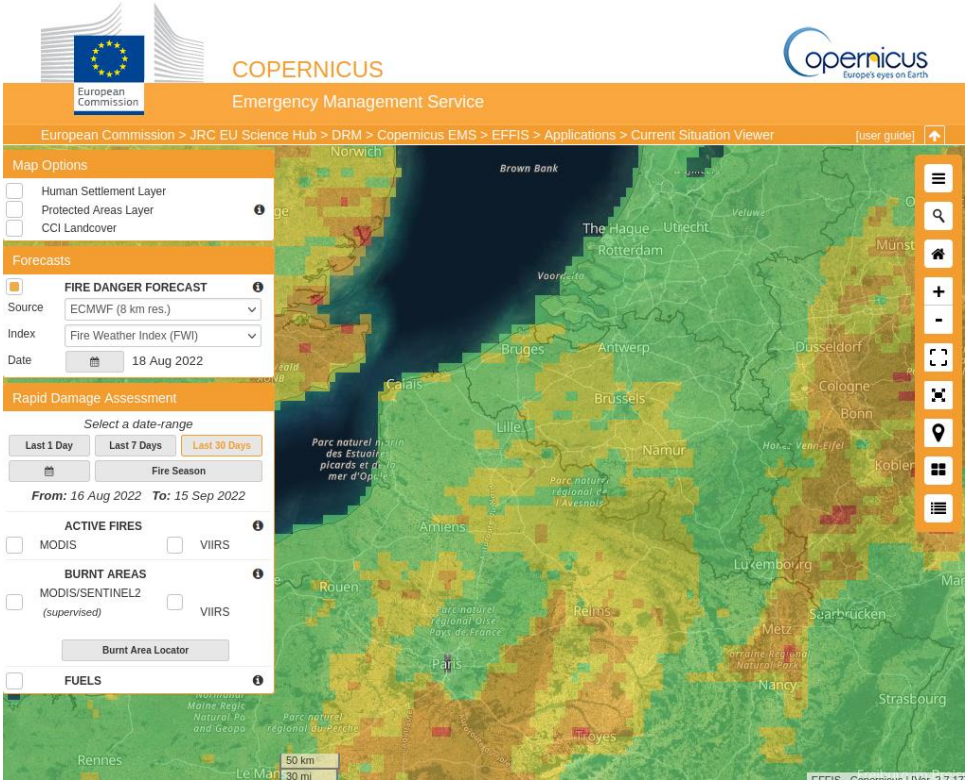
[7] https://www.natuurenbos.be/brandpreventie-natuur-en-bosgebieden-op-basis-van-kleurcodes

Beschrijving
Het "European Forest Fire Information System" (EFFIS) ondersteunt de diensten ter bescherming van de bossen tegen branden in de Europese Unie en de buurlanden, en voorziet diensten van de Europese Commissie en het Europees Parlement met actuele en betrouwbare informatie over bosbranden in Europa.

Sinds 1998 wordt EFFIS ondersteund door een netwerk van deskundigen uit de landen in de zogenaamde deskundigengroep 'Bosbranden', die onder het secretariaat-generaal van de Europese Commissie valt. Momenteel bestaat deze groep uit deskundigen uit 43 landen in Europa, het Midden-Oosten en Noord-Afrika. Na een testfase van 5 jaar waarin verschillende nationale brandgevaarindices in EFFIS werden toegepast, heeft het EFFIS-netwerk in 2007 het Canadese Forest Fire Weather Index (FWI) systeem aangenomen als methode om het brandgevaar in heel Europa op geharmoniseerde wijze te beoordelen. Gezien de verschillende klimaatomstandigheden in Europa publiceert EFFIS twee indicatoren die informatie verschaffen over de lokale/temporele variabiliteit van de FWI in vergelijking met een historische reeks van ongeveer 30 jaar. Deze indicatoren zijn de rangorde, die percentielen geeft van het voorkomen van de waarden, en de anomalie, berekend als standaardafwijking van de historische gemiddelde waarden over 30 jaar. Deze indices zijn beschikbaar in het pull down menu van het gedeelte over brandgevaar in het Dashboard (zie Figuur 2-7). In 2015 werd EFFIS een van de onderdelen van de Emergency Management Services in het Copernicus-programma van de EU.

Momenteel biedt de module brandgevaarvoorspelling van EFFIS-toegang tot brandgevaarindices op basis van numerieke weersvoorspellingen van twee atmosfeermodellen, met name ECMWF (horizontale resolutie 8 km; tot 9 dagen vooruit) en MeteoFrance (horizontale resolutie 10 km; tot 3 dagen vooruit). Ze zijn beiden te visualiseren met het pull-down menu van de EFFIS-dashboard, zie Figuur 2-7.

De documentatie en code (zie ook *Wang et al., 2015*) voor de berekening van FWI en andere indicatoren voor brandgevaar zijn vrij beschikbaar. De code kan gebruikt worden om de indices te berekenen. We kunnen dus brandgevaar ook op basis van eender welke andere bron van weer- en klimaatgegevens berekenen, inclusief lokale weerstations, hoge resolutie klimaatmodellering of klimaatprojecties.



Figuur 2-7. *Impressie van de EFFIS dashboard --- Copernicus Emergency Management Service.*

Vanwege de belangstelling van landen om de prestaties van de FWI te vergelijken met andere relevante brandgevaarindices, zijn in 2019 de Australische McArthur Forest Fire Danger Index (MARK-5), de Keetch-Byram Drought Index (KBDI) en het National Fire Danger Rating System (NFDRS) beschikbaar gesteld via de EFFIS Fire Danger Forecast module.

2.5.2.2 Historische data van het European Forest Fire Information System (EFFIS)

Overzicht

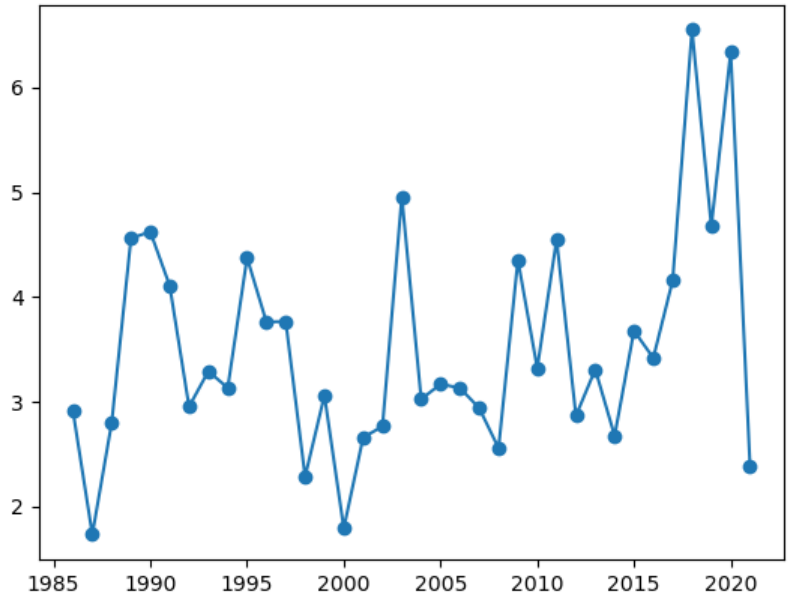
- Ruimtelijke dekking: globaal
- Resolutie: 0.25^{o} (~25 km)
- Tijdspanne: januari 1979 - maart 2022 (wordt regelmatig geüpdatet)
- Frequentie: Dagelijks
- Databronnen: Dataset "Fire danger indices historical data from the Copernicus Emergency Management Service" beschikbaar in de Climate Data Store van C3S (netCDF-formaat)
- Eigenaar: Copernicus Emergency Management Service van de Europese Commisie
- Contactgegevens: jrc-effis@ec.europa.eu

Beschrijving

Deze dataset biedt een globale historische reconstructie van indicatoren voor brandgevaar, inclusief de FWI-index. De verstrekte brandgevaarindices maken, net zoals de voorspellingen, ook deel uit van een uitgebreide dataset die door de Copernicus Emergency Management Service is geproduceerd door EFFIS. In deze dataset worden de brandgevaarindices berekend aan de hand van de historische klimaatreconstructie ERA5. ERA5 combineert modelgegevens met een uitgebreide reeks op kwaliteit gecontroleerde waarnemingen, biedt een wereldwijd volledige en consistente dataset en wordt beschouwd als een goede proxy voor waargenomen atmosferische omstandigheden. De

geselecteerde gegevensrecords in deze dataset worden systematisch uitgebreid naarmate ERA5-klimaatgegevens beschikbaar komen.

Op basis van deze dataset kan de meerjarige evolutie van de FWI-index verkregen worden als indicator voor weercondities met mogelijk natuurbrandgevaar, zie Figuur 2-8.



Figuur 2-8. *Jaargemiddelde Fire Weather (FWI) index voor Vlaanderen als indicator van weercondities met mogelijk natuurbrandgevaar op basis van ERA5 reanalyse data – Bron:* https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cems-fire-historical.

2.5.2.3 Klimaatprojecties van het European Forest Fire Information System (EFFIS)

Overzicht

- Tijdsresolutie: dagwaarden, seizoenswaarden, en jaarlijkse waarden
- Gebiedsdekking: Europa
- Tijdspanne: 1970 – 2098, verschillende scenario's, en voor verschillende atmosfeer–oceaancirculatiemodellen
- Ruimtelijke resolutie: 0,11° x 0,11°
- Frequentie updates: statisch
- Databronnen:
    - CMIP5 projecties: ruwe data of gebiascorrigeerde data door VITO
    - CMIP6 projecties: ruwe data
- Leverancier: Copernicus Climate Change Service (C3S) - data beschikbaar in de C3S Climate Data Store. ECMWF coördineert C3S als de "Entrusted Entity" van Copernicus.

Beschrijving

De dataset bevat prognoses van brandgevaarlijke indicatoren voor Europa op basis van het Canadese Fire Weather Index System (FWI) voor de toekomstige RCP-scenario's op basis van EURO-CORDEX Europese regionale klimaatsimulaties. Deze indicatoren omvatten het aantal dagen met matig, hoog of zeer hoog brandgevaar zoals geclassificeerd door het European Forest Fire Information System (EFFIS) tijdens het brandseizoen op het noordelijk halfrond (juni-september).

Deze dataset kan dienen om toekomstige brandgevaarlijke omstandigheden voor regio's in heel Europa te beoordelen om het risico van bosbranden op infrastructuur in de natuur te verminderen. Vier verschillende klimaatscenario's worden gehanteerd: het huidige klimaat (aangeduid als "historisch") en drie RCP-scenario's (Representative Concentration Pathway) opgenomen in het IPPC AR5 report. De laatste komen overeen met het optimistisch emissiescenario RCP2.6 waarin de emissies na 2020 beginnen af te nemen, het scenario RCP4.5 waarin de emissies na 2040 beginnen af te nemen, en het pessimistisch scenario RCP8.5 waarin de emissies de hele eeuw blijven toenemen. Historische simulaties, voor de periode 1970-2005, zijn opgenomen als referentie voor de FWI-index.

2.5.3 Oppervlakte afgebrande gebieden per jaar

2.5.3.1 Rapid Damage Assessment (RDA) op basis van satellietgegevens van het European Forest Fire Information System (EFFIS)

Overzicht

- Ruimtelijke dekking: Europa
- Resolutie:
  - MODIS/Sentinel-2: 250 m
  - VIIRS: 375 m
- Temporele dekking:
  - MODES/Sentinel-2: sinds 2003
  - VIIRS: sinds 2016
- Frequentie: 2 keer per dag
- Databronnen: kaarten
- Eigenaar: Copernicus Emergency Management Service van de Europese Commissie
- Contactpersoon: jrc-effis@ec.europa.eu

Beschrijving

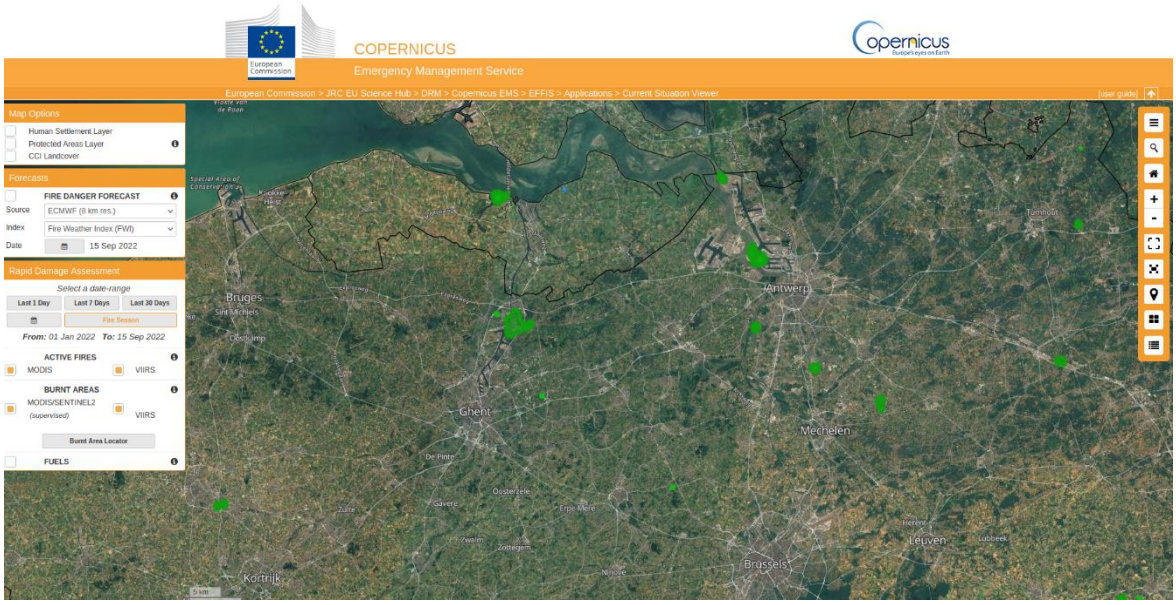
De module Rapid Damage Assessment (RDA) van EFFIS werd in 2003 ingevoerd om verbrande gebieden tijdens het brandseizoen in kaart te brengen door dagelijkse MODIS-beelden met een ruimtelijke resolutie van 250 m te analyseren. Voor de monitoring van verbrande gebieden tijdens de zomer worden dagelijks beelden van de MODIS-instrumenten aan boord van de TERRA- en AQUA-satellieten verworven en enkele uren na de verwerving verwerkt. Tussen 2003 tot 2017 zorgde de Rapid Damage Assessment voor de dagelijkse update van afbakening van verbrande gebieden in Europa voor branden van ongeveer 30 ha of groter, twee keer per dag. Sinds 2018 kunnen dankzij het gebruik van Sentinel-2-beelden ook branden onder de drempel van 30 ha worden opgespoord en naar schatting vertegenwoordigen de in EFFIS in kaart gebrachte gebieden ongeveer 95% van het totale gebied dat jaarlijks in de EU in brand staat.

Sinds 2016 bevat de RDA de kartering van actieve branden en verbrande gebieden van de VIIRS-sensor aan boord van de NASA Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP) en de NOAA-20, waardoor de kaarten van verbrande gebieden nog één keer per dag kunnen worden bijgewerkt.

Het brandafbakeningsproces omvat de afbakening van de omvang van bosbranden op basis van de semi-automatische classificatie van MODIS-satellietbeelden met behulp van aanvullende ruimtelijke datasets. Tussen 2000 en 2002 is het gebruik van MODIS-gegevens voor het in kaart brengen van verbrande gebieden in Europa getest, en de eerste kaart van verbrande gebieden met behulp van deze beelden is in 2003 verkregen. Tot dan toe werden kaarten van de brandomtrek (verbrande

gebieden) alleen verkregen aan het eind van de brandcampagne, d.w.z. eind september/oktober. Na 2003 werd de verwerkingsketen verder geautomatiseerd om de MODIS-gegevens in bijna-real-time te verwerken. Dagelijks worden twee volledige beeldmozaïeken van het Europese grondgebied in EFFIS verwerkt om er kaarten van afgebrande gebieden uit af te leiden. Bovendien worden sinds 2018 Sentinel-2-beelden gebruikt om branden in kaart te brengen, waardoor branden van minder dan 30 ha in kaart kunnen worden gebracht en de uiteindelijke omtrek van de branden die aanvankelijk op basis van 250 m-beelden van MODIS in kaart waren gebracht, kan worden verfijnd. De branden worden gekarteerd volgens een semi-automatische procedure. Branden worden eerst in kaart gebracht op basis van een ongesuperviseerde procedure die gebruik maakt van een combinatie van banddrempels en aanvullende informatie uit CORINE Land Cover, het product voor de detectie van actieve branden uit MODIS en VIIRS, en de brandnieuwsapplicatie. Branden die volgens de procedure zonder toezicht in kaart zijn gebracht, worden visueel gecontroleerd en gecorrigeerd door visuele interpretatie van de MODIS- en Sentinel-2-beelden.

De data dienen evenwel met enige voorzichtigheid benaderd te worden. Er zitten een aantal vals positieve brandhaarden in, zoals in havens, militaire plaatsen en ter hoogte van serres (pers. com. Jurgen Rombaut). Figuur 2-9 hieronder toont een voorbeeld van vals positieve brandhaarden door EFFIS in Vlaanderen tijdens de afgelopen zomer van 2022.



Figuur 2-9. *Impressie van dashboard die mogelijke afgebrande gebieden afbakent van de afgelopen zomer.*

In Vlaanderen is er geen operationeel monitoringssysteem van natuurbranden. Voor de regionale staathervorming werden er door boswachters van Waters en Bossen standaardrapporten opgesteld. Deze procedure is evenwel in verval geraakt. Voor de monitoring ervan kan EFFIS gebruik worden maar mits verificatie door mensen op het terrein (natuurbeheerders).

2.5.4 Blootgestelde bevolking aan rookpluim natuurbrand

De indicator **blootgestelde bevolking aan rookpluim natuurbrand** is veel complexer.
Het meetnet van de Vlaamse Milieumaatschappij verschaft puntmetingen voor het detecteren van fijnstof over gans Vlaanderen. Dit meetnet is echter te grofmazig om accidentele rookpluimen te kunnen onderscheiden. Een oplossing is het gebruik van bijkomende fijn stof metingen via sensoren

geïnstalleerd bij burgers. In Vlaanderen zijn een groot aantal fijn stof sensoren van het citizen-science project Sensor.Community geïnstalleerd (zie beschrijving sectie hieronder).

Een andere aanpak is het gebruik van atmosferische dispersiemodellering waarbij op basis van weerdata en inschattingen van de bronterm van de brand het gebied onder de rookpluim (en de blootgestelde bevolking) kan gemodelleerd worden. De bronterm moet de brand specifiëren naar locatie, grootte, type (heide, naaldbos, loofbos, ...) en evolutie van de intensiteit. Hierbij kunnen ook meetgegevens van bij Sensor.community geassimileerd worden om de onzekerheid op de bronterm te reduceren. Extra onderzoek is nodig of dit realistisch is of niet. De warmte-inhoud en de mogelijks grote oppervlakte van een natuurbrand maakt de modellering uitdagend.

2.5.4.1 Meetnet sensor.community

Overzicht

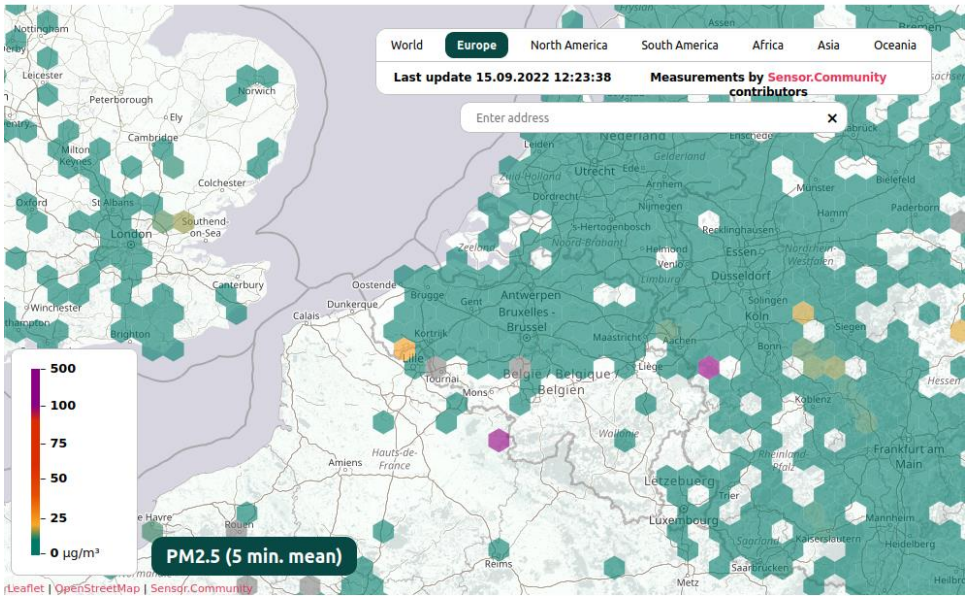
- Ruimtelijke dekking: Omvat een 500-tal locaties in Vlaanderen
- Tijdsdekking: Afhankelijk van meetpunten
- Tijdsresolutie: minuutwaarden
- Contactgegevens: contact@sensor.community
- Databron
- Updates: real-time

Beschrijving

Sensor.community is een verzameling van meetgegevens die wordt verzameld door particulieren, en zijn allen rechtstreeks en in real-time beschikbaar op het webportaal (zie Figuur 2-10). Elk van de sensoren meet PM2.5.

IRCEL haalt de data van Sensor.Community (vroeger Luftdaten) continu voor gans België binnen sinds meer dan een jaar. Dit gebeurt via de public end point van Sensor.Community. Het gebruik van deze data in het kader van het Europese Life VAQUUMS-project is toegelicht in een korte video. Daarnaast heeft IRCEL ook een API ontwikkeld om de data te bevragen. Die gebruiken ze zodat burgers hun metingen laagdrempelig kunnen visualiseren en vergelijken met officiële metingen.

IRCEL heeft voor de case brand groot Schietveld een test uitgevoerd met de Sensor.Community data. In deze test werd de toegevoegde waarde aangetoond van deze low-cost fijnstofsensoren naar haalbaarheid om rookpluimen te helpen visualiseren.



Figuur 2-10. *Dashboard van het sensor.community netwerk.*

2.5.5 UV-index

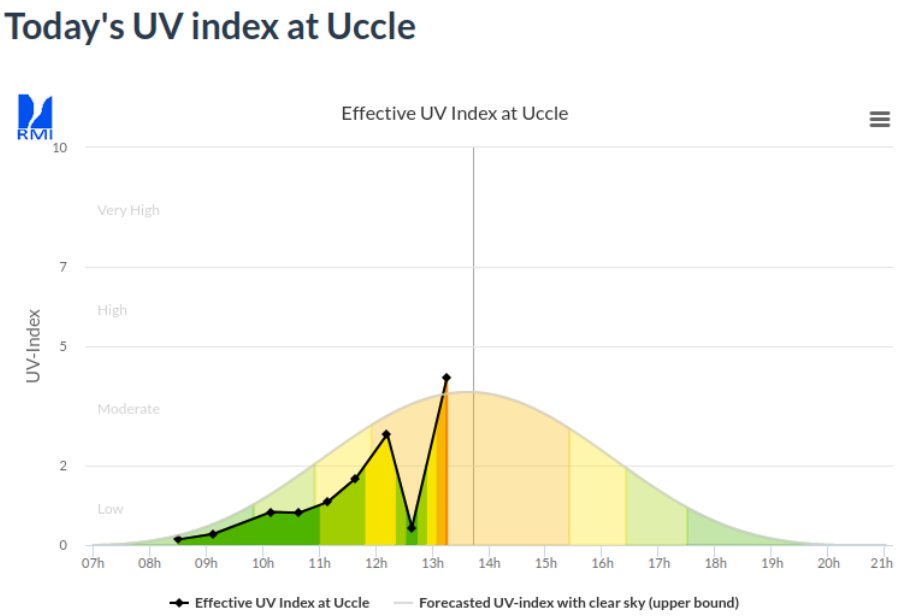
2.5.5.1 UV Spectrometrie van het KMI

Overzicht

- Eigenaar: KMI
- Frequentie: uurlijks
- Gebiedsdekking: Ukkel meetlocatie
- Links:
    - Data via KMI-opendata website (data momenteel niet beschikbaar)
    - Via World Ozone and Violet Radiation Data Centre (slechts data beschikbaar tussen 1990-2015)
    - Dagelijkse grafiek

Beschrijving

Het KMI voert operationeel metingen voor UV straling met een Brewer-spectrofotometer. Hieruit wordt vervolgens een UV-index berekend. Voor de komende dag wordt ook een voorspeling van de (clear-sky) UV-index voorzien. Deze zijn real-time raadpleegbaar als afbeeldingen via de KMI-website. Momenteel is de data nog niet beschikbaar op het KMI-opendata portaal maar dit zou in de toekomst beschikbaar moeten komen.



Figuur 2-11. *Voorbeeld van dagwaarden en voorspelling van de UV-index. Bron: KMI.*

2.5.5.2 Voorspellingen van het Copernicus Atmospheric Monitoring Service (CAMS)

Overzicht

- Tijdsfrequentie: dagelijkse updates
- Tijdsbedekking: voorspellingen voor de 4 volgende dagen
- Gebiedsdekking: Europa
- Contact: ECMWF-supportpagina
- Links:
    - CAMS (kaarten)
    - European Health observatory (kaarten)

Beschrijving

Voorspellingen van de UV-index voor de komende 4 dagen worden geleverd door het Copernicus Atmospheric Monitoring Service (CAMS). Deze worden geleverd als kaarten en grafieken onder de weblink in het overzicht.

De CAMS levert een groot aantal atmosferische parameters van hun voorspellingen, maar jammer genoeg (nog) niet de onderliggende data van de UV-index. De atmosferische parameters zijn eveneens niet afdoende om de UV-index uit af te leiden. Er is bv. de parameter UV-straling, maar deze is gewogen volgens de CIE-actie spectrum (Commission Internationale de l'Eclairage). Hetzelfde geldt voor de historische analyses EEG4 sinds 2003 en ERA5 sinds 1959.

2.5.6 Neerslagtekort in lente, zomer en herfst

Verschillende databronnen zijn beschikbaar voor neerslagtekort en de berekening ervan met overzicht wordt gegeven in de subsecties hieronder. Momenteel is al de beschikbare data niet volledig afgestemd op de tekenproblematiek, t.t.z. er zijn geen aparte seizoenswaarden voor lente, zomer en herfst. Een herberekening met behulp van de verschillende databronnen hieronder is evenwel mogelijk.

2.5.6.1 Metingen te Ukkel

Overzicht

- Eigenaar: berekening door VMM, metingen door KMI
- Tijdspanne: 1901 tot heden (laatste update november 2021)
- Frequentie:
    - VMM-indicatordata: jaarlijkse waarden
    - KMI ruwe meteodata: 10-minuutswaarden
- Gebiedsdekking: Ukkel meetsite
- Databronnen:
    - VMM-indicatoren neerslagtekort
    - KMI ruwe data

Beschrijving

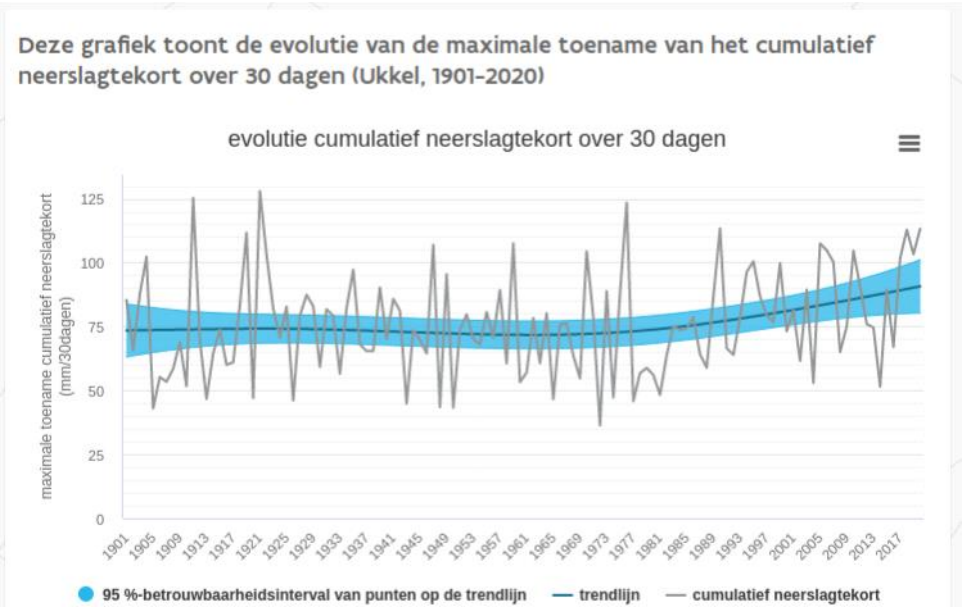
Een berekening van het neerslagtekort is mogelijk op basis van de metingen te Ukkel sinds 1900 voor temperatuur, vochtigheid, windsnelheid en neerslag. De nodige dagelijkse data voor Ukkel is beschikbaar via het opendata.meteo.be portaal.

Voor de periode 1901-2020 voorziet de VMM een viertal jaarlijkse indicatoren als indicatorfiche 'Neerslagtekort' (https://www.vmm.be/water/droogte/neerslagtekort), met name:

- Maximale toename van het cumulatief neerslagtekort over 30 dagen (zie Figuur 2-12)
- Maximale toename van het cumulatief neerslagtekort over 90 dagen
- Evolutie van maximaal neerslagtekort over 30 dagen
- Opbouw van het 5-jaarlijkse cumulatief neerslagtekort doorheen het groeiseizoen.

Deze worden door VMM jaarlijks geactualiseerd, telkens in de loop van het najaar tot jaar X-1. Er wordt hierbij telkens vertrokken van KMI-dagwaarden voor Ukkel m.b.t. neerslag en potentiële evaporatie op gras, en waarbij rekening wordt gehouden met de stralingsbalans tijdens de dag (Bultot et al., 1983).

Met de meetwaarden op dagbasis is een herrekening naar seizoenen mogelijk, maar dit is alsnog niet gepland door VMM gezien de focus van hun indicatorfiche de droogteproblematiek betreft tijdens het groeiseizoen (begin april tot eind september).



Figuur 2-12*: Evolutie van de maximale toename van het cumulatief neerslagtekort over 30 dagen voor de jaren 1901-2020 – Bron: VMM op basis van metingen KMI te Ukkel* - Bron: https://www.vmm.be/water/droogte/neerslagtekort.

2.5.6.2 Synoptische stations van het KMI (SYNOP)

Overzicht

- Frequentie: 10-minuutswaarden
- Tijdsspanne: 1952 tot heden; beschikbaarheid afhankelijk van station tot station
- Dekkingsgebied: 29 meetlocaties verspreid over België
- Databron: opendata.meteo.be (momenteel slechts data tussen 1998 en 2007)
- Eigenaar: KMI

Beschrijving

Het synoptisch netwerk van het KMI bestaat momenteel uit 30 stations, waarvan 13 van het KMI zelf, 8 van MeteoWing, 8 van Skeyes, en nog 1 station in het buitenland. Hiervan vallen een 10-tal stations binnen Vlaams grondgebied. Net zoals voor Ukkel kan het neerslagtekort berekend worden afhankelijk van de beschikbare data per station voor temperatuur, vochtigheid, windsnelheid en neerslag.

2.5.6.3 Automatische weerstations (AWS)

Overzicht

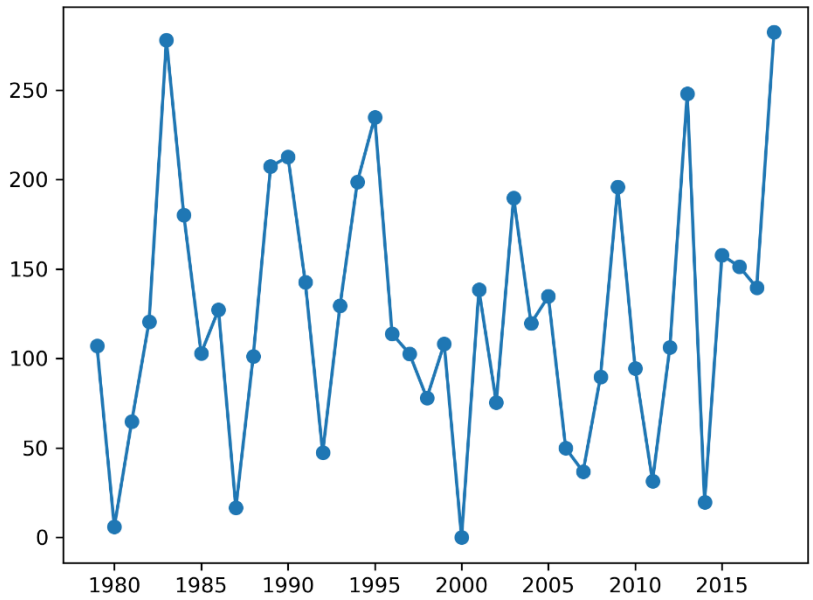
- Frequentie: 10-minuutswaarden
- Gebiedsdekking: 17 automatische weerstations gespreid over België
- Tijdsspanne: sinds 2017 tot heden; beschikbaarheid afhankelijk van station tot station
- Databron: opendata.meteo.be
- Eigenaar: KMI

Het KMI beheert een netwerk van 17 automatische weerstations in België. Ook met deze data kan neerslagtekort berekend worden afhankelijk van de beschikbare data per station voor temperatuur, vochtigheid, windsnelheid en neerslag.

2.5.6.4 ERA5 Reanalyses

- Frequentie:
  - Indicator: jaarlijkse indicatoren
  - Ruwe data: uurlijks of maandelijks
- Tijdsspanne:
  - Indicator: 1979 – 2018 (voorberekende data voor zomers neerslagtekort)
  - Ruwe data: 1959 – 2022 (ruwe data waaruit neerslagtekort kan uit worden berekend)
- Gebiedsdekking: globaal
- Resolutie:
  - Potentiële evaporatie en neerslag: 0.5° x 0.5° (~50km x 50km)
  - Ruwe achterliggende ERA5 data: 0.25° x 0.25° (~25km x 25km)
- Databron:
  - Potentiële evaporatie in het warmste kwartaal en neerslag voor het warmste kwartaal (BIO18)
  - Ruwe Era5 data

Voor 1979 – 2018 is de potentiële verdamping en neerslag voor het warmste kwartaal beschikbaar op de Copernicus Climate Data Store (CDS). Hieruit kan neerslagtekort worden berekend uit het verschil tussen de twee, zie Figuur 2-13. Deze data in de CDS werd aangemaakt door VITO in het kader van het C3S biodiversity project, en maakt gebruik van de Pennman-Monteith vergelijking voor de berekening van de potentiële evaporatie (zie documentatie - Appendix I). De daarvoor gebruikte routines ontwikkeld binnen VITO kunnen gewijzigd worden om de indicatordefinitie aan te passen in functie van de teken, t.t.z. seizoenswaarden (dus aparte waarden voor neerslagtekort voor lente, zomer en herfst). In tegenstelling tot puntdata, is deze data representatief voor de hele Vlaamse regio, kan eventueel opgesplitst worden per provincie, en eventueel ook neergeschaald worden naar 1km resolutie. Met de beschikbare routines is een jaarlijkse update van zulke indicator voor Vlaanderen is zeker mogelijk door VITO, alsook een uitbreiding naar het verleden tot het jaar 1959.



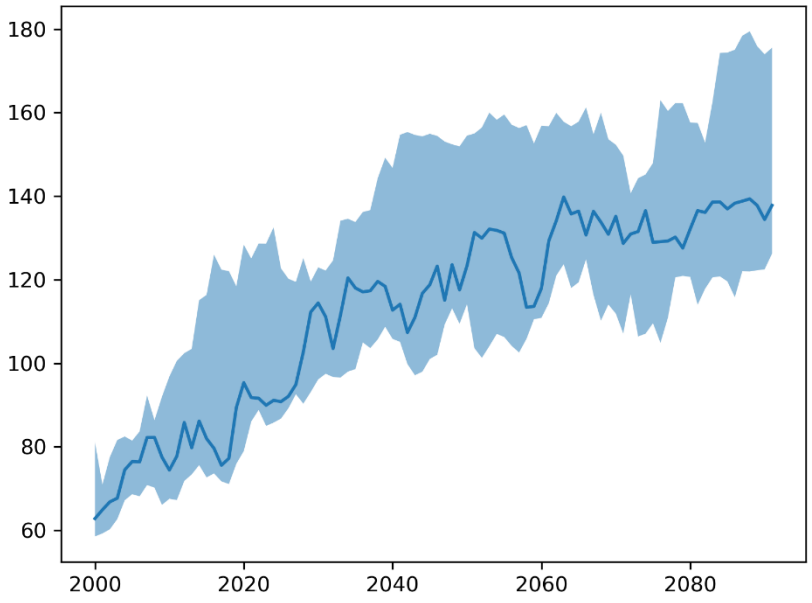
Figuur 2-13. Jaarlijkse evolutie van neerslagtekort (in mm) over Vlaanderen voor de 3 warmste zomermaanden op basis van ERA5 reanalysedataset. Brondata: 'BIO18' en 'potential evaporation warmest quarter'; annual.

2.5.6.5 Klimaatprojecties

- Frequentie: jaarlijks
- Tijdsspanne: 1950 – 2100
- Gebiedsdekking: globaal
- Resolutie: 0.5° x 0.5° (~50km x 50km)
- Databron:
    - Potentiële evaporatie in het warmste kwartaal en neerslag in het warmste kwartaal, op basis van CMIP5 dat gebiascorrigeerd door VITO
    - Ruwe data CMIP5, niet gebiascorrigeerd
    - Ruwe data CMIP6, niet gebiascorrigeerd
- Eigenaar: ECMWF

Binnen hetzelfde project C3S Biodiversity werden ook klimaatprojecties aangemaakt die de potentiële evaporatie en neerslag omvatten voor het warmste kwartaal, en waarbij toekomstige klimaatprojecties van neerslagtekort kunnen worden afgeleid. Deze data werden bekomen uit de ruwe data van het CMIP5 archief eveneens beschikbaar op de Copernicus Climate Data Store maar eveneens vooraf gebiascorrigeerd door VITO. Op de parameters werd evenwel een biascorrectie uitgevoerd alvorens de uiteindelijke indicatoren te berekenen, zie documentatie.

De data voor neerslagtekort uit deze dataset met 10 beschikbare modellen uit CMIP5 wijzen alvast op een stijging van het neerslagtekort in het warmste kwartaal, zie figuur 2-13. De routines voor zowel de biascorrectie als indicatorberekeningen zijn eveneens beschikbaar binnen VITO en kunnen worden aangepast zodat aparte seizoenwaarden kunnen worden verkregen t.b.v. de tekenproblematiek.



Figuur 2-14. Jaarlijkse evolutie van zomerneerslagtekort (mediaan en spreiding volgens 25e en 75ste percentielwaarden) naar het einde van deze eeuw volgens 10 gebiascorrigeerde modellen uit CMIP5 (20-jarige gemiddelden)

3 BIOMERKERS OM DE GEZONDHEIDSIMPACT VAN KLIMAATVERANDERING TE MONITOREN

In het tweede luik van deze studie wordt een set van biomerkers opgesteld die binnen een HBM-campagne informatie kunnen leveren over klimaatverandering-gerelateerde gezondheidseffecten.

3.1 INLEIDING

Om klimaat-gezondheidsonderzoek te integreren in humaan biomonitoring onderzoek (HBM) dienen volgende vragen beantwoord te worden zijn:

Welke **klimaatverandering-gerelateerde omgevingsfactoren** zijn relevant om meegenomen te worden in toekomstige HBM-campagnes in Vlaanderen en hoe kunnen ze gemeten/ingeschat worden?
Welke **biomerkers voor interne blootstelling** (polluenten, toxinen) zijn relevant om meegenomen te worden in toekomstige HBM-campagnes in Vlaanderen en hoe kunnen ze gemeten/ingeschat worden?
Welke **vroege fysiologische veranderingen**, die mogelijk onderliggend zijn aan nadelige gezondheidseffecten, dienen meegenomen te worden in toekomstige HBM-campagnes in Vlaanderen en hoe kunnen ze gemeten worden?
Welke **klimaatverandering-gerelateerde gezondheidsklachten** (vb. allergie, luchtwegklachten, infecties en psychische klachten) dienen meegenomen te worden in toekomstige HBM-campagnes in Vlaanderen en hoe kunnen ze gemeten/ingeschat worden?
Welke bevolkingsgroepen en locaties (hotspots) zijn **meer kwetsbaar** voor de negatieve impact van klimaatverandering?
Welk **studieopzet** en welke bijkomende informatie is het meest geschikt om het verband tussen klimaatverandering en gezondheid goed in kaart te brengen?

3.2 PLAN VAN AANPAK VOOR OPSTELLEN BIOMERKERS VOOR MONITORING GEZONDHEIDSIMPACT VAN KLIMAATVERANDERING

3.2.1 Opstellen van een longlist van biomerkers

Een eerste stap in de ontwikkeling en verfijning van een studieopzet voor klimaatgerelateerde HBM is de selectie van biomerkers van blootstelling, fysiologische respons en gezondheidsimpact. Hierbij wordt, op basis van de literatuur in hoofdstuk 1, gekeken naar:

- biomerkers voor chemische blootstelling;
- biomerkers voor blootstelling aan toxines;
- biomerkers van (vroege) gezondheidseffecten en fysiologische verandering in respiratoire eindpunten, immunologische veranderingen, cardiovasculaire en metabole/fysiologische stress;
- in welke mate de biomerkers die al in (lopend) HBM-onderzoek opgenomen werden door klimaatverandering in Vlaanderen beïnvloed worden.

In secties 3.3 en 3.4 worden de potentiële biomerkers van blootstelling besproken, voor chemische stoffen en toxines, respectievelijk.
Biomerkers voor gezondheidseffecten worden voorgesteld in secties 3.5 t.e.m. 3.11. De gezondheidseffecten die gemonitord kunnen worden via bevraging worden samengevat in secties 3.12 t.e.m. 3.14.
Alle resultaten staan bevattelijk samengevat in een longlist, die beschikbaar is in een Excel-document en waarvan een extract terug te vinden is in Bijlage G.
De longlist is opgevat als een lijst waarbij elke lijn (*record*) informatie over een aparte groep van biomerkers bevat.
De kolommen bevatten daarbij achtereenvolgens volgende velden:

Groepsnaam: stofgroep voor biomerkers van blootstelling, gezondheidssignaal voor biomerkers van effect;
Biomerker: vermelding van de specifieke biomerkers;
Rapport: verwijzing naar sectie in dit rapport waar de biomerker beschreven wordt;
Matrix: matrix waarin de biomerker gemeten wordt (serum, volbloed, urine, haar, huid);
Methode: analysemethode om biomerker te bepalen, indien reeds eerder toegepast in Vlaamse HBM, wordt het analyserend labo vermeld;
HBM: geeft aan of/ in welke humane biomonitoring studie de analyse reeds toegepast werd;
Aard van link met klimaatverandering: korte beschrijving van het mogelijk verband tussen de biomerker en klimaatverandering;
Mogelijke impact op de mens: korte omschrijving van het gezondheidsrisico waar de biomerker betrekking op heeft;
Opmerkingen en aandachtspunten: extra duiding bij de biomerker en het mogelijk verband met klimaatverandering;
Aanzet contextvariabelen: eerste inschatting van welke factoren belangrijk zijn om het verband tussen de biomerker en klimaatverandering goed in kaart te kunnen brengen;
Referentie link met klimaat: verwijzing naar relevante literatuur om de link biomerker-klimaat te onderbouwen
Relevantie HBM: score die aangeeft of het verband tussen biomerker en klimaatverandering beschouwd wordt als zwak (1) tot sterk (5) o.b.v. bevraging van stuurgroepleden.

3.2.2 Opstellen van een shortlist door filtering van de longlist

Na evaluatie van de literatuur naar relevantie in de Vlaamse context, aan de hand van een set selectiecriteria, wordt de lijst verder beperkt tot een shortlist.
Deze selectiecriteria omvatten:

- criteria voor biologische relevantie: veranderingen in de biomerker zijn biologisch relevant, de blootstellingsperiode is relevant;
- criteria voor methodologische relevantie: HBM is de meest geschikte methodiek om de blootstelling in te schatten, de voorgestelde HBM-meting is gevalideerd, de analyse is financieel haalbaar, de belasting van het veldwerk is beperkt;
- criteria voor maatschappelijke en beleidsrelevantie in Vlaanderen: de blootstelling weerspiegelt de milieudruk ten gevolge van klimaatverandering in Vlaanderen, de blootstelling is geassocieerd met leefomgeving, levensstijl, productgebruik, voeding, maatregelen maken ziektepreventie mogelijk.

Op basis van deze selectiecriteria wordt een shortlist opgesteld waarbij aan elke biomerker een score toegekend, daarbij werd volgende symboliek gebruikt:

- J (= Ja): De indicator is op basis van de selectiecriteria relevant en wordt meegenomen naar de volgende ronde, waar meer in detail zal gekeken worden naar de haalbaarheid.
- N (=Nee): De indicator voldoet niet aan de selectiecriteria en wordt verder niet meer meegenomen
- O (= Optioneel): De indicator is mogelijk relevant op in HBM-onderzoek meegenomen te worden, maar is momenteel (nog) niet relevant volgens de selectiecriteria of niet de meest aangewezen vorm van monitoring.

De resultaten van deze shortlist zijn samengevat in sectie 3.15.

3.2.3 Aanzet tot onderzoeksopzet

Naast de selectie van de relevante biomerkers wordt een aanzet gegeven tot een praktische uitwerking van een HBM-campagne waarin (een deel van) bovenvermelde biomerkers gebruikt worden om klimaatgerelateerde gezondheidsimpact te monitoren.
In sectie 3.16 beschrijven we beknopt de tools (meetapparatuur, vragenlijsten en omgevingsindicatoren) die gebruikt kunnen worden om blootstelling, contextvariabelen en ook enkele gezondheidseindpunten te evalueren. Per biomerker worden de specifieke contextvariabelen weergegeven in de longlist, zie Bijlage G.

3.3 BIOMERKERS VOOR BLOOTSTELLING AAN CHEMISCHE STOFFEN

3.3.1 HBM van vluchtige organische stoffen (VOC's) in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen

- Trihalomethanen: De wetenschappelijke literatuur (zie sectie 1.4) geeft aan dat in de toekomst vooral de opvolging van blootstelling aan trihalomethanen (THM's), bijproducten van desinfectie van water, via HBM aan belang zal winnen (Valdivia-Garcia et al., 2019). In 2020 werden in Vlaanderen geen normoverschrijdingen voor THM's in drinkwater vastgesteld, THM's zijn echter wel aandachtparameters in verschillende Vlaamse leveringsgebieden (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2021). Rekening houdend met de huidige situatie waarbij er geen normoverschrijdingen zijn in Vlaanderen en gezien de voorspelde impact van klimaatverandering op de vorming van THM's, is in eerste instantie een strikte opvolging van de drinkwaterkwaliteit (ter hoogte van de keukenkraan in woningen of publieke gebouwen) aangewezen. Indien in de toekomst normoverschrijdingen worden vastgesteld, kan HBM tijdens risicoperiodes of in aandachtsgebieden een geschikt instrument zijn om de humane blootstelling aan THM's op te volgen. De universiteit van Cyprus ontwikkelde een analysemethode voor vier gereglementeerde trihalomethanen (THM's) in een klein volume urine (3 ml) met behulp van gaschromatografie—massaspectrometrie (Charisiadis and Makris, 2018). Ze geven aan dat de analysetechniek snel is en geschikt om toegepast te worden in grootschalig onderzoek.
- Brede screening antropogene VOC's: In de FLEHS-campagnes werd tot nu toe geen brede monitoring van antropogene VOC's uitgevoerd. In de Amerikaanse NHANES humane biomonitoringstudies werden in de opeenvolgende campagnes 39 VOC's in bloed gemeten en 20 urinaire metabolieten van 16 VOC's (Zhou et al., 2017). Een brede screening van VOC-metabolieten in urine kan met behulp van ultra-high performance vloeistofchromatografie, gekoppeld aan negatieve electrospray ionisatie tandem massaspectrometrie (UPLC-MS/MS). In de Vlaamse HBM werd tot nu vooral de benzeen metaboliet t,t'-muconzuur in de urine gemeten (FLEHS-1-4). Deze was steeds in nagenoeg alle individuen meetbaar aanwezig.

- De analyse van t,t'-muconzuur die in deze campagnes uitgevoerd werd door VITO-GOAL is volledig gevalideerd. VOC's stapelen zich niet op in het lichaam, maar worden snel geëlimineerd nadat ze in het lichaam zijn opgenomen. De meting van metabolieten van VOC's is dus een maat voor de hoeveelheid VOC's waarmee de persoon in contact is gekomen in de voorbije uren. Een brede HBM-screening van VOC's in relatie tot klimaatverandering kan relevant zijn tijdens hitteperioden of bij bosbranden, maar is minder relevant in een gespreide HBM-campagne in de algemene bevolking. Om meer inzicht te krijgen in het verband tussen klimaatverandering en humane blootstelling aan VOC's, kan de gecombineerde meting in het binnenmilieu van totale VOC's, temperatuur en vochtigheid met de VITO-Sensorbox relevante informatie verschaffen (zie ook sectie 3.16.1). Gerichte vragen over het binnenhuismilieu en -gedrag (ventilatie, verluchten, renovatie) in combinatie met demografische karakteristieken en meteorologische data kunnen bijdragen aan het bepalen van determinanten van blootstelling aan VOC's en mogelijk een verband met klimaatverandering mee onderbouwen.
- Biogene VOC's: Via HBM kan geen onderscheid gemaakt worden tussen blootstelling aan VOC's zoals terpenen via contact met natuur of via productgebruik en voeding. HBM is dus geen optimale methode om wijzigingen in natuurlijke blootstelling aan VOC's onder invloed van klimaatverandering in kaart te brengen. Zoals eerder aangehaald in de literatuurstudie in hoofdstuk 1, zijn epidemiologische gegevens over de gunstige effecten van BVOC's (fytonciden zoals terpenen) op de menselijke gezondheid zeer beperkt. De gunstige psychologische en fysiologische effecten van een bosbezoek zijn eveneens het gevolg van een geïntegreerde zintuiglijke stimulatie door de natuurlijke omgeving (Antonelli et al., 2020). Nabijheid en contact met natuur en groen en de beleving ervan kan in HBM-studies opgevolgd worden via kaartmateriaal, bevraging van de deelnemers en/of via het opvolgen van tijdsbesteding in de natuur via wearables (zie ook sectie 3.16.1).

3.3.2 HBM van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en urinaire koolstoflading in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen

PAK's: Urineconcentraties van gehydroxyleerde PAK's (OH-PAK's), metabolieten van PAK's, weerspiegelen de geïntegreerde blootstelling aan PAK's door inademing, inslikken en huidopname in de uren tot dagen vóór de bemonstering. 1-hydroxypyreen is een metaboliet van pyreen (4 aromatische ringen) en veel gebruikte indicator voor de blootstelling aan het mengsel van PAK's (Koppen et al., 2020). In de Vlaamse HBM werd eerder 1-hydroxypyreen gemeten (FLEHS–1-4), in FLEHS-4 werden eveneens de gehydroxyleerde metabolieten van veel voorkomende PAK's met 2 tot 4 ringen zoals naftaleen, fluoreen, fenantreen en pyreen gemeten (Verheyen et al., 2021c). De metabolieten van deze PAK's waren in nagenoeg alle FLEHS-4 jongeren meetbaar. De studie toonde eveneens aan dat hogere concentraties van de verschillende OH-PAK's gelijktijdig, maar op verschillende biologische systemen, geassocieerd zijn met meer chronische endocriene stress, oxidatieve stress, en ontsteking in een algemene populatie van Vlaamse adolescenten. De analyse van OH-PAK's door VITO GOAL is gevalideerd via succesvolle deelname aan het Human Biomonitoring for Europe External Quality Assurance Scheme (HBM4EU ICI/EQUAS) voor PAK-metabolieten (Esteban López et al., 2021). Om verschillende redenen is het belangrijk om de PAK's die in FLEHS-4 gemeten werden verder op te volgen: de reeds hoge blootstelling aan het complexe mengsel van PAK's in de Vlaamse bevolking, de mogelijkheid dat klimaatverandering de blootstelling aan PAK's kan beïnvloeden alsook de aangetoonde gelijktijdige impact van verschillende PAK's op meerdere biologische systemen bij Vlaamse jongeren.
In het kader van klimaatverandering en de gekende fototoxiciteit van deze PAK's met 3-5 aromatische ringen, is het eveneens van belang om via HBM de gezondheidsrisico's van blootstelling

aan de combinatie van PAK's en UV-licht verder te onderzoeken. Determinanten van blootstelling aan PAK's en een verband met klimaatverandering kunnen in kaart gebracht worden via gerichte vragen aan de deelnemers (contact met houtstook, gegrilde voeding), meteorologische data en analyses in het milieu.

Interne Koolstoflading: De luchtkwaliteit op het thuisadres wordt in de meeste HBM-studies in kaart gebracht op basis van interpolatiemodellen met een hoge temporele en spatiale resolutie, zoals het RIO-IFDM model in Vlaanderen (Janssen et al., 2008; Lefebvre et al., 2013)**.** Modellering is echter beperkt tot het thuisadres en weerspiegelt de individuele dynamische blootstelling aan luchtvervuiling niet. De koolstoflading, de hoeveelheid zwarte koolstof in de urine of in bloed, is een recent ontwikkelde indicator voor blootstelling aan de zwarte koolstof-fractie van fijnstof (Saenen et al., 2017). Via bepaling van de interne koolstoflading kan de bijdrage van verbranding-gerelateerde luchtvervuiling aan gezondheidseffecten beter ingeschat worden. In het project Milieu en Gezondheid 2021 werd de urinaire koolstoflading bepaald bij een 400-tal FLEHS-4 jongeren. In de COGNAC-studie (Cognition and Air Pollution in Children) werd de koolstoflading bepaald in urine van Vlaamse lagere schoolkinderen (Saenen et al., 2017). In FLEXiGUT (Pero-Gascon et al., 2022), een Vlaamse interuniversitaire studie rond het exposoom en de relatie met inflammatie, zal eveneens de urinaire koolstoflading bepaald worden. In het kader van klimaatverandering is het relevant om de geïntegreerde blootstelling aan luchtvervuiling en de gezondheidsimpact ervan te onderzoeken met behulp van een biomerker. Er dient in het dichtbevolkte Vlaanderen tevens aandacht besteed te worden aan de mogelijk synergistische negatieve gezondheidsimpact van luchtvervuiling en hoge temperatuur. Algemeen wordt verwacht dat door de klimaatverandering de luchtkwaliteit voornamelijk in dichtbevolkte gebieden zoals steden, tevens hitte eilanden, zal verslechteren door gebrek aan luchtcirculatie en verdunning (Orru et al., 2017). Determinanten van blootstelling aan verbranding-gerelateerde luchtvervuiling en een verband met klimaatverandering kunnen in kaart gebracht worden via gerichte vragen aan de deelnemers (gedrag), kaartmateriaal en modellering, meteorologische data.

3.3.3 HBM van chemische stoffen in zonnebrandproducten in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen

UV-filters: Benzofenon-3 (BP-3) is wereldwijd één van de meest gebruikte chemische UV-filters en is tevens een goede indicator voor blootstelling aan verschillende UV-filters (Narloch and Wejnerowska, 2021). In de Vlaamse HBM werden UV-filters tot nu toe niet gemeten in individuele stalen, enkel in gepoolde urinestalen. In FLEHS II (2007-2011) werden benzofenon-3 metabolieten gedetecteerd in alle mengstalen van jongeren (n=5) en volwassenen (n=5). De Vlaamse resultaten sluiten aan bij buitenlands onderzoek. In de Amerikaanse NHANES-studie (2003-2004) was BP-3 in urine van nagenoeg alle deelnemers terug te vinden (Han et al., 2016). Een Franse moeder-kind HBM-studie (SEPAGES) detecteerde BP-3 in urine van alle onderzochte zwangere vrouwen en alle zuigelingen van 1 jaar (Rolland et al., 2020).
De acute toxiciteit van BP-3 is laag, maar BP-3 wordt wel beschouwd als hormoonverstorend en mogelijk kankerverwekkend voor de mens (Groep 2B, IARC-classificatie, gebaseerd op voldoende bewijsmateriaal bij proefdieren) (Rousselle et al., 2022). Het vermijden van zonnefilters door de consument kan echter ook het risico van UV-straling op de volksgezondheid verhogen.
Daarom is risico/batenanalyse met betrekking tot UV-filters bijzonder belangrijk en werd BP-3 als prioritaire stof aangewezen voor verder onderzoek in HBM4EU (Tamar Berman, 2020). Een voorlopige risicobeoordeling door Rousselle et al. (2022) in het kader van de HBM4EU toonde aan dat vermindering van de humane blootstelling aan BP-3 in de EU gezondheidskundig niet nodig is. Daarnaast toonden HBM-studies aan dat ook bij staalname in de winter een meerderheid van

deelnemers werd blootgesteld aan BP-3. Het is bijgevolg mogelijk dat zonnefilters dus niet de belangrijkste bronnen voor blootstelling aan BP-3 zijn. De conclusie van het HBM4EU-onderzoek luidt dat bescherming tegen schadelijke UV-straling van cruciaal belang is voor de gezondheid om huidbeschadiging en kanker te voorkomen. Het grote publiek moet het gebruik van zonnebrandmiddelen met UV-filters, waaronder benzofenonen, niet mijden. Op basis van de HBM4EU bevindingen is opvolging van humane blootstelling aan chemische UV-filters in de Vlaamse bevolking momenteel niet als prioritair te beschouwen. Metingen van UV-filters kan in de toekomst, zoals in eerdere FLEHS-campagnes, uitgevoerd worden door RIC-technologies[8], mits validatie van de meettechniek (LC/LC-MS/MS).

Additieven: Perfluor-verbindingen in serum werden in eerdere FLEHS-campagnes reeds gemeten. In FLEHS-3 werd een significant verband aangetoond tussen het gebruik van persoonlijke verzorgingsproducten en het perfluor-n-decaanzuur (PFNA) gehalte in serum van volwassenen (Colles et al., 2020). De analyses werden uitgevoerd door VITO-GOAL, dit labo heeft een BELAC-accreditatie voor de meting van perfluors in serumstalen. Verder onderzoek naar de bronnen en gezondheidseffecten van perfluor-verbindingen is in Vlaanderen prioritair, ongeacht de link met klimaatverandering. Bevraging van deelnemers naar het gebruik van zonnecrèmes kan in de toekomst inzicht bieden in het aandeel van deze producten in de blootstelling aan o.a. PFNA. De meting van galaxolide en tonalide in volbloed geeft een maat voor de blootstelling aan **polycyclische musks.** In FLEHS-2 werd bij jongeren met een hogere score voor het gebruik van verzorgingsproducten ook een significant hogere bloedconcentratie van galaxolide waargenomen, voor tonalide was er een gelijkaardige trend maar de verschillen waren niet significant. **Parabenen** worden gebruikt als antimicrobiële bewaarmiddelen in voeding, geneesmiddelen, cosmetica en toiletartikelen. In FLEHS-2 werd in individuele stalen van jongeren en volwassenen een metaboliet van parabenen, nl. para-hydroxybenzoëzuur (HBA) in urine gemeten. Bij de volwassenen worden significant hogere waarden voor HBA gevonden voor een toenemend gebruik van verzorgingsproducten, bij jongeren werd dit verschil echter niet waargenomen. De individuele parabenen (methyl-, ethyl-, propyl-, butyl- en benzylparaben) werden in FLEHS-2 gemeten in mengstalen volbloed van jongeren (n=5) en volwassenen (n=5). De analyses van polycyclische musks en parabenen werden niet opgenomen in FLEHS-4, analyse kan zoals in eerdere campagnes uitgevoerd worden door RIC-Technologies, mits validatie van de meetmethode.
Hoewel er mogelijk een verband is met het gebruik van zonneproducten en interne blootstelling aan deze stoffen, is het verband met klimaatverandering zwak en de relevantie van monitoring van deze stoffen in dit kader heel beperkt. Ook hier geldt bovendien dat het vermijden van zonnebrandproducten door de consument omwille van de aanwezigheid van mogelijk schadelijke additieven het risico van UV-straling voor de volksgezondheid verhoogt.

3.3.4 HBM van pesticiden in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen

Onder invloed van de klimaatverandering wordt, zoals beschreven in de literatuurstudie, een toename verwacht van het gebruik van **pesticiden** in de landbouw (Boxall et al., 2009) en van **insecticiden** voor de persoonlijke bescherming tegen vector-gebonden infecties via muggen en teken (Huynen et al., 2019). Waar voor de historische persistente pesticiden (en overige historische POP's) enkel de distributie en de biologische beschikbaarheid in het milieu beïnvloed kan worden door klimaatverandering, wordt het gebruik van modernere kortlevende pesticiden rechtsreeks beïnvloed door klimaatverandering. Deze pesticiden werden reeds in meerdere Vlaamse HBM-campagnes gemeten. In FLEHS-4 werd bij adolescenten de blootstelling aan huidig gebruikte pesticiden in urine gemeten: 3-PBA als metaboliet van pyrethroïde pesticiden; 3,5,6-trichloro-2-

[8] https://ric-technologies.com/

pyridinol (TCPY) als chlorpyrifos metaboliet, 2,4-D, glyfosaat samen met metaboliet AMPA (Schoeters et al., 2022). De metabolieten van pyrethroïde insecticiden, chlorpyrifos en 2,4-D werden gedetecteerd in urinestalen van alle jongeren. Glyfosaat en de AMPA-metaboliet konden worden gemeten in respectievelijk 41,45 en 55,9% van de FLEHS-4 tieners. Opmerkelijk is dat niet enkel het huidige gebruik van pesticiden in de Belgische landbouw boven het Europees gemiddelde ligt, maar dat de meetwaarden van afbraakproducten van pyrethroïde pesticiden en chlorpyrifos ook hoger zijn bij Vlaamse jongeren dan bij jongeren uit de VS en Canada (Schoeters et al., 2022). Gezien de mogelijk negatieve impact van pesticiden op de gezondheid en de sterke link met gebruik van pesticiden met klimaatverandering, is opvolging van humane blootstelling aan pesticiden en de gezondheidsimpact ervan in Vlaanderen aangewezen. Opvolging van zowel historische persistente als kortlevende pesticiden via HBM is de meest geschikte manier om de geïntegreerde blootstelling aan pesticiden door verschillende bronnen (voeding, bodemdeeltjes, persoonlijk gebruik) in kaart te brengen en de gezondheidsimpact ervan te onderzoeken.
Via gerichte vragen aan de deelnemers (gedrag, voeding) en analyses in het milieu/voeding kunnen de determinanten van blootstelling aan pesticiden in kaart gebracht worden. Meteorologische data, cijfers omtrent verkoop van pesticiden en insecticiden, cijfers omtrent gebruik in de landbouw kunnen mogelijk een link met klimaatverandering mee onderbouwen.

3.3.5 HBM van zware metalen in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen

Door een toename in het gebruik van kunst- en dierlijke mest onder invloed van klimaatverandering kunnen de zware metalen cadmium, zink en koper in hogere mate in zowel (zelf-)geteelde voeding als in het grond- en oppervlaktewater terecht komen (Frogner-Kockum et al., 2020). Gezien de gekende negatieve gezondheidsimpact van zware metalen (Jaishankar et al., 2014) en de sterke link tussen de zware metalen cadmium, zink en koper, bemesting en klimaatverandering, is de opvolging van de humane blootstelling aan deze stoffen in Vlaanderen aangewezen. Analyse in bloed en urine met High Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (HR-ICP-MS) werd in eerdere FLEHS-campagnes uitgevoerd door de VUB, met een gevalideerde meetmethode. In sommige Aziatische landen kan klimaatverandering ook een impact hebben op het gebruik van natuurlijk arseenrijk grondwater voor irrigatie van gewassen, waardoor arseen in de lokale voeding terecht komt (Muehe et al., 2019). Arseen in grondwater is in Vlaanderen lokaal problematisch in de historische vervuilde regio's in de Kempen; in de kuststreek zijn er lokaal hoge natuurlijke achtergrondniveaus terug te vinden (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2020).
Voeding en drinkwater kunnen onderzocht worden als determinanten van blootstelling aan zware metalen via gerichte bevraging van de deelnemers. Interne blootstellingswaarden kunnen gerelateerd worden aan gehalten zware metalen in het leefmilieu (huisstof, drinkwater) en de voeding van de deelnemers. Cijfers over de evolutie van het gebruik van kunstmest in Vlaanderen, opvolging van het gehalte zware metalen in levensmiddelen, drinkwater en het verband van beide met meteorologische factoren (droogte, hitte, extreme neerslag) kan meer inzicht bieden in humane blootstelling aan zware metalen in relatie tot klimaatverandering.

3.3.6 Overige chemische stoffen uit de Vlaamse HBM in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen

In het Vlaamse HBM-programma worden ook biomerkers van stoffen gemeten waarvoor in de literatuur geen duidelijke link gevonden werd met klimaatverandering, zoals organofosfaat vlamvertragers en plasticizers (PFR's) en plastic componenten (ftalaten, DINCH, bisfenolen).

Deze stoffen zijn echter niet chemisch gebonden aan de materialen of producten waarin ze gebruikt worden en kunnen vanuit deze materialen migreren naar het milieu. De vrijstelling vanuit materialen is mogelijk temperatuurafhankelijk. Bij verhoogde temperaturen, die verwacht worden door klimaatverandering, zou men als gevolg een verhoogde blootstelling kunnen verwachten aan deze stoffen. Blootstelling aan PFR's, ftalaten, DINCH en bisfenolen gebeurt via het eten van voedsel dat gecontamineerd is vanuit het verpakkingsmateriaal. Inademen of orale inname van huiselijk stof kan ook een bron zijn, huidcontact is eveneens een mogelijk opnameroute. Indirect zou de temperatuur ook van invloed kunnen zijn op de eetgewoonte van mensen, hun ventilatiegewoonten in huis of de tijd die zij binnenshuis doorbrengen, wat op zijn beurt via verschillende wegen zou leiden tot een hogere blootstelling (Bastiaensen et al., 2021b, 2021a; Gys et al., 2020).

In FLEHS-4 werd in univariate analyse vastgesteld dat de urinaire concentraties van verschillende PFR metabolieten (BDCIPP, BCIPHIPP en DPHP) toenamen met hogere gemiddelde dagelijkse buitentemperatuur en hogere gemiddelde dagelijkse UV-stralingsindex (Bastiaensen et al., 2021b). De associaties waren niet significant in multivariate analyses. Significant hogere niveaus van verschillende ftalaat biomerkers (MiBP, MnBP, DEHP) werden gevonden in de lente, vergeleken met winter en herfst (er vond geen staalname plaats in de zomer) (Bastiaensen et al., 2021a). Interessant genoeg waren ook milde buitentemperaturen in de week voor staalname consistent geassocieerd waren met hogere niveaus van verschillende ftalaat metabolieten in vergelijking met koudere (<6 °C) en warmere dagen (>14 °C). Voor blootstelling aan bisfenolen werd in FLEHS-4 in univariate analyse in de herfst hogere BPA niveaus gemeten, de associatie bleef niet significant in een meervoudige model (Gys et al., 2021). BPF-spiegels bleken hoger te zijn in de herfst en de lente dan in de winter, urinaire BPS was niet onderhevig aan seizoensgebonden variatie. Zoals vermeld, werden geen urinemonsters verzameld tijdens de zomer, wat betekent dat dit resultaat met de nodige voorzichtigheid moet worden geïnterpreteerd. Een verdere monitoring van deze stoffen, met ook staalnames in de zomermaanden, kan mogelijk bijkomende inzichten opleveren. Er is dus op basis van de internationale literatuur en de FLEHS-4 resultaten geen duidelijk aanwijzing dat humane blootstelling aan de PFR's en plastic componenten significant beïnvloed wordt door klimaatverandering-gerelateerde factoren

3.4 BIOMERKERS VOOR TOXINEBLOOTSTELLING

3.4.1 HBM van mycotoxines in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen

Een brede screening van mycotoxines in bloed en/of urine is de meest aangewezen methode om de door klimaatverandering gedreven toenemende en wijzigende blootstelling aan mycotoxines in de algemene bevolking op te volgen. De Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid (EFSA) beoordeelt momenteel de mycotoxine-blootstelling van mens en dier in functie van voedselveiligheid aan de hand van externe monitoring gegevens in de lidstaten van de EU in combinatie met voedingsconsumptie data. Deze methode berust echter op een aantal aannames en onzekerheden (Martins et al., 2019). Bovendien geeft dit geen inzicht in de humane blootstelling door inademing van mycotoxines in het binnenmilieu (Martins et al., 2019).

De sterke link met klimaatverandering en de beperkingen van de huidige externe monitoring maken het bepalen van de interne blootstelling aan mycotoxines via HBM in de algemene Vlaamse bevolking daarom zeer relevant (De Ruyck et al., 2020).

Analyse kan met behulp van vloeistofchromatografie – massaspectrometrie (LC-MS) en werd reeds toegepast in Vlaamse HBM-campagnes. In 2015 werden in de Belgische BIOMYCO-studie, 33 biomerkers van o.a. aflatoxines, citrinine (CIT), fumonisines, trichothecenen, ochratoxin A (OTA), zearalenone en hun metabolieten (LC-MS/MS methodes) onderzocht. In ochtendurine van 155 kinderen (3-12 jaar) en 239 volwassenen (19-65 jaar) werden 9 van de 33 geanalyseerde mycotoxines gedetecteerd, waarbij deoxynivalenol (DON), OTA, CIT en hun metabolieten het vaakst werden aangetroffen. (Heyndrickx et al., 2015). In FLEXiGUT (Pero-Gascon et al., 2022), een Vlaamse interuniversitaire humane biomonitoring studie rond het exposoom en de relatie met low-grade chronische inflammatie in de darm, zal het CEMPH (Centre of Excellence in Mycotoxicology and Public Health)[9] van de UGent mycotoxines in bloed en urine analyseren via een targeted en untargeted methode.

Het CEMPH-labo van de UGent werkt continu aan optimalisatie van de analysemethode om mycotoxines zo breed mogelijk en in kleine volumes te screenen. Een overzicht van de mycotoxines die momenteel in de screening opgenomen zijn is terug te vinden in Bijlage H. De literatuur geeft aan dat blotstelling aan mycotoxines sterk seizoensgebonden is en dat een éénmalige bepaling van mycotoxines met behulp van HBM eerder een beeld geeft van de korte termijn blootstelling dan van chronische blootstelling (De Ruyck et al., 2020). De studie van De Ruyck et al. (2020) besluit dat, om via HBM optimaal inzicht te krijgen in de chronische blootstelling van de bevolking aan mycotoxines, herhaalde staalnames meest aangewezen zijn.

In toekomstige HBM-campagnes kan, mits beperkte aanpassingen aan het huidige studieopzet, een herhaalde staalname voorzien worden om een brede screening van mycotoxines in de algemene bevolking mogelijk te maken. Voor een vlot verloop van de herhaalde staalname kan mogelijk beroep gedaan worden op microsampling via een vingerprik, de Volumetric Absorptive Microsampling (VAMS). CEMPH heeft een op VAMS gebaseerde multimycotoxine-methode ontwikkeld en gevalideerd voor 24 verschillende mycotoxines (Vidal et al., 2021). Opslag van de VAMS gedurende 7 en 21 dagen bij koeltemperatuur (4 °C) en kamertemperatuur leverde een correcte recovery van mycotoxines op, wat aantoont dat VAMS kunnen worden toegepast om de blootstelling aan mycotoxines in bloed te bepalen met een minimaal-invasieve methode, in klein volume en dat er enige tijd kan verstrijken tussen de bemonstering en de analyse. Hierdoor zou de herhaalde staalname, mogelijk door de deelnemers zelf, het studieverloop slechts in beperkte mate extra belasten.

Na herhaalde HBM-meetcampagnes, zou via tijdstrend-analyse informatie verkregen kunnen worden over hoe de blootstelling in de algemene bevolking in functie van de tijd evolueert. Daarnaast kan een vergelijking met internationale HBM-studies meer inzicht bieden in de lokale footprint van mycotoxines binnen de internationale context. De factoren die de interne blootstellingsniveaus aan mycotoxines significant bepalen (determinanten) en een mogelijke link met klimaatverandering kunnen in kaart gebracht worden op basis van demografische karakteristieken, meteorologische data (temperatuur, vochtigheid) in combinatie met gerichte vragen aan de deelnemers (alle geconsumeerde levensmiddelen in de 24 uur voor staalname) en metingen in gewassen.

[9] https://www.ugent.be/fw/bioanalysis/en/research/cemph

Het is bijkomend mogelijk om mycotoxines retrospectief te meten in urine en serum. In de FLEHS-biobank zijn urinestalen beschikbaar van een groot aantal deelnemers uit voorgaande campagnes, dit is echter beperkt tot een éénmalig staal per deelnemer. Bloedstalen zijn slechts voor een klein aantal deelnemers beschikbaar. Analyse van mycotoxines in urinestalen van de FLEHS-biobank zou een eerste inschatting kunnen geven van blootstelling van Vlaamse jongeren aan mycotoxines.

3.4.2 HBM van cyanotoxines in relatie tot klimaatverandering in Vlaanderen

De meest frequent gerapporteerde cyanotoxines zijn, zowel internationaal als in Vlaanderen, de levertoxische microcystines (MC's), MC-LR is in deze klasse de meest toxische en ook meest bestudeerde component (Massey et al., 2020).

Voor de kwaliteit van drinkwater heeft de WHO daarom een voorlopige richtlijn van 1 µg/L MC-LR aanbevolen, in recreatiewater (orale inname) is de richtlijn 20 µg MC-LR /L zwemwater. Schadelijke algenbloei door cyanobacteriën neemt als gevolg van eutrofiëring en klimaatverandering wereldwijd toe, zowel in frequentie, duur als in intensiteit. Opvolging van de humane blootstelling aan MC's, in het bijzonder MC-LR, en onderzoek naar het verband met klimaatverandering is daarom ook in Vlaanderen zeer relevant. Ui de literatuur blijkt echter dat HBM niet de meest aangewezen methode is voor opvolging van het gezondheidsrisico van blootstelling aan MC's door de complexe opwerking die vereist is, zowel in de chemische als immunologische enzyme linked immunosorbent assay ELISA detectiemethode en de korte halfwaardetijd van de meest gebruikte biomerker MC-LR (Ruibal-Conti et al., 2019). Binnen 60 min na blootstelling concentreert 67% zich in de lever, waardoor het moeilijk terug kan gevonden worden in bloed of urine. In een studie bij bewoners uit de buurt van een meer in Argentinië, waar regelmatig algenbloei voorkomt, werd chronische blootstelling aan MC-LR bepaald op basis van de aanwezigheid van antilichamen (Ruibal-Conti et al., 2019). Hiervoor werden MC-LR-specifieke IgE en IgG antilichamen gemeten in serum van 47 blootgestelden, 28 niet-blootgestelden en 10 'labo-controle individuen'. Bij de blootgestelden was 77% positief voor één van beide antilichamen, daar waar dat bij de niet-blootgestelden slechts ca. 19% was. Symptomen als jeukende huiduitslag of -irritatie en jeuk aan de ogen werden meer vastgesteld bij recent blootgestelde bewoners. Daarnaast werden in deze studie klassieke leverenzymes gemeten (alanine aminotransferase (ALT), aspartaataminotransferase (AST), alkalische fosfatase (ALP), gamma−glutamyltransferase (GGT), totaal bilirubine (TBIL)) en creatinine. Deze konden niet 1 op 1 gelinkt worden aan de blootstelling, maar alle individuen met verhoogde enzymeconcentraties hadden de gemeten specifieke IgE-antilichamen voor MC-LR. De humane blootstelling aan microcystines is in Vlaanderen echter niet chronisch, maar beperkt tot korte risicoperiodes van warme temperaturen, vaak in combinatie met een hoog gehalte aan nutriënten in het water. Tijdens periodes van blauwalgenbloei wordt met het oog op de volksgezondheid preventief een captatie- en/of recreatieverbod ingesteld. Hierbij is het belangrijk dat bij blauwalgenbloei naast MC-LR vaak meerdere potentieel toxische soorten worden vastgesteld. Visuele monitoring van de aanwezigheid van blauwalgenbloei en analyse van de waterkwaliteit m.b.t. MC's is de meest aangewezen manier om het gezondheidsrisico te beperken. In het kader van onderzoek naar klimaatverandering kunnen de periodes en risicolocaties voor algenbloei in kaart gebracht worden. Bevraging van deelnemers i.v.m. contact met algenbloei in het afgelopen jaar en bijhorende gezondheidsklachten in HBM-campagnes zou bijkomende informatie kunnen geven. Resultaten van de Bloomin' Algae app, gelanceerd door het INBO in 2022, kunnen eveneens gebruikt worden om de blauwalgengroei in kaart te brengen[10].

[10] https://www.vlaanderen.be/inbo/persberichten/nieuwe-app-helpt-blauwalgenproblematiek-in-vlaanderen-in-kaart-te-brengen/?redirectNews=true

3.5 BIOMERKERS VOOR DEHYDRATATIE EN NIERSCHADE

Dehydratatie kan opgevolgd worden via een combinatie van **serum/plasma osmolaliteit en soortelijk gewicht van urine**, bijkomend ook gewichtsverlies. Deze parameters zijn verstoord bij acute hittestress (Cheuvront et al., 2010; Mac et al., 2017), maar zijn niet geschikt om in een gespreide HBM-campagne in de algemene bevolking toe te passen. Bij gericht HBM-onderzoek tijdens hitteperiodes kunnen deze dehydratatieparameters echter wel nuttige informatie bieden. In tegenstelling tot jongeren, is bij oudere volwassenen de densiteit van urine minder geschikt als indicator voor dehydratatie na acute hittestress, omwille van de verminderde efficiëntie van concentratie van urine (Hooper et al., 2015).

Aanvullend kunnen urinair **α1-microglobuline** (merker voor tubulaire nierschade) en **cystatine-C** in serum (merker voor glomerulaire nierschade) informatie geven over de nierfunctie. De analyses zijn routinematig uit te voeren door een gespecialiseerd laboratorium (vb. AML). Beide nierparameters geven weinig informatie over de gezondheidsimpact van acute hittestress in de algemene bevolking. Beide werden echter in HBM-onderzoek, bij o.a. jongeren, reeds gemeten om de negatieve impact van chemische stoffen zoals cadmium op de nierfunctie te onderzoeken (Levin-Schwartz et al., 2021). Het meten van deze merkers in een toekomstige HBM-campagne kan dus een meerwaarde zijn.

3.6 BIOMERKERS VOOR OXIDATIEVE EN FYSIOLOGISCHE STRESS

Op cellulair niveau kunnen verschillende klimaatverandering-gerelateerde factoren zoals hittestress, UV-straling, luchtvervuiling en chemische stoffen waaronder PAK's en koper de **oxidatieve stress** en cellulaire veroudering verhogen. Oxidatieve stress leidt tot modificatie van lipiden, proteïnen en nucleïnezuren, met cellulaire disfunctie tot gevolg (Meade et al., 2020). 8-oxo-2'-deoxyguanosine (8-OXOdG) wordt gevormd wanneer actieve vormen van zuurstof het DNA beschadigen. De oxidatieve schade aan DNA wordt hersteld door intracellulaire mechanismen en resulteert in wateroplosbare 8-oxodG-moleculen die via de urine uit het lichaam verwijderd worden. Meting van 8-oxodG in urine via een immunologische assay (ELISA) is een korte-termijnmerker voor oxidatieve stress en werd reeds in meerdere FLEHS-campagnes met succes uitgevoerd. Er werden significante verbanden gevonden van urinaire concentraties van koper, ftalaten en PAK's met 8-oxodG bij jongeren (Koppen et al., 2020; Verheyen et al., 2021c). Het meten van deze merkers in een toekomstige HBM-campagne is een meerwaarde om het verband tussen klimaatverandering-gerelateerde factoren en vroege cellulaire veroudering te onderzoeken.

Langdurige fysiologische stress kan ingeschat worden met klinisch gevalideerde endocriene parameters zoals cortisol, het glucosemetabolisme (zie 3.11) en immuunmerkers (zie 3.7).

3.7 BIOMERKERS VAN VROEGE DNA-SCHADE

Komeettest: De komeettest is een gevoelige methode om schade aan het DNA aan te tonen. De komeettest geeft een beeld van tijdelijke, herstelbare fouten. De meeste, bijna alle, DNA-schade wordt correct hersteld. De waarden van de komeettest worden beïnvloed door het seizoen: hogere waarden werden vastgesteld bij hogere temperatuur en UV-zonnestraling (Gerić et al., 2018; Møller et al., 1998; Verschaeve et al., 2007). Een van de hypotheses is de verhoogde impact van zonnestraling, die zorgt voor meer DNA-schade en/of verminderde DNA-herstel. De komeettest is een gevalideerde analyse en werd in de FLEHS HBM-campagnes uitgevoerd door VITO Health.

Uit een analyse van genotoxiciteitsmerkers als maat voor DNA-schade in HBM bij jongeren werd besloten dat de **oxidatieve stress merker 8-oxodG** bij jongeren te verkiezen is als merker voor DNA-schade. In een toekomstige HBM-campagne bij jongeren is de komeettest dus ondergeschikt aan de analyse van 8-oxodG als biomerker voor DNA-schade door klimaatverandering-gerelateerde factoren.

Telomeerlengte: Telomeren zijn DNA-proteïne structuren aan de uiteinden van elk chromosoom. Ze bestaan uit duizenden repeterende DNA-sequenties (TTAGGG) die interageren met DNA-bindende eiwitten om zo een stabiel uiteinde te vormen van onze chromosomen. Deze herhalende TTAGGG-sequenties, die geen essentiële genetische informatie bevatten, zijn belangrijk omdat we na elke celdeling een deel van deze herhalende sequenties verliezen. Door dit verlies van niet essentiële genetische informatie zijn de telomeren dus erg belangrijk voor het behoud van de informatie in ons genoom. Als de telomeerlengte een bepaalde limiet heeft bereikt, zullen er geen celdelingen meer plaatsvinden en zal uiteindelijk celdood optreden. De telomeerlengte kan dus gezien worden als een biologische klok die de levensduur van een bepaalde cel en organisme kan bepalen.

Onderzoek toonde aan dat prenatale blootstelling aan factoren zoals luchtvervuiling ($PM_{2.5}$) en hogere temperaturen (boven de warmtedrempel van 19,5°C) in Vlaanderen geassocieerd zijn met korte telomeren bij pasgeborenen (Martens et al., 2019, 2017). Deze factoren gaan gepaard met oxidatieve stress en inflammatie die DNA-schade aanbrengen ter hoogte van de telomeren.

Dergelijke klimaatverandering-gerelateerde blootstellingen zouden de gezondheid en de levensduur van een persoon dus kunnen beïnvloeden (Bijnens et al., 2017). De relatieve telomeerlengte werd in verschillende FLEHS-campagnes bepaald met behulp van een real-time PCR. Het bepalen van de relatieve telomeerlengte kan in een toekomstige HBM-campagne, in aanvulling op 8-oxodG, het verband tussen klimaatverandering-gerelateerde factoren en cellulaire stress/veroudering mee onderbouwen.

DNA-adductoom: DNA-adducten spelen een cruciale rol in de vroege stadia van carcinogenese door mutagenese op gang te brengen, en dienen als biomerkers van blootstelling aan carcinogenen in het milieu , zoals het mycotoxine aflatoxine B1 (AFB1) (Totsuka et al., 2021). Blootstelling aan chemische stoffen die DNA-nucleobasen aantasten, veranderen en/of covalent binden, kan leiden tot de vorming van DNA-adducten. Deze adducten kunnen leiden tot mutaties en chemisch geïnduceerde carcinogenese (Pero-Gascon et al., 2022). Een targeted analyse van DNA-adducts van belang (vb. mycotoxines), gecombineerd met het untargeted in kaart brengen van het DNA-adductoom, kan een directe afspiegeling opleveren van de totale blootstelling aan genotoxines, de daarmee samenhangende effecten en het potentiële ziekterisico (Pero-Gascon et al., 2022). Deze analyse zal voor het eerst in Vlaanderen mee opgenomen worden in Flexigut, een Vlaamse interuniversitaire HBM-studie[11]. Het kan mogelijk ook een meerwaarde bieden in toekomstige Vlaamse HBM-campagnes om de impact van klimaatverandering-gerelateerde genotoxines (mycotoxines, PAK's) op het DNA mee in kaart te brengen.

[11] https://researchportal.be/nl/project/het-vlaamse-exposoom-project-onderzoek-naar-de-impact-van-levenslange-voedings-en-1

3.8 BIOMERKERS VOOR INFLAMMATIE EN RESPIRATOIRE EN ALLERGIE-GERELATEERDE EFFECTEN

Respiratoire klachten en allergische aandoeningen, kunnen gemonitord worden via **inflammatie biomerkers** en sommige aspecten ook via **bevraging.** De klinische monitoring van de milieueffecten op seizoensgebonden allergieën is gemakkelijk waar te nemen (zoals blijkt uit de duidelijk positieve relatie tussen blootstelling aan pollen en allergische symptomen bij gesensibiliseerde personen) in experimentele en natuurlijke blootstellingsomgevingen (Damialis et al., 2019). De manier waarop de immuunrespons zich in de loop van de tijd ontwikkelt bij complexe en meervoudige allergeenblootstelling is echter nog onduidelijk, net als hoe deze gecorreleerd is met de verschillende soorten allergiesymptomen (Kitinoja et al., 2020). Zelfs bij voortdurende blootstelling kan de ernst van de symptomen veranderen, afhankelijk de onderliggende immunologische mechanismen. Bovendien lijkt het erop dat niet-allergische personen die blootgesteld worden aan pollen in de lucht ook een lokale niet allergeen-specifieke immuunrespons kunnen ontwikkelen (Mattila et al., 2010). De rol van lokale epitheliale afweermechanismen tegen allergenen is nog steeds niet duidelijk, maar lijkt cruciaal te zijn in het begrijpen van de ontstekingsreactie. Voor pollenallergie blijkt het mogelijk om de sterkte van de seizoensgebonden symptomen te voorspellen aan de hand van nasale biomerkers zoals cytokines, chemokines en pollen-specifieke Ig's (IgE, IgA en IgG) (Gökkaya et al., 2020). Daarom zijn recente studies geneigd om zowel systemische als lokale immuunreacties te monitoren om zo de meest relevante biomerkers te ontdekken.

Totaal IgE en allergeen-specifiek IgE in bloed (aëroallergenen, voeding): De productie van specifiek IgE (sIgE) tegen allergenen is een vroeg kenmerk van atopische ziekte (Salo et al., 2014).
Na antigeenpresentatie worden naïeve CD4+ T-cellen geactiveerd en differentiëren zij in allergeen specifieke type 2 T-helpercellen (TH2-cellen), die de activering van B-cellen en IgE-klasse-switching induceren, wat leidt tot B-celdifferentiatie in plasmacellen die allergeen specifiek IgE produceren. In het algemeen vertegenwoordigen mono- en polysensibilisatie verschillende fenotypes van IgE-geassocieerde ziekten. Polysensibilisatie wordt in verband gebracht met een vroeger begin van de allergie en met ernstiger symptomen dan monosensibilisatie (Bousquet et al., 2015). Beoordeling van sIgE-antilichamen in serum bevestigen allergische sensibilisatie, de klinische geschiedenis kan aanvullend bevraagd worden via gevalideerde vragenlijsten (zie 3.14). Het opvolgen van de prevalentie en patronen van IgE-gemedieerde sensibilisatie in populaties doorheen de tijd is reeds ingebed in de Amerikaanse NHANES studie (Salo et al., 2014). Daar werden consistente associaties waargenomen voor allergenen buitenshuis; in stedelijke gebieden was 37,8% van de deelnemers gesensibiliseerd voor allergenen buitenshuis, terwijl minder dan een vierde (22,9-24,9%) van de niet-stedelijke bevolking gesensibiliseerd was. Deze meting is mogelijk te combineren met metingen in huisstof van een panel vaak voorkomende aëroallergenen (vb. *aspergillus, ambrosia, berk, huisstofmijt*), die in verband kunnen worden gebracht met astma en andere allergische aandoeningen (Calatroni et al., 2009). In het bijzonder voor pollenallergenen hebben recente studies aangetoond dat de opsporing van serum IgE-antilichamen tegen specifieke moleculen (Phl p 1, Phl p 4, Phl p 5, Bet v 1 of Pru p 3) gebruikt zou kunnen worden als biomerker om de persistentie van allergische rhinitis en het toekomstig ontstaan van multimorbiditeiten, zoals astma en/of het pollenvoedselsyndroom, te voorspellen (Cipriani et al., 2019; Mendy and Zeldin, 2020). Aangezien Phl p 4 echter een sterk kruisreactieve maar weinig antigenische molecule is, kan het gebruik van deze vroege voorspeller van graspollenallergenen worden gehinderd door onbetrouwbare tests op basis van nPhl p 4. Naast IgE kunnen ook andere isotypen van antilichamen, namelijk **IgA en IgG,** nuttig zijn om de effecten van blootstelling aan allergenen in de omgeving te controleren en dit zowel bij allergische als bij niet-allergische personen.

Van IgG-antilichamen is bekend dat ze klinisch relevant zijn, omdat ze de afgifte van mestcel-mediatoren blokkeren en specifieke kenmerken hebben voor allergeen-epitopen die verschillen van diegene die door IgE-antilichamen worden herkend. Er is echter aangetoond dat de nasale immuunrespons in bepaalde gevallen kan leiden tot rinitis bij niet-allergische mensen en dit onder natuurlijke of experimentele omstandigheden van blootstelling aan allergenen (Gökkaya et al., 2020). Gökkaya et al. (2021) suggereren dat blootstellingsgerelateerde symptomen, evenals de biomerker signatuur, indicatief zouden kunnen zijn voor het potentieel van niet-atopische individuen om in een later stadium van het leven een allergie te ontwikkelen. En dit als gevolg van terugkerende neusontstekingen, die uiteindelijk niet langer onder controle gehouden worden door pollenspecifieke IgG_4- en IgA-antilichamen. In conclusie kan men stellen dat dit type biomerker van belang kan zijn wanneer de blootstelling aan pollen in het milieu, die wordt beïnvloed door de klimaatverandering, niet alleen een invloed kan hebben op de allergische patiënten maar ook het ontstaan van nieuwe allergieën kan vergemakkelijken.

Exhaled NO: Stikstofmonoxide (NO) is een kleine gasvormige molecule die in het lichaam betrokken is bij vele fysiologische processen. De fractie NO in uitademingslucht is een afspiegeling van hoeveel NO door de lagere luchtwegen geproduceerd wordt. In de luchtwegen zorgt NO voor het samentrekken van spieren (bronchoconstrictie). Met moderne meetapparatuur kan NO in uitademingslucht snel en eenvoudig gemeten worden. Uitgeademd NO wordt in de literatuur vermeld als eNO, wat staat voor exhaled (uitgeademd) NO of FeNO, de fractie exhaled NO. Stikstofmonoxide (NO) in uitademingslucht wordt beschouwd als een biomerker voor ontstekingsreacties in de longen en werd eerder gelinkt aan blootstelling aan luchtvervuiling (Flamant-Hulin et al., 2010; Oliveira et al., 2019). Daarnaast waren eNO-niveaus in een longitudinale studie bij kinderen met allergische rhinitis significant verhoogd tijdens het pollenseizoen, ze waren het sterkst geassocieerd met het gemiddelde pollenaantal in de week vóór de meting (Roberts, 2004). Exhaled NO werd eerder in FLEHS-campagnes gemeten met behulp van de klinisch gevalideerde NIOX VERO®. Hoewel de NO-productie binnen de luchtwegen een goede indicator is van het luchtwegontstekingsproces, kunnen de gemeten eNO-waarden niet uitsluitend beschouwd worden als biomarker van luchtwegontsteking, maar eerder als een biomarker die zowel luchtwegontsteking als longfunctieveranderingen integreert, zoals aangetoond bij Belgische patiënten met lichte allergische astma (Haccuria et al., 2014). Het bepalen van eNO kan in een toekomstige HBM-campagne, in aanvulling op IgE-bepalingen en bevraging, het verband tussen klimaatverandering-gerelateerde factoren zoals toename van aëroallergenen (en ook luchtvervuiling) en ontstekingsreacties in de longen mee onderbouwen.

Aantal witte bloedcellen (WBC, leukocyten): Het aantal van het totaal aan witte bloedcellen en van witte bloedcel subtypes (neutrofielen, lymfocyten, monocyten, eosinofielen, basofielen) is een veelgebruikte en klinische gevalideerde indicator voor inflammatie (Oulhote et al., 2017). Hoewel omgevingstemperatuur van invloed is op de gezondheid en het gegeven dat het aantal perifere WBC in verband wordt gebracht met ziekteverschijnselen, zijn er maar weinig studies waarin het verband tussen verandering van de omgevingstemperatuur en het aantal WBC wordt onderzocht, en waarin wordt nagegaan hoe veranderingen in de omgevingstemperatuur de menselijke gezondheid beïnvloeden. Eerder onderzoek toonde aan dat er een V-vormig verband is tussen omgevingstemperatuur en de aantallen WBC, met significant hoger aantallen bij hoge en lagere temperaturen (Hung et al., 2021). Bij FLEHS-4 jongeren zagen we een significant verband met blootstelling aan luchtvervuiling op het thuis adres (enkel jongens), en met urinaire concentraties van verschillende PAK's-metabolieten (Verheyen et al., 2021c, 2021a).

De analyse van witte bloedcellen is een geautomatiseerde routinemeting, maar dient uitgevoerd te worden binnen de 24 uur op verse bloedstalen. Het bepalen van de WBC-formule kan in een toekomstige HBM-campagne, in aanvulling op de overige biomerkers in deze paragraaf, het verband tussen klimaatverandering-gerelateerde factoren zoals toename van aëroallergenen, luchtvervuiling, chemische blootstelling en systemische inflammatie mee onderbouwen.

Cytokines, C reactief proteïne (CRP): Cytokines zijn kleine eiwitten die geproduceerd kunnen worden door vele verschillende celtypen betrokken bij de immuunrespons, waaronder de WBC. Cytokines zijn meetbaar in serum, dit werd recent toegepast in het subsidieproject Milieu en Gezondheid 2021 waar er significante verbanden werden gezien met luchtvervuiling en chemische blootstelling (vb. PAK's, perfluor-verbindingen). Cytokine gehalten in serum werden in eerder onderzoek reeds geassocieerd met luchtvervuiling (Gruzieva et al., 2017; Mostafavi et al., 2019; Prunicki et al., 2020) en hittestress (Starkie et al., 2005). CRP is eveneens meetbaar in serum en is als acute fase eiwit een veelgebruikte biomerker voor inflammatie in epidemiologisch onderzoek (Rückerl et al., 2007; Thompson et al., 2010). Lage niveaus van serum CRP (hs-CRP) kunnen nauwkeurig worden gemeten, waardoor personen met laaggradige ontsteking kunnen worden geïdentificeerd. Cytokines en andere inflammatoire biomerkers kunnen ook lokaal gemeten worden in andere matrices, zoals in neusvocht, speeksel of in huidcellen. Wanneer de integriteit van het slijmvlies aangetast is, geeft het epitheel alarmines (IL-33, IL-25) en andere schade-geassocieerde moleculen vrij die herstelmechanismen in gang zetten, maar ook een ontsteking kunnen induceren die tot allergische aandoeningen kan leiden (Eifan and Durham, 2016). Concreet kunnen alarmines aangeboren lymfoïde cellen van groep 2 (ILC2s) activeren, die plaatselijk cytokines van type 2 produceren (IL-4, IL-5 en IL-13), en aldus een sleutelrol spelen bij de initiatie en instandhouding van adaptieve immuunreacties van type 2, met als gevolg een verandering van IgE-klasse en mucosale ontsteking. Deze cytokines van type 2 kunnen inderdaad worden gemeten in neussecreties enkele uren na blootstelling aan allergenen (Eifan and Durham, 2016). Tenslotte bleken ook de chemokines CCL2/MCP-1, CCL22/MDC, en CCL24/eotaxine-2 tot de meest geüpreguleerde entiteiten te behoren in het neusvocht van patiënten met allergische rinitis in vergelijking met niet-allergische personen (König et al., 2015). Onlangs werd in een verkennende studie aangetoond dat cytokines in huidcellen kunnen worden gekwantificeerd door niet-invasieve tape-stripping (Hulshof et al., 2019). Uitgebreide sets van cytokines kunnen door VITO gevalideerd bepaald worden in serum met behulp van de multiplex immunoassays van Mesoscale Discovery (MSD). Analyse van inflammatoire cytokines en CRP kan in een toekomstige HBM-campagne, in aanvulling op de overige biomerkers in deze paragraaf, het verband tussen klimaatverandering-gerelateerde factoren zoals toename van aëroallergenen, luchtvervuiling, chemische blootstelling en systemische inflammatie mee onderbouwen.

Multi-omics-data: Omics staat voor onderzoek van de structurele en functionele organisatie van cellen en systemen op het niveau van de genen (genomics en transcriptomics), de eiwitten (proteomics) en het metabolisme (metabolomics) en ook toevoegingen aan biomoleculen (vb. DNA-adductomics). Omics-technieken kunnen informatie verschaffen over externe blootstellingen en biologische routes of processen die worden beïnvloed (Pero-Gascon et al., 2022). De geïntegreerde analyse van meerdere soorten omics-data, multi-omics, kan een vollediger beeld opleveren dan de afzonderlijke analyse ervan. Zowel targeted als untargeted metabolomics helpen bij het nauwkeurig beschrijven van iemands gezondheidstoestand, met onderscheid tussen het gezonde en het niet-gezonde metaboloom (Rombouts et al., 2021). Zo bleek recent uit een untargeted serum metaboloom-analyse dat kinderen met voedingsallergie een specifiek metaboloom-profiel hebben dat informatie geeft over de ziektemechanismen en de ernst van de ziekte (Crestani et al., 2020).

Om het effect van het externe blootstelling op inflammatie beter te begrijpen, kunnen zowel het polaire metaboloom (aminozuren, nucleïnezuren, suikers, kleine organische zuren) als het lipidoom (lipiden) geëvalueerd worden in bloed met behulp van zowel targeted als untargeted analyses (Pero-Gascon et al., 2022). Deze analyses zullen, samen met het DNA-adductoom, mee opgenomen worden in Flexigut, een Vlaamse interuniversitaire HBM-studie. Met behulp van untargeted metabolomics identificeerde de Normative ageing Study (NAS) bij 456 mannen recent als eerste significante associaties van verschillende metabolieten en metabolische pathways met langdurige blootstelling aan $PM_{2.5}$, NO_2 en jaargemiddelde temperatuur (Nassan et al., 2021). In toekomstige HBM-studies kunnen multi-omics technieken mee de adverse outcome pathways in kaart brengen die klimaatverandering-gerelateerde blootstelling aan gezondheidseffecten linken.

3.9 BIOMERKERS VOOR CARDIOMETABOLE EFFECTEN

Cardiometabole parameters die het meest relevant zijn in de context van hittestress door klimaatverandering, zijn de variabiliteit van de hartslag en bloeddruk (Gostimirovic et al., 2020). Deze kunnen gemeten worden op de onderzoeksdag, zoals in de FLEHS-campagnes, maar kunnen ook op langere termijn tijdens hitteperiodes gemonitord worden met behulp van wearables (zie ook sectie 3.6).

In FLEHS-campagnes werden tevens cardiometabole parameters zoals **cholesterolgehalte, triglyceridengehalte en body mass index (BMI)** bepaald, in de laatste campagne bij jongeren werd eveneens de buikomtrek gemeten. Temperatuurstijging en hitte kunnen bijdragen aan verhoogde LDL cholesterol spiegels (Halonen et al., 2011), mogelijk via een sedentair leven en slaaptekort. Luchtvervuiling en chemische blootstelling dragen bij aan systemische inflammatie, chronische biologische stress en de ontwikkeling van diabetes (Halonen et al., 2010; Münzel et al., 2016; V. Verheyen et al., 2020). Dit zijn risicofactoren voor obesitas. De combinatie buik/heupomtrek en de meting van visceraal vet via bio-elektrische impedantie kunnen bijkomend relevante informatie opleveren om het gezondheidsrisico in te schatten. Ook bij adolescenten is overgewicht een groot gezondheidsrisico, zwaarlijvigheid tijdens de adolescentie is significant geassocieerd met een verhoogd risico op hart- en vaatziekten en stofwisselingsziekten zoals type 2 diabetes op volwassen leeftijd (Weihrauch-Blüher et al., 2019). Vroege merkers van cardiovasculaire en metabole veranderingen kunnen in kaart gebracht worden met specifiek daartoe ontwerpen eiwit-panels, te bepalen in een klein volume van 200 µl serum met behulp van de MSD-multiplex immunoassays. Het gevalideerde “metabolic” multiplex panel van MSD laat toe om endocriene hormonen zoals **insuline, leptine, glucagon** te meten, de “pro-inflammatory” panels meten een 10-tal inflammatoire merkers in eenzelfde klein volume. Multiplex immuno-assays bieden in toekomstige HBM-studies de mogelijkheid om een brede screening van vroege inflammatoire en cardiometabole merkers uit te voeren in kleine volumes die de deelnemer minimaal belasten. Ook de bepaling van hemoglobine A1c (zie 3.5) geeft informatie over de cardiometabole gezondheid.

3.10 BIOMERKERS VOOR INSCHATTING VAN HUIDSCHADE EN HUIDAANDOENINGEN

Aangezien de prevalentie van huidkanker door de klimaatverandering sterk toeneemt, is er behoefte aan niet-invasieve biomerkers om huidschade in te schatten en de doeltreffendheid te beoordelen van preventiestrategieën die gericht zijn op vermindering van de blootstelling aan UV-straling.

Recent werden cytokines in het stratum corneum (SC) als biomerkers toegepast in verschillende inflammatoire huidziekten. Immuunregulatie speelt een belangrijke rol in de etiologie van non-melanoma huidkanker. Cytokines kunnen in het SC worden gekwantificeerd door niet-invasieve tape-stripping in combinatie met MSD immunoassay analyse (Hulshof et al., 2019). De Universiteit Amsterdam bepaalde in een exploratief onderzoek na gecontroleerde blootstelling aan UV-licht SC cytokines als kandidaat-biomerkers voor inflammatie bij gezonde vrijwilligers (Keurentjes et al., 2020). Cytokines vertoonden significante veranderingen, zelfs na een suberythemale UV-dosis. Deze methodiek werd nog niet toegepast in HBM-onderzoek en dient eerst verder ontwikkeld te worden voor epidemiologisch onderzoek.
Irritatie van de huid en huidaandoeningen kunnen bevraagd worden via specifieke vragenlijsten, zoals aangegeven door Wolkenstein et al. (2003).

3.11 BIOMERKERS VOOR ENDOCRIENE VERSTORING

Endocriene verstoring kan geassocieerd zijn met klimaatverandering-gerelateerde chemische blootstelling, maar kan ook een indicatie zijn voor de fysiologische stress die veroorzaakt wordt door hoge temperaturen of luchtverontreiniging.
Haar cortisolconcentraties: Cortisol is een stresshormoon dat in de bijnierschors wordt aangemaakt. Signalen vanuit de hypothalamus en de hypofyse in de hersenen sturen de aanmaak van cortisol aan. Cortisol beïnvloedt de bloeddruk en het immuunsysteem, regelt de vrijstelling van energiereserves en heeft een invloed op de slaap-waak cyclus. De cortisolconcentratie in hoofdhaar (HCC) is een gevalideerde biomerker voor chronische biologische stress, een haarlengte van één centimeter komt overeen met de cortisol vrijstelling over een periode van één maand (Gray et al., 2018). Met een haarlok van 3 cm lang, kan de cortisol concentratie van 3 maanden voorafgaand aan de knipbeurt in kaart gebracht worden (Stalder et al., 2017). Het meten van het cortisolgehalte in hoofdhaar (HCC) dat dicht tegen de schedel wordt afgeknipt, is dus een goede methode om retrospectief het biologische stressniveau van een individu te bepalen. Cortisol kan ook gemeten worden in bloed of speeksel, maar het cortisolniveau schommelt sterk over de dag en deze metingen geven enkel een momentopname weer (Wosu et al., 2013). HCC waren bij FLEHS-4 jongeren significant geassocieerd met blootstelling aan luchtvervuiling op het thuisadres (enkel jongens), en met urinaire concentraties van 1-hydroxypyreen (Verheyen et al., 2021c, 2021a). Een hogere omgevingstemperatuur en seizoen van staalname werden in eerder onderzoek geïdentificeerd als determinanten van HCC (Abell et al., 2016; Jafari et al., 2021). Het meten van HCC in een toekomstige HBM-campagne kan mee het verband tussen klimaatverandering-gerelateerde factoren (hitte, luchtkwaliteit, chemische blootstelling) en chronische biologische stress onderbouwen.
Geglycosyleerd hemoglobine (HbA1c): Hemoglobine A1c is een eiwit dat rode bloedcellen zijn kleur geeft en waaraan glucose kan binden. De hoeveelheid gesuikerd (geglycosyleerd) hemoglobine (mmol/mol) in het bloed over een periode van 3 maanden voorafgaand aan een staalname**,** weerspiegelt de gemiddelde bloedsuikerspiegel over deze periode. De bepaling van HbA1c is een klinisch gevalideerde meting, die routinematig wordt toegepast bij diabetici maar eveneens bij niet-diabetici uitgevoerd wordt.
Het labo AML voert de meting uit met behulp van hoge druk vloeistof chromatografie - zichtbaar licht detectie. HbA1c werd gemeten in FLEHS-3 bij volwassenen en wordt in de jongerenstudie HBM-omgeving 3M gemeten bij jongeren.
Zoals aangegeven in de literatuurstudie zijn klimaatverandering en incidentie van diabetes direct en indirect met elkaar verbonden: luchtvervuiling, chemische blootstelling en ook hitte kan iemands gevoeligheid voor het ontwikkelen van diabetes doen toenemen. Hitte kan bijdragen aan een meer sedentaire levensstijl, hetgeen ook de ontwikkeling van diabetes bevordert (Cuschieri and Calleja

Agius, 2021). De combinatie van fysieke activiteit (of gebrek eraan), sedentair gedrag en slaap wordt beschouwd als de 24-h-bewegingsgedragingen, alle factoren in de combinatie worden beïnvloed door de omgevingstemperatuur (Zisis et al., 2021). Ze worden reeds bevraagd in FLEHS over een periode van een week voor staalname maar worden alsnog niet als gerelateerd aan de temperatuur in die periode. Het meten van HbA1c in een toekomstige HBM-campagne (mogelijk in combinatie met metabole hormonen, zie 3.9) kan een meerwaarde zijn om het verband tussen klimaatverandering-gerelateerde factoren en de ontwikkeling van diabetes te onderzoeken. Bijkomend kan gerichte bevraging van de deelnemers het verband van hitte en warme periodes met een sedentaire levensstijl verduidelijken.
De belangrijkste hormonen die door de schildklier worden geproduceerd zijn thyroxine of **tetraiodothyronine (T4) en triiodothyronine (T3). Thyroid-stimulating hormone (TSH)** van de voorste hypofyse en T4 werken synchroon samen om de homeostase in stand te houden. Het schildklierhormoon reguleert de stofwisseling, de groei en vele andere lichaamsfuncties. In een meta-analyse werd aangetoond dat de concentraties van schildklierhormonen in bloed variëren volgens seizoen, mogelijk spelen meteorologische factoren hierbij een rol (Kuzmenko et al., 2021). Daarnaast rapporteerden verschillende studies verbanden tussen PAK's/zware metalen/POP's en schildklierhormonen (Chen et al., 2013; M. J. Kim et al., 2021). In de literatuur wordt geen link tussen klimaatverandering en schildklierwerking beschreven.
Geslachtshormonen worden bij jongens gemeten om de hormoonverstorende werking van chemische stoffen zoals POP's, bisfenolen, perfluor-verbindingen en ftalaten te onderzoeken (Den Hond et al., 2015). In de literatuur wordt er (nog) geen link tussen klimaatverandering en geslachtshormonen beschreven.

3.12 MONITORING COGNITIEVE FUNCTIE

Hoge temperaturen en luchtvervuiling kunnen bij jongeren een directe impact hebben op cognitieve vaardigheden (Cedeño Laurent et al., 2018; Kicinski et al., 2015) De negatieve gevolgen van klimaatverandering op de mentale gezondheid dragen indirect ook bij aan cognitieve problemen (Burke et al., 2018). Een Neurobehavioral Evaluation System (NES) batterij test werd eerder in de Vlaamse HBM gebruikt om volgehouden aandacht, kortetermijngeheugen en handmotorische snelheid te beoordelen tijdens de onderzoeksdag. NES is een batterij van neurocognitieve testen die ontwikkeld is om de neurologische effecten van milieuverontreiniging te onderzoeken (Steunpunt milieu en gezondheid, n.d.). De volgehouden aandacht kan beoordeeld worden door Continuous Performance en Stroop-test, het kortetermijngeheugen door de digit span voorwaarts en achterwaarts en de motorische snelheid door een vingertiktaak. Bij FLEHS jongeren was een toename van t, t'-muconzuur in urine geassocieerd met een afname van de volgehouden aandacht (Kicinski et al., 2015). Een hoger percentage groen (hoog en laag groen) in een straal van 2000 m rond de woning was geassocieerd met een snellere reactietijd bij adolescenten op basis van de Stroop en Continuous Performance test (Bijnens et al., 2022).

3.13 MONITORING VAN WELBEVINDEN EN PSYCHOLOGISCHE GEVOLGEN DOOR BEVRAGING

De **perceptie en hinder van acute hittestress** kan met behulp van vragenlijsten in kaart gebracht worden. Enkele voorbeelden zijn : *Als de zomer erg warm wordt, hoe sterk ervaart u dan blootstelling aan hitte in uw woning?; Hoe ervaarde u dagelijks de hitte gedurende het onderzoek op een schaal van 1 (laag) tot 6 (hoog)* (Franck et al., 2013). In het kader van het Europese "Heat shield" project, werd een 3-delige vragenlijst opgemaakt voor hittestress in de arbeidscontext (Messeri et al., 2019). De lijst vragen i.v.m. demografische en fysiologische kenmerken van de persoon, informatie over de verrichte activiteit (aantal uren binnen/buiten, aanwezigheid van koeling) en warmteperceptie (aanvoelen, ziekteverschijnselen) neemt ongeveer tien minuten in beslag. **Adaptatiemaatregelen tijdens periodes van acute hittestress** kunnen bevraagd worden zoals bv. appreciatie en gebruik maken van bepaalde locaties in functie van de temperatuur, manieren om de woning koel te houden, … Deze informatie kan gekoppeld worden aan omgevingsindicatoren zoals bv

- Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als bomen in de omgeving van gebouwen en op het publiek domein (straten, parken, pleinen);
- Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als groendaken en muurbegroeiing (klimplanten, geveltuinen);
- Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als zonnescreens;
- Gebruik van passieve koeling door nachtelijke ventilatie;
- Afstand van woning tot koelte-locatie (gebouwen met airco, voldoende groot park);
- Aanwezigheid van bomen op publiek domein en privédomein in buurt van woning;
- Aanwezigheid van verharde oppervlakten in buurt van woning.

In FLEHS-4 werd ook de **slaapkwaliteit** op korte en lange termijn bevraagd, een parameter die sterk gerelateerd is aan **hittestress** en gezondheidseffecten. De slaapkwaliteit kan daarnaast ook gemonitord worden via wearables en kan gekoppeld worden aan hierboven vermelde omgevingsindicatoren.

In FLEHS-4 werd de **vitaliteitsscore** van jongeren geëvalueerd als indicator voor mentaal welzijn in de 4 weken voor het onderzoek, een optimale vitaliteit was bij de jongeren significant geassocieerd met lagere haar cortisol concentraties (Verheyen et al., 2021b). De vitaliteitsscore is gebaseerd op 4 parameters voor geestelijke gezondheid uit de Short Form-36 (SF-36) Health Survey-vragenlijst: levenslust, energieniveau, mate van uitputting en vermoeidheid in de afgelopen 4 weken, met scores tussen 0 en 100 (beste score) (Brown et al., 2011). De Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ) is een in FLEHS-4 gebruikte gevalideerde screeningsmethode die een breed scala van geestelijke gezondheidssymptomen bevraagt over een periode van 6 maanden voor het onderzoek (Goodman, 2001).

Recent werd het gevoel van **climate-anxiety** bevraagd bij 10 000 jongeren (16-25 jaar) uit 10 landen, verspreid over de hele wereld (Verenigde Staten van Amerika, Verenigd Koninkrijk, Australië, India, Filippijnen, Nigeria, Frankrijk, Finland, Portugal, Brazilië) (Hickman et al., 2021). De compacte set van 8 vragen uit de survey (zie Bijlage I) is zeer geschikt om opgenomen te worden in toekomstige HBM-campagnes bij jongeren. Resultaten binnen Vlaanderen kunnen afgetoetst worden aan de internationale bevindingen: meer dan 50% van de jongeren voelde zich verdrietig, angstig, boos, machteloos, hulpeloos en schuldig. Meer dan 45% zei dat hun gevoelens over klimaatverandering

een negatieve invloed hadden op hun dagelijks leven en functioneren, en velen meldden een groot aantal negatieve gedachten. De bevraging peilt ook naar hoe de rol van de overheid ervaren wordt.

3.14 MONITORING VAN ASTMA, ALLERGIE, INFECTIES

Data rond het voorkomen van infecties, allergie en astma kunnen verzameld worden op basis van gegevens van huisartsen (INTEGO), van huisartsen wachtposten (iCARE) en van geneesmiddelenverkoop (IMA, Farmaflux).
Voor allergie en infectieziekten die milde klachten veroorzaken, geldt dat veel patiënten de huisarts of wachtpost niet bezoeken en klachten zelf behandelen met vrij verkrijgbare geneesmiddelen.

Voor opvolging van de incidentie van infecties door tekenbeten kan gevraagd worden naar het optreden van tekenbeten in de afgelopen week/maand/12 maanden (zie 3.16.1). Aanvullend kan mogelijk alfa-gal specifiek IgE gemeten worden bij de deelnemers van een HBM-studie om de incidentie van tekenbeten op te volgen.

In HBM-onderzoek wordt informatie omtrent infecties en astma verzameld op basis van de ISAAC vragenlijst (International Study of Asthma and Allergies in Childhood) (Asher et al., 1995). In de FLEHS-campagnes wordt op basis van zelfrapportering via gestandaardiseerde ISAAC-vragenlijsten nagegaan hoe frequent astma en verschillende types van allergieën voorkomen. Volgende parameters worden bevraagd: astma, rhinitis, eczeem, huidallergie voor metalen, verzorgings-, huishoud- of onderhoudsproducten, allergie voor voeding, medicatie of insecten, allergie voor dieren. Deze vragen zijn echter niet specifiek op pollenallergie gericht en dienen verder verfijnd te worden. Een gevalideerde bevraging naar de symptomen van allergische rhinitis door pollen (pollinosis) in combinatie met IgE analyse wordt beschreven in Yokoi et al. (2022). Er kan eventueel verder in detail bevraagd worden voor welke pollen (bv. voorjaarsbomen, grassen, onkruiden, …) men allergisch is.

3.15 SELECTIE BIOMERKERS EN GEZONDHEIDSEFFECTEN

Tabel 3-1 en Tabel 3-2 geven een overzicht voor de biomerkers van blootstelling en van effect, respectievelijk. Voor elke biomerker wordt naast de groepsnaam en de sectie in dit rapport waar de biomerker uitgebreid beschreven wordt, volgende informatie samengevat in Tabel 3-1 en Tabel 3-2:

- Motivatie voor selectie in longlist;
- Opmerkingen en aandachtspunten van diverse aard;
- Selectiescore: J, N, O (zie hierboven);
- Motivatie voor selectie;
- Indicatie van kostprijs (indien selectiescore J).

In Bijlage K wordt aanvullend een kostprijs inschatting gegeven van de geselecteerde biomerkers (prijzen 2^{e} kwartaal 2022) volgens de vereisten voor een referentiemonitoring (n = 200) en voor blootstelling-effect associaties (n = 300).

Tabel 3-1 Shortlist van biomerkers van blootstelling

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Vluchtige organische stoffen (VOC's) - antropogene VOC's	Breed spectrum VOC-meting cfr. NHANES	Sectie 3.3.1	↑ Temp eratuur0 : ↑ blootstelling aan antropogene VOC's binnenhuis, ↑ risico op bosbranden en vrijstelling; Carcinogeen, immunotoxisch	Benzeen reeds in referentie HBM, overige VOC's niet	O	• Biologisch relevante biomerkers, maar slechts occasioneel klimaatverandering gerelateerd bijkomend risico • Methodologisch: gevalideerde breed spectrum analyses, ook op te volgen via milieumetingen (indoor Sensorbox, outdoor VMM) • Beleidsrelevantie: HBM-analyse mogelijk in de toekomst indien risico relevant	
Vluchtige organische stoffen (VOC's) - antropogene VOC's - trihalomethanen THM's)	Desinfectiebijproducten in drink- en zwembadwater: broomdichloormethaan, dibroomchloormethaan, bromoform en chloroform	Sectie 3.3.1	Hitte, droogte, overstromingen: ↑nood aan desinfectie drinkwater, hitte: ↑ gebruik zwembaden; Mogelijk carcinogeen, groter risico op miskraam, aangeboren afwijkingen	Opvolging van normoverschrijdingen in drinkwater door VMM meest aangewezen, nog niet in referentie HBM	O	• Biologisch relevante biomerkers, maar slechts occasioneel klimaatverandering gerelateerd risico • Methodologisch: HBM gevalideerd, reeds opvolging in drinkwater via VMM-meetnetwerk • Beleidsrelevantie: HBM-analyse meerwaarde in de toekomst indien overschrijding normen	

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Vluchtige organische stoffen (VOC's) - natuurlijke VOC's	Terpenen	Sectie 3.3.1	↑ Vervluchtiging VOC's in bossen, tuinen door ↑ temp	Terpenen (fytonciden) mogelijk anti-inflammatoir	N	• Biologisch mogelijk relevante biomerkers (nog verder te onderbouwen) • Methodologisch geen onderscheid natuurlijke/synthetische terpenen • Beleidsrelevantie: integrale impact natuur en biodiversiteit als geheel relevanter	
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)	Metabolieten (OH-PAK's): hydroxy-pyrene, 1-hydroxy-naphtalene, 2-hydroxy-naphtalene, 2,3-hydroxy-fluorene, 9-hydroxy-fluorene, 1,2,3,4,9-hydroxy-phenanthrene, 3-hydroxy-benzopyrene)	Sectie 3.3.2	↑ Blootstelling door bosbranden, levensstijl: voeding (BBQ); ↑ Toxiciteit van PAK's in combinatie met UV-straling; Carcinogeen, immunotoxisch	Reeds in referentie HBM	J	• Biologisch relevante biomerker, UV-toxisch • Methodologisch: gevalideerde methode, geïntegreerde blootstelling • Beleidsrelevantie: gelinkt aan klimaatverandering, maatregelen mogelijk • Opvolging in HBM relevant naast luchtkwaliteitsmetingen want gedrag belangrijke determinant van blootstelling (contact houtstook, gegrilde voeding, …)	225 euro (VITO)

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Luchtvervuiling	Urinaire koolstof lading	Sectie 3.3.2	Biomerker voor roetpartikels in luchtvervuiling; Carcinogeen, immunotoxisch	Reeds in referentie HBM	J	• Biologisch relevante biomerker • Methodologisch: gevalideerde analyse, geïntegreerde weerspiegeling luchtvervuiling • Beleidsrelevantie: gelinkt aan klimaatverandering, maatregelen mogelijk • Opvolging in HBM relevant, ook indien luchtkwaliteitsmetingen beschikbaar want beeld van dynamische blootstelling	60 euro (UHasselt)
UV-filters (zonnebrandproducten)	Benzofenon-3	Sectie 3.3.3	↑UV-blootstelling; ↑ persoonlijk gebruik & ↑ blootstelling via milieu + bioaccumulatie in voeding; Hormoonverstorend, contactallergie	Indicator voor gebruik chemische zonnefilters, nog geen opvolging interne blootstelling in Vlaanderen	O	• Biologisch relevante biomerker • Methodologisch: gevalideerde analyse, geïntegreerde blootstelling • Beleidsrelevantie: geen gezondheidsrisico bij huidige blootstelling in risico-evaluatie HBM4EU, HBM mogelijk indien in de toekomst relevant	
Perfluor-verbindingen (zonnebrandproducten)	Perfluorderivaten (PFOS, PFOA) + andere PFAS	Sectie 3.3.3	↑ Bestrijding (natuur)branden, ↑ gebruik zon- en verzorgingsproducten; Lever-, thyroid-, hormoon-, immuun toxiciteit	Reeds in referentie HBM	O	• Biologisch relevante biomerker • Methodologisch: gevalideerde analyse, ook opvolging in milieu • Beleidsrelevantie: prioritaire stofgroep maar zwakke link met klimaatverandering, mogelijk in de toekomst opvolging indien risico relevant	

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Bewaarmiddelen (zonnebrandproducten)	Parabenen (pHBA)	Sectie 3.3.3	↑UV-blootstelling: ↑ persoonlijk gebruik & ↑blootstelling via milieu + bioaccumulatie in voeding; Hormoonverstorend	Geen opvolging in referentieHBM	N	• Biologisch relevante biomerker • Methodologisch: HBM-meting te hervalideren • Beleidsrelevantie: slechts zeer zwakke indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen (VL)	
Geurversterkers (zonnebrandproducten)	Musks (Tonalide, Musk xyleen, galaxolide, musk ketone)	Sectie 3.3.3	↑UV-blootstelling: ↑persoonlijk gebruik & ↑blootstelling via milieu + bioaccumulatie in voeding; Hormoonverstorend	Geen opvolging in referentieHBM	N	• Biologisch relevante biomerker • Methodologisch: HBM-meting te hervalideren • Beleidsrelevantie: slechts zeer zwakke indirecte link met klimaatverandering	
Pesticiden	3-PBA, 2,4-D, TCPγ (Chlorpyrifos), Glyfosaat, AMPA	Sectie 3.3.4	↑ Nood aan gewasbescherming (droogte, natte periodes); Hormoonverstorend, mogelijk carcinogeen, neurotoxisch	Reeds in referentie HBM	J	• Biologisch relevante biomerkers • Methodologisch: gevalideerde meting, weerspiegeling geïntegreerde blootstelling • Beleidsrelevantie: sterke link met klimaatverandering in VL, maatregelen mogelijk • Opvolging relevant naast verkoopcijfers in Vlaanderen, bevraging deelnemers (gedrag, voeding) en andere milieu- en voedingsfactoren want monitoring trends van geïntegreerde blootstelling mogelijk	130 euro (SDU)

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Zware metalen	As-metabolieten	Sectie 3.3.5	Interne blootstelling wordt gemeten in FLEHS, mogelijk, lokaal hogere concentraties in grondwater.	Reeds in referentie HBM	O	• Biologisch relevante biomerkers • Methodologisch: gevalideerde meting, weerspiegeling geïntegreerde blootstelling • Beleidsrelevantie: zwakke link met klimaatverandering in VL (voornamelijk Azië), opvolging mogelijk in de toekomst indien risico relevant	
Zware metalen (Cd, Cu, Zn)	Cd, Zn, Cu	Sectie 3.3.5	↑ Gebruik meststoffen (droogte) (bevatten zware metalen), ↑ circulatie bodemstof bij droogte; Verstoorde nierwerking, verstoorde botvorming, verhoogde bloeddruk, kankerverwekkend, immuunverstorend	Reeds in referentie HBM	J	• Biologisch relevante biomerkers • Methodologisch: gevalideerde meting, weerspiegeling geïntegreerde blootstelling • Beleidsrelevantie: sterke link met klimaatverandering in VL mogelijk, maatregelen mogelijk	80 euro (brede screening) (VUB)
Organofosfaat vlamvertragers (PFR's)	Metabolieten van PFR's	Sectie 3.3.6	Interne blootstelling wordt gemeten in FLEHS, mogelijk beïnvloed door temp?	Reeds in referentie HBM	O	• Biologisch relevante biomerkers • Methodologisch: gevalideerde meting, weerspiegeling geïntegreerde blootstelling • Beleidsrelevantie: volgens huidige inzichten in FLEHS geen significant verband met klimaatverandering in VL, mogelijk in de toekomst indien risico relevant	

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Persistente organische polluenten (POP's)	Merker PCB's, DDT en metaboliet DDE, HCB, g-HCH (lindaan), chlordaan groep, gebromeerde vlamvertragers (PBDE's)	Sectie 3.3.6	↑ Vrijkomen historische pesticiden in milieu; Hormoonverstorend, mogelijk carcinogeen, neurotoxisch	Reeds in referentie HBM	O	• Biologisch relevante biomerkers • Methodologisch: gevalideerde meting, weerspiegeling geïntegreerde blootstelling • Beleidsrelevantie: zeer zwakke link met klimaatverandering in VL, mogelijk in de toekomst indien risico relevant	
Plastic component	Metabolieten van ftalaten + DINCH + alternatieven	Sectie 3.3.6	Interne blootstelling wordt gemeten in FLEHS, mogelijk beïnvloed door temp?	Reeds in referentie HBM	O	• Biologisch relevante biomerkers • Methodologisch: gevalideerde meting, weerspiegeling geïntegreerde blootstelling • Beleidsrelevantie: op basis van huidige inzichten in FLEHS geen associatie met klimaatverandering in VL, mogelijk in de toekomst indien risico relevant	
Plastic component	BPA, BPS + mogelijk andere bisfenolen	Sectie 3.3.6	Interne blootstelling wordt gemeten in FLEHS, mogelijk beïnvloed door temp?	Reeds in referentie HBM	O	• Biologisch relevante biomerkers • Methodologisch: gevalideerde meting, weerspiegeling geïntegreerde blootstelling • Beleidsrelevantie: op basis van huidige inzichten in FLEHS geen associatie met klimaatverandering in VL, mogelijk in de toekomst indien risico relevant	

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Natuurlijke toxines	Mycotoxines	Sectie 3.4.1	↑ In voorkomen van schimmels en verschuiving soorten schimmels in voeding en omgeving; Immunosuppressief, mutageen, carcinogeen, lever-, niertoxisch, hormoonverstorend	Seizoensgebonden blootstelling, niet in referentie HBM	J	• Biologisch relevante biomerkers • Methodologisch: gevalideerde meting (micro-sampling mogelijk), weerspiegeling geïntegreerde blootstelling • Beleidsrelevantie: sterke link met klimaatverandering in VL, prioritaire aanpak om blootstelling in de algemene bevolking op te volgen, maatregelen mogelijk	65-120 euro (UGent), VAMS 2.5 euro/stuk
Natuurlijke toxines	Cyanotoxines: icrocystine-LR (MC-LR), Microcystine-RR (MC-RR) en Microcystine-LR (MC-YR)	Sectie 3.4.2	↑ temp: ↑ toxische blauwalgenbloei in Vlaamse recreatiewateren en waterlopen	Proxy voor chronische blootstelling aan MC-LR	N	• Biomerkers voor héél korte termijn weinig relevant • Methodologisch: complexe meting • Beleidsrelevantie: blootstelling relevant maar opvolging in milieu isvoorkeursaanpak, maatregelen op basis van vaststellingen in milieu	

Tabel 3-2 Shortlist van biomerkers van gezondheidseffect

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Dehydratatie	Serum/plasma osmolaliteit	Sectie 3.5	Klinische merker, dehydratatie bij hittestress	Multifactorieel Niet geschikt bij ouderen	O	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde meting • Enkel relevant bij onderzoek dat zich op acute hittestress richt	
Dehydratatie	Soortelijk gewicht /creatinine	Sectie 3.5	Klinische merker, dehydratatie bij hittestress	Multifactorieel Niet geschikt bij ouderen	O	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde meting • Enkel relevant bij onderzoek dat zich op acute hittestress richt	
Nierparameters	Cystatine-C	Sectie 3.5	Klinische merker nierschade	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde meting • Relevant voor klimaatverandering in VL: beïnvloed door langdurige chemische en toxine blootstelling • Opvolging relevant indien relevante blootstellingsmerkers beschikbaar	17 euro (AML)

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Nierparameters	α1-microglobuline	Sectie 3.5	Klinische merker nierschade	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde meting • Relevant voor klimaatverandering in VL: beïnvloed door langdurige chemische en toxine blootstelling • Opvolging relevant indien relevante blootstellingsmerkers beschikbaar	17 euro (AML)
DNA-schade	Komeettest	Sectie 3.7	Vroege merker DNA-schade na ↑temperatuur & UV-straling, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, geassocieerd aan infecties, allergie, & chronische aandoeningen	Multifactorieel Geen voorkeursmethode voor DNA-schade bij jongeren	O	• Biologisch relevante biomerker, bij jongeren-HBM minder geschikt, voorkeur voor 8-oxodG, mogelijk een optie in andere leeftijdsgroepen • Gevalideerde analyse • Enkel relevant indien onderzoek bij volw.	
DNA-schade, oxidatieve stress	8-OXOdG	Sectie 3.7	Cellulaire schade na ↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, geassocieerd aan ontwikkeling chronische aandoeningen	Multifactorieel Voorkeursmethode vroege DNA-schade	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: verband met ≠ aspecten klimaatverandering in VL	33 euro (VITO)
Cellulaire veroudering	Telomeerlengte	Sectie 3.7	Cellulaire veroudering na ↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, geassocieerd aan ontwikkeling chronische aandoeningen	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: verband met ≠ aspecten klimaatverandering in VL	25 euro (UHasselt)

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Immuunparameters	IgE, IgA, IgG	Sectie 3.8	Klinische merkers, toename aeroallergenen door klimaatverandering in VL, synergie met luchtvervuiling	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: sterk verband met pollenconcentraties, keuze voor specifieke allergenen in VL onderbouwen	Totaal: 13 euro, specifiek: 13 euro /allergeen (AML)
Luchtweginflammatie	Exhaled NO	Sectie 3.8	Inflammatie na ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, geassocieerd met astma	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: sterk verband met ≠ aspecten klimaatverandering aangetoond	18 euro
Immuunparameters	WBC-bloedformule (incl lymfocyten subtypes)	Sectie 3.8	Immuunverstoring na ↑temperatuur & UV-straling, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, geassocieerd aan infecties, allergie, & ontwikkeling chronische aandoeningen	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: sterk verband met ≠ aspecten klimaatverandering aangetoond	22 euro (AML)
Immuunparameters	Cytokines (IL-6, TNF-alfa, IL-8, IFN-gamma)	Sectie 3.8	Immuunverstoring na ↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, geassocieerd aan infecties, allergie, & ontwikkeling chronische aandoeningen	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: sterk verband met ≠ aspecten klimaatverandering aangetoond	40 euro (VITO)

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Immuunparameters	Ultra sensitief C-reactief Proteïne	Sectie 3.8	Gevalideerde meting, immuunverstoring na ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, geassocieerd aan infecties & ontwikkeling chronische aandoeningen	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: sterk verband met ≠ aspecten klimaatverandering aangetoond	5.5 euro (AML)
Moleculaire veranderingen	Omics-technieken o. a. proteomics Olink Target 96 Immune Response, Cardiovascular Response, DNA-adductomics, metabolomics	Sectie 3.8	Vroege moleculaire veranderingen gelinkt aan ↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, specifiek gericht op infecties & ontwikkeling chronische aandoeningen	Multifactorieel Grote studiepopulaties nodig Constante evolutie in technologie	O	• Biologisch relevante biomerker indien grote studiepopulatie • Gevalideerde analyse • Mogelijk relevant in grootschalig onderzoek: sterk verband met ≠ aspecten klimaatverandering aangetoond	
Cardiovasculaire parameters	Cholesterolgehalte, triglyceridengehalte	Sectie 3.9	Impact van ↑temperatuur direct en indirect (sedentaire levensstijl), ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: verband met ≠ aspecten klimaatverandering aangetoond	8 euro (AML)
Cardiovasculaire parameters	Bloeddruk en hartslag, BMI	Sectie 3.9	Impact van ↑temperatuur direct en indirect (sedentaire levensstijl), ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: sterk verband met ≠ aspecten klimaatverandering aangetoond	veldwerk

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Cardiometabole/endocriene parameters	Insuline, leptine, glucagon	Sectie 3.9	Impact van ↑temperatuur direct en indirect (sedentaire levensstijl), ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling	Multifactorieel Nuchtere staalname mogelijk obstakel	O	• Biologisch relevant indien staalname nuchter • Gevalideerde analyse • Relevant: zwak direct en indirect verband met klimaatverandering, staalname nuchter is beperking voor HBM, voorkeur naar HbA1c (zie verder)	
Huidschade	Cytokines, groeifactoren	Sectie 3.10	Impact UV-staling	Exploratief onderzoek	N	• Biologische relevantie nog aan te tonen • Validatie nodig in epidemiologisch onderzoek • Relevantie in HBM nog onduidelijk	
Endocriene parameters voor oxidatieve en fysiologische stress	Cortisolconcentratie	Sectie 3.11	↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling → Biologische en mentale stress ↑→ ↑ chronische mentale en fysieke aandoeningen	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: sterk verband met ≠ aspecten klimaatverandering aangetoond	47 euro (SDU)
Endocriene parameters voor oxidatieve en fysiologische stress	Geglycosyleerd hemoglobine (HbA1c) bij niet-diabetici	Sectie 3.11	Merker voor (pre)diabetes. Direct en indirect (levensstijl) gelinkt aan klimaatverandering in Vlaanderen	Multifactorieel	J	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde analyse • Relevant: vroege merker voor endocriene verstoring, direct en indirect verband met klimaatverandering, lange-termijn merker	6.5 euro (AML)

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Endocriene parameters	Geslachtshormonen (jongens)	Sectie 3.11	Impact chemische blootstelling	Multifactorieel	N	• Biologisch relevante biomerker bij jongens maar staalname voor 11h • Gevalideerde meting • Weinig relevant want slechts heel zwakke en indirecte link met klimaatverandering in VL	
Endocriene parameters	Thyroïdstimulerend hormoon (TSH), vrij trijodothyronine (fT3), vrij thyroxine (fT4)	Sectie 3.11	Impact chemische blootstelling, seizoen	Multifactorieel	N	• Biologisch relevante biomerker • Gevalideerde meting • Weinig relevant want slechts heel zwakke en indirecte link met klimaatverandering in VL	
Cognitieve functie	NES test, Stroop test, Continuous Performance test	Sectie 3.12	Impact van ↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, mentale belasting	Multifactorieel	J	• Cognitietesten • Gevalideerde techniek • Relevant want verband met ≠ aspecten klimaatverandering in VL	
Welbevinden	Bevraging met specifieke vragen in kader van klimaatverandering	Sectie 3.13	Impact van ↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, mentale belasting	Multifactorieel	J	• Gezondheidsrelevant • Gevalideerde vragenlijst • Relevant want verband met ≠ aspecten klimaatverandering in VL	
Mentale gezondheid	Bevraging met specifieke vragen in kader van klimaatverandering	Sectie 3.13	Impact van ↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, mentale belasting	Multifactorieel	J	• Gezondheidsrelevant • Gevalideerde vragenlijst • Relevant want verband met ≠ aspecten klimaatverandering in VL	
Slaapkwaliteit	Bevraging met specifieke vragen in kader van klimaatverandering	Sectie 3.13	Impact van ↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, mentale belasting	Multifactorieel Aanvullende info via wearable optie	J	• Gezondheidsrelevant • Gevalideerde vragenlijst • Relevant want verband met ≠ aspecten klimaatverandering in VL	

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Selectie	Motivatie	Indicatie kostprijs
Astma, allergie, infecties	Bevraging met specifieke vragen in kader van klimaatverandering	Sectie 3.14	Impact van aeroallergenen, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling,	Multifactorieel	J	• Gezondheidsrelevant • Gevalideerde vragenlijst • Relevant want verband met ≠ aspecten klimaatverandering in VL	

3.16 BLOOTSTELLINGSPARAMETERS, CONTEXTVARIABELEN EN GEZONDHEIDSEINDPUNTEN

De gezondheidseffecten die met behulp van humane biomonitoring worden onderzocht hebben vaak verschillende, al dan niet klimaat-gerelateerde, oorzaken. Naast blootstelling aan andere chemische stoffen kunnen ook genetica, socio-economische aspecten en levensstijl factoren een rol spelen in het verband tussen chemische blootstelling en gezondheid (Robinson et al., 2018). Om het verband tussen blootstelling en gezondheidseffecten met behulp van HBM goed in te kunnen schatten, is het belangrijk om deze parameters goed in kaart te brengen en mee te nemen in de analyses als mogelijke determinanten van blootstelling, of als mogelijk relevante invloedfactoren (confounders, covariaten). Deze informatie kan onder meer bekomen worden op basis van vragenlijsten, kaartmateriaal voor omgevingsfactoren, publieke datadank-gegevens over socio-economische parameters en gezondheid, metingen in verschillende milieucompartimenten, en additionele metingen in verzamelde stalen.

3.16.1 Meetapparatuur

Hittestress wordt sterk bepaald door de **binnentemperatuur**. Binnentemperatuur (woonkamer, slaapkamer) is dus een nauwkeurigere voorspeller van persoonlijke blootstelling aan hitte en hittestress dan buitenparameters (Zuurbier et al., 2021). De VITO Sensorbox[12] meet **luchttemperatuur** en **luchtvochtigheid** binnenhuis en kan tijdens de onderzoeksperiode in huis geplaatst worden om de persoonlijke hittestress mee in kaart te brengen. Luchttemperaturen vertellen echter niet het volledige verhaal over de hittestress die mensen ervaren, de stralingsbelasting (en ook luchtvochtigheid en wind) is een belangrijke factor in het bepalen van hittestress. Een indicator die al deze effecten in rekening brengt is de zogenaamde '**Wet Bulb Globe Temperature'** (WBGT), de ISO-standaard voor het kwantificeren van thermisch comfort (ref ISO 1989) die de impact van temperatuur, luchtvochtigheid en direct of indirect zonlicht weergeeft. Deze indicator wordt door de Belgische overheid (FOD Volksgezondheid en FOD Werk[13]) gebruikt om te bepalen wanneer werknemers worden blootgesteld aan overmatige hittestress. Ook internationaal heeft de WBGT een lange traditie als thermische comfort index, hij wordt vaak ingezet bij studies van de evaluatie van arbeidsgezondheid. Commerciële WBGT-thermometers zijn op de markt beschikbaar, bv.[14].

De VITO Sensorbox bevat sensoren die eveneens de **binnenhuis luchtkwaliteit** meten waaronder het totaal aan vluchtige organische stoffen (tVOS), stikstofmono en -dioxide (NO_x), koolstofdioxide (CO_2), fijn stof (PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}). De boxen zijn voorzien van elektronica (data-loggers) die toelaat de real-time metingen direct ter plaatse af te lezen op het toestel en door te sturen naar een centrale dispatching. De meetresultaten kunnen op kwetsbare locaties geplaatst worden om hitte en luchtkwaliteit in kaart te brengen, kunnen op afstand opgevolgd en verwerkt worden. De data kunnen aangevuld worden met kenmerken die de bewoners aanreiken over hun woning en activiteiten.

[12] https://vito.be/en/news/sensorbox-measures-air-quality-house
[13] https://werk.belgie.be/nl/themas/welzijn-op-het-werk/omgevingsfactoren-en-fysische-agentia/thermische-omgevingsfactoren/hoe?id=39434#WBGT
[14] https://www.atal.nl/producten/portable-meters/wbgt-heatstress/at-hts01-portable-wbgt-heatstress-datalogger.html

De Sensorbox werd reeds ingezet in FLEHS-4 en wordt eveneens door het Departement Omgeving ingezet als onderzoeksinstrument[15]. De indoor Sensorbox registreert naast temperatuur en luchtkwaliteit ook geluid.
Gegevens over fysieke activiteit kunnen aangevuld worden met activiteitgegevens die geregistreerd worden met **wearables**. Steeds meer studies en landen volgen activiteitspatronen van o.a. adolescenten op met behulp van zelf-gerapporteerde activiteit in combinatie met wearables (van Sluijs et al., 2021).

Enkele voorbeelden van op apparatuur gebaseerde surveillance onder adolescenten zijn:

- Canada gebruikt sinds 2007 jaarlijks accelerometers om de fysieke activiteit te meten in de 'Canadian Health Measures Survey'.
- De VS hebben accelerometers opgenomen in de 'National Health and Nutrition Examination Survey' in 2003-06 (gedragen om de taille), en opnieuw in 2011-14 (gedragen om de pols).
- Australië heeft in 2011-12 stappentellers opgenomen in de Australische gezondheidsenquête.
- Malta heeft in 2012 accelerometers gebruikt om de fysieke activiteit bij een nationaal representatief monster van adolescenten te meten.
- Portugal heeft in 2006-08 accelerometers gebruikt om de fysieke activiteit te meten bij een nationaal representatief monster van adolescenten.
- In Noorwegen werden versnellingsmeters gebruikt om de lichaamsbeweging te meten bij nationaal representatieve steekproeven van adolescenten in drie ronden van gegevensverzameling tussen 2005-2017.

Voor analyse: bevragen van mate waarin accelerometer werd gedragen tijdens sporten
Naast activiteitspatronen kunnen **wearables** ook bijdragen aan het registreren van **fysiologische stress** zoals bv hittestress. IMEC (België) ontwikkelde prototypes van 'medical wearables, ingestibles en implantables' die kleine sensoren bevatten die verschillende fysiologische parameters kunnen registreren[16]. Wearables kunnen meerdere stressparameters meten zoals het hartritme, hartritmevariabiliteit (HRV), huidgeleiding en huidtemperatuur, alsook contextuele informatie zoals bv. accelerometrie en ademhalingsfrequentie kunnen gemonitord worden. Zo onderzoekt IMEC samen met de Stad Gent in het experimenteel onderzoeksproject "Nervocity" hoe mensen die wonen en werken in Gent, stress ervaren (IMEC, n.d.). Een slimme armband meet fysiologische waarden die een indicatie geven van iemands stressniveau in een combinatie van meer zweten, een verhoogde hartslag en een hogere huidtemperatuur. De metingen worden weergegeven in een bijhorende app. De technologie laat toe langdurig (vb. gedurende 2 weken) te monitoren. Met deze metingen is het echter niet altijd gemakkelijk om te bepalen of iemand ook stress ervaart of niet, zo geven sportactiviteiten een verhoogde hartslag hebben, meer zweten en een hogere huidtemperatuur zonder dat er stress ervaren wordt. Bovendien is de manier waarop stress zich fysiologisch uit verschillend van persoon tot persoon en kunnen verschillende personen verschillende fysiologische basiswaarden hebben. Ook heel wat smartwatches in de markt proberen fysiologische stress te meten, ook bij deze applicaties staan de achterliggende technologieën vaak nog in hun kinderschoenen.

[15] https://omgeving.vlaanderen.be/indoorbox
[16] https://www.imec-int.com/en/prototypes

In de Nervocity-studie worden de sensordata gecombineerd met een app die die vragen uitstuurt om de stressbeleving in te schatten. De gemeten stress werd ook gekoppeld aan andere data zoals sociale en omgevingsfactoren (IMEC, n.d.).

3.16.2 Vragenlijsten

Uitgebreide bevraging van de deelnemer (en gezin in het geval van kinderen en jongeren) naar socio-economische status, levensstijl, voedingsgewoontes, fysieke en mentale gezondheid, welbevinden maar ook naar inrichting en perceptie van de leefomgeving is nodig om de impact van klimaatverandering op de gezondheid goed in te schatten. De vragenlijsten in de FLEHS-campagnes zijn opgebouwd rond deze verschillende thema's.
In sectie Monitoring van welbevinden en psychologische gevolgen door bevraging3.13 behandelden we reeds het gebruik van vragenlijsten voor het monitoren van welbevinden en psychologische gevolgen, slaapkwaliteit door acute hittestress, alsook genomen adaptatiemaatregelen. Het gevoel van klimaatangst (climate-anxiety) alsook vitaliteit (als indicator voor mentale welzijn) kan bevraagd worden in de context van algemene klimaatverandering.
Specifieke vragen i.v.m. gezondheidseffecten door volgende klimaatgerelateerde stressoren: aeroallergenen en schimmels, UV-straling en hitte, worden hieronder besproken.

Socio-economische status
Een goede bevraging van de **socio-economische status** (SES) van de deelnemer is belangrijk in HBM-onderzoek. De SES van het gezin van de deelnemers wordt in de FLEHS-studies ingeschat op basis van objectieve parameters (equivalent inkomen, herkomst, tewerkstelling, opleiding) en op basis van een subjectieve parameter (hoe makkelijk kan het gezin rondkomen met het beschikbare inkomen). Ook in de relatie tussen klimaat-gerelateerde parameters en gezondheidsmerkers is SES een belangrijke contextvariabele. Zo lopen personen die niet de middelen hebben om adaptieve maatregelen te nemen vanwege gebrek aan kennis over adaptatiemaatregelen en de hoge kostprijs ervan, vaak meer risico op een hogere blootstelling aan verschillende klimaat-gerelateerde factoren (hitte, luchtvervuiling, toxines, chemische stoffen). Personen met een lagere SES hebben daarnaast vaak reeds bestaande gezondheidsklachten (Hass et al., 2021). Bovendien worden gezondheidsklachten vaak pas in een later stadium behandeld, waardoor behandeling mogelijk minder succesvol is. Om de impact van de SES van een gezin op de **kwetsbaarheid voor klimaatverandering** in te schatten, kunnen bijkomende vragen opgenomen worden die peilen naar het vermogen om te anticiperen op, om te gaan met, weerstand te bieden aan en te herstellen van de directe en indirecte gevolgen van klimaatverandering. Hierbij zijn een gerichte bevraging van de eigenschappen en perceptie van de woning (mogelijkheid tot koeling, binnenhuis luchtkwaliteit, risico op overstromingen) en de woonomgeving (toegang tot koelte, groen, luchtkwaliteit) relevant. Verder kunnen vragen naar mentale en fysieke weerbaarheid en de factoren die hieraan bijdragen (financiële, technologische, sociale, cognitieve middelen) een beter inzicht geven. Op gemeentelijk niveau zijn in de gemeente-stadsmonitor Vlaanderen gevalideerde vragen en cijfers beschikbaar over subjectieve inkomensperceptie, tevredenheid of hinder in de woonbuurt, tevredenheid over sociaal weefsel en persoonlijke netwerken, perceptie van groen en rustplekken in de buurt, tevredenheid over de gezondheidsvoorzieningen in de gemeente, duurzaamheid van de woningen. Deze vragen kunnen relevant zijn om de individuele kwetsbaarheid te bevragen en de beschikbare voorzieningen en kwetsbaarheid op gemeenteniveau in te schatten.

Levensstijl

Bijkomend is informatie nodig over **activiteiten en gedrag**. Personen die vaak buiten werken of buiten sporten zijn meer blootgesteld aan hitte, UV-straling en luchtvervuiling en lopen een verhoogd risico op een negatieve gezondheidsimpact (Hass et al., 2021). Bestaande vragen over fysieke activiteit dienen verder aangevuld te worden met concrete vragen over tijdsbesteding buiten (duur activiteit, intensiteit, locatie) en ook de tijd die binnenhuis wordt doorgebracht.
Bijkomend is het nuttig om te bevragen hoe mensen hun **levensstijl aanpassen** aan de klimaatverandering om de gezondheidsimpact ervan te verminderen (Thomas et al., 2014). Degenen die geen adaptieve maatregelen nemen, lopen immers meer risico op gezondheidsproblemen (Hass et al., 2021). Het nemen van **adaptieve maatregelen** werd nog niet eerder bevraagd in FLEHS-onderzoek.

De vragen over levensstijl en voeding geven o.a. inzicht in voeding als determinant van blootstelling aan chemische stoffen, zoals pesticiden. Vragen over **voeding** zijn in de FLEHS-4 HBM gericht op het algemene voedingspatroon van de deelnemer en op consumptie van lokale en zelf-geteelde voeding. Om de determinanten van blootstelling aan mycotoxines in kaart te kunnen brengen, is mogelijk bijkomende informatie nodig. De voedingsvragen dienen optimaal afgestemd te worden op gevalideerde vragenlijsten in bestaand onderzoek naar mycotoxines in voeding (vb. https://www.rivm.nl/documenten/algemene-vragenlijst-schoolgaande-kinderen-vcp-jonge-kinderen).

Leefomgeving

Vragen over de **leefomgeving (binnen en buiten)** geven een goed inzicht in de persoonlijke leefomgeving van de deelnemer. In FLEHS-4 werd reeds een uitgebreide set van vragen over binnenhuiskenmerken opgenomen, waaronder vragen naar vocht, schimmelvorming, ventilatie en verluchting (openen van ramen en deuren). De FLEHS-vragenlijst zou verder uitgebreid kunnen worden met klimaatverandering-gerelateerde vragen rond hinder en algemene tevredenheid over de leefkwaliteit uit het schriftelijk leefomgevingsonderzoek (SLO) of de gemeentemonitor. Om meer inzicht te krijgen op de impact van temperatuur en hitte op het binnenhuismilieu kan aanvullend informatie verzameld worden over: raamoppervlakten en -oriëntatie ramen en ruimtes, raambedekking binnenshuis (gebruik van gordijnen, horizontale en verticale jaloezieën) en buitenshuis (gebruik van zonneschermen), de directe nabijheid van buitenvegetatie (Lundgren Kownacki et al., 2019; Zuurbier et al., 2021), aanwezigheid en gebruik van airco.

Naast de objectieve parameters om leefomgeving in te schatten is ook de **beleving** van omgevingsfactoren een belangrijk element. De bevraging van hittebeleving binnen- en buitenhuis (op verschillende locaties in de woonomgeving en op school) geeft aanvullende informatie op objectieve meting van buiten- en binnentemperatuur (van Loenhout et al., 2016), zie ook sectie 3.13. Hittebeleving is nog niet opgenomen in de FLEHS-4 vragenlijst. Om de persoonlijke impact van **contact met natuur** in te schatten is het relevant om de subjectieve beleving (waardering) van natuur en leefomgeving te bevragen en het ervaren belang voor de gezondheid. Waardering van groen werd in FLEHS-4 beperkt bevraagd; deze bevraging dient uitgebreid te worden naar natuurbeleving en natuurinteractie (Simoens et al., 2018). De objectief ingeschatte of gemeten **persoonlijke geluidsblootstelling** dient aangevuld te worden met vragen over geluidsperceptie en -

hinder om de gezondheidsimpact van geluidshinder goed in te kunnen schatten. Deze vragen, zoals beschreven door Wallas et al. (2018) zijn nog niet opgenomen in de FLEHS-vragenlijsten.

Gezondheidseffecten door klimaatverandering

Vragen over **fysieke gezondheid** omvatten momenteel reeds gevalideerde vragen rond algemene gezondheid en medicatiegebruik, astma, allergie en infecties (zie 3.14).
De vragenlijst verschaft ook informatie over perinatale factoren, waaronder roken door de moeder tijdens de zwangerschap, laag geboortegewicht (<2500 g) en vroeggeboorte (geboren vóór de 37e zwangerschapsweken) en gezondheid in de eerste levensjaren. Deze factoren kunnen een impact hebben op het verband tussen milieublootstelling en gezondheid op latere leeftijd.
Bijkomende klimaatverandering-gerelateerde bevraging is echter aangewezen:

- **Aeroallergenen en schimmels**. De FLEHS-4 vragenlijst bevat reeds vragen over schimmelvorming in de woning. De vragen dienen nog meer toegespitst te worden op aëroallergenen (zie eveneens 3.14).
- **Hitte**. Een gerichte bevraging naar hitte perceptie (van Loenhout et al., 2016) en gebruik van medicatie die de gezondheidsimpact van hitte kan beïnvloeden (Thomas et al., 2014), kan een meerwaarde zijn. Bevraging van aspecten als welbevinden, coping mechanismen en slaapverstoring werd reeds besproken in sectie 3.13.
- **UV-straling.** Vragen over huidtype zijn momenteel niet opgenomen in de FLEHS-vragenlijsten. Coping mechanismen tegen factoren als UV-straling zijn voor een groot deel genetisch bepaald door bijvoorbeeld verschillen in huidtype. Op basis van de gevoeligheid van de huid kunnen volgens de Fitzpatrick-huidtypering zes huidtypes onderscheiden worden (Eilers et al., 2013). De typering wordt verduidelijkt in Bijlage J. Huidtype 1, 2 en 3 zijn het gevoeligst voor de schadelijke effecten van UV-straling, meer dan 90% van de Belgen heeft huidtype 1 of 2. De score geeft een beeld van de huidreactie op de zon, de mate van verbranding en het bruinen door de zon. Een voorbeeld van een Nederlandstalige bevraging van het huidtype is terug te vinden op www.kanker.be/welk-huidtype-heb-jij. Vergeleken met mensen met een lichte huid hebben mensen met een donkere huidskleur een veel kleiner risico op het ontwikkelen van melanoom of niet-melanoom huidkanker. Zij hoeven zich normaal gesproken niet in te smeren met zonnebrandcrème en kunnen veilig relatief hoge niveaus van UV-straling verdragen zonder te verbranden. Maar - ongeacht de huidskleur - blijft het risico van oogbeschadiging en van schadelijke effecten op het immuunsysteem bestaan (World Health Organization (WHO), n.d.). Het huidtype kan een impact hebben op de immuunrespons na UV-blootstelling.
- **Teken**. Voor opvolging van de incidentie van tekenbeten kan gevraagd worden naar het optreden van tekenbeten in de afgelopen week/maand/12 maanden. Gedrag kan eveneens bevraagd worden vb. *Controleer je jezelf en anderen op tekenbeten elke keer je in de natuur bent geweest*?

Vragen rond **mentale gezondheid en welbevinden** zijn al aangehaald in sectie 3.13. De set van vragen rond mentale gezondheid en welbevinden en milieu-ongerustheid dient verder uitgebreid te worden met de bevraging van de directe impact klimaatverandering op mentale gezondheid (hitte, overstromingen, droogte) en de indirecte impact zoals het voorkomen van eco-anxiety en solastalgie, zoals voorgesteld in Bijlage I (Hickman et al., 2021).

Attitudes en adaptatiemaatregelen

Daarnaast verstrekt gerichte bevraging van **perceptie van klimaatverandering, en de individuele acties om met klimaat-gerelateerde factoren om te gaan** informatie die relevant is voor het onderzoek en het beleid. Gevalideerde vragen en referentieresultaten op Europees niveau hieromtrent zijn terug te vinden in de Eurobarometer Special on Climate change 2021.

Opties voor bevragingsmethodiek:

- Papieren vragenlijsten: omslachtig voor *ad hoc* bevraging (vb. bij hitte) of longitudinaal onderzoek;
- Online vragenlijsten: In FLEHS werd Lyme survey via e-mail gebruikt, waarbij de data centraal naar PIH ging. Deze methode laat *ad hoc* vragen en longitudinaal onderzoek toe;
- Apps (vb. SmartApp): app te installeren, dit verzwaart mogelijk het protocol en zorgt voor extra dataflow;
- Web interface (vb. VPO): extra dataflow (data komen bij VPO en niet rechtstreeks bij onderzoekers terecht).

Bij de bevraging dient steeds de totale belasting voor de deelnemer zo veel mogelijk beperkt te blijven.

3.16.3 Omgevingsindicatoren

Gedetailleerde informatie over de **woonomgeving** wordt in de FLEHS-studies al verzameld: verstedelijkingsgraad, bevolkingsdichtheid, gemodelleerde luchtkwaliteit, gemodelleerde geluidsblootstelling, hoeveelheid groene en blauwe ruimte, landbouw in de woonomgeving, types groen. Deze parameters worden berekend op basis van het woonadres van de deelnemers.
De groene ruimte in Vlaanderen is zeer divers en wordt in kaart gebracht voor iedere 10m-cel binnen het Vlaamse Gewest: van “micro-groen” in steden en stadsparken tot bossen, velden en natuurgebied. Toekomstig onderzoek naar de impact van groen op gezondheid in het kader van klimaatverandering dient na te gaan of het type groene ruimte en de omvang ervan een relevante impact hebben op klimaatgerelateerde blootststelling (als ecosysteemdienst) en of die impact relevant kan zijn voor de gezondheid.

De gezondheidsimpact van **hitte**, gemeten via biomerkers of bevraagd (via cognitieve functie, welbevinden en psychische gezondheid, slaapkwaliteit, … zie ook sectie 3.13) kan gekoppeld worden aan volgende omgevingsindicatoren:

- Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als bomen in de omgeving van gebouwen en op het publiek domein (straten, parken, pleinen);
- Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als groendaken en muurbegroeiing (klimplanten, geveltuinen);
- Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als zonnescreens;
- Gebruik van passieve koeling door nachtelijke ventilatie;
- Afstand van woning tot koelte-locatie (gebouwen met airco, voldoende groot park);
- Aanwezigheid van groen in of in de onmiddellijke nabijheid van woon- en werkomgevingen;
- Aanwezigheid van bomen op publiek domein en privédomein in buurt van woning;

- Aanwezigheid van verharde oppervlakten in buurt van woning.

We merken hierbij op dat de hierboven beschreven omgevingsindicatoren niet weerhouden zijn in de shortlist van 2.3.2, met uitzondering van indicator 'Aanwezigheid van groen in of in de onmiddellijke nabijheid van woon- en werkomgevingen'.
Recent werd in Brussels onderzoek gebruik gemaakt van 'Light Detection And Ranging'- (LiDAR) data om het kroonvolume van bomen in kaart te brengen (Chi et al., 2022). Indien dit soort data beschikbaar zou worden voor Vlaanderen, biedt het ook mogelijkheden.
Mogelijke omgevingsindicatoren i.v.m. astma, allergie en infectieziekten, gemeten via biomerkers of bevraagd (zie ook sectie 3.14) zijn:

- (Ruimtelijke spreiding van) voorkomen van allergene soorten;
- Gemeten pollenconcentraties;
- Voorkomen en verspreiding van Ambrosia;
- Voorkomen van blauwalgen (Resultaten van de Bloomin' Algae app, gelanceerd door het INBO in 2022, kunnen eveneens gebruikt worden om de blauwalgengroei in kaart te brengen[17].);
- Voorkomen van bomen aangetast met eikenprocessierups of dennenprocessierups.

We merken hierbij op dat de hierboven beschreven omgevingsindicatoren weerhouden zijn in de shortlist van 2.3.2.

3.17 AANZET TOT ONDERZOEKSOPZET EN STATISTISCH ANALYSEPLAN

Om de mogelijke verbanden tussen klimaatverandering en gezondheid te beoordelen, moet rekening worden gehouden met:

- temporele als de ruimtelijke schalen waarop risico's en effecten zich waarschijnlijk zullen voordoen;
- multifactoriële bronnen van blootstelling;
- multifactoriële mechanismen die bijdragen tot gezondheidsveranderingen;
- dynamische en complexe interacties daartussen.

Dit stelt nieuwe uitdagingen voor de statistische benadering van HBM-onderzoek (Xun et al., 2010). In dit rapport wordt een aanzet gegeven voor de opzet van een HBM-onderzoek in dit kader en de statistische aanpak ervan.

3.17.1 Studiepopulatie

Referentiemonitoring jongeren:
Binnen het Vlaams humaan biomonitoring programma wordt reeds gedurende 4 cycli een referentiepopulatie van Vlaamse jongeren opgevolgd. Een voortzetting van HBM-onderzoek in deze referentiepopulatie jongeren laat toe om tijdstrends voor klimaatgerelateerde chemische of biologische blootstelling (vb. mycotoxines) op te volgen, de gemeten waarden te vergelijken met toetsingswaarden en internationale studies. Op basis van de contextvariabelen kunnen de determinanten van blootstelling aan deze stoffen bestudeerd worden.

[17] https://www.vlaanderen.be/inbo/persberichten/nieuwe-app-helpt-blauwalgenproblematiek-in-vlaanderen-in-kaart-te-brengen/?redirectNews=true

De cycli van HBM-studies in eenzelfde bevolkingsgroep maken het dus ook mogelijk om klimaat-gerelateerde veranderingen in het blootstellingspatroon (type en intensiteit) van de bevolking aan chemische stoffen, toxines en aëroallergenen, wijziging van natuurlijke ecosystemen, veranderende vectorpatronen, luchtverontreiniging, enz. op te volgen. We merken hierbij op dat deze metingen ook mogelijk zijn bij een andere referentiepopulatie (bv. volwassenen, ouderen, kinderen, …).

Ook kunnen associaties tussen klimaat-gerelateerde blootstelling en gezondheidsmerkers onderzocht worden, uitgaande van de bestaande literatuur. Binnen het kader van de referentiemonitoring kan bijkomend onderzoek opgezet worden dat zich richt op kwetsbare groepen onder de jongeren op basis van woonplaats, SES van het gezin en de woonbuurt, gezondheid en welbevinden. Zo kan er bijvoorbeeld dieper ingegaan worden op verschillen tussen jongeren in een stedelijke en landelijke context. Steden kunnen hierbij beschouwd worden als "hotspots" voor de impact van klimaatverandering.

HBM in een referentiepopulatie jongeren biedt naast inzicht in blootstelling aan klimaatverandering-gerelateerde factoren en de hieraan geassocieerde fysieke gezondheid ook inzicht in de impact van deze factoren op de mentale gezondheid en het welbevinden van jongeren. Jongeren zijn een bij uitstek gevoelige groep voor het ervaren van klimaatangst (Hickman et al., 2021). HBM-onderzoek bij jongeren biedt ook maatschappelijke voordelen en kan gecombineerd worden met milieueducatie op school. Zo worden jongeren vertrouwd gemaakt met klimaatverandering, de gevaren van vervuiling, de waarde van natuurlijke landschappen zoals bossen en zee. Dit helpt hen het milieu te waarderen en er zorg voor te dragen.

Bovendien geven jongeren verworven waarden, overtuigingen, normen, kennis en vaardigheden via het proces van "omgekeerde socialisatie" door aan hun familie - waardoor het gedrag van de familie mogelijk ook wordt gewijzigd (Hosany et al., 2022).

Specifieke doelgroepen:
Naast HBM-studies bij jongeren is onderzoek bij andere gevoelige leeftijdsgroepen, zoals kinderen, ouderen, zwangere vrouwen of bij andere kwetsbare doelgroepen (lager SES, gezondheidsproblemen) aangewezen.

3.17.2 Type onderzoek

Traditioneel is het onderzoek in het FLEHS-programma cross-sectioneel, op voorhand ingepland en gespreid over de verschillende seizoenen. Mits er rekening gehouden wordt met minimale aandachtspunten in de traditionele aanpak, kan FLEHS-adolescenten biomonitoring bijdragen aan klimaatgezondheidsonderzoek zoals het bestuderen van de impact van klimaatverandering-gerelateerde stressoren zoals meteorologische veranderingen (gemiddelde temperatuur, vochtigheid), chemische en biologische blootstelling, biodiversiteitsverlies op de fysieke gezondheid. Enkele aandachtspunten worden hieronder beschreven.

- Staalname over de 4 seizoenen is noodzakelijk, met voldoende staalnames in piek zomer en bij de minimumtemperaturen tijdens de winter

    - Traditioneel gebeurt de sampling tijdens het schooljaar met uitsluiting van de examenperiode. Hierdoor zijn er geen of zeer weinig staalnames in de maanden december, juni, juli, augustus.
- Strengere exclusiecriteria voor staalname tijdens de vakantie
    - Het is aannemelijk dat een groot deel van de jongeren niet op de woonlocatie of in België aanwezig is tijdens de warmste perioden of net van vakantie terug thuis is bij eventuele staalname. Vakantie-omstandigheden zullen hierdoor een niet te verwaarlozen impact hebben op korte termijn biomerkers (andere omgevingsblootstelling (incl. temperatuur, voeding, …), ander ritme, ander stressniveau, …). Dit maakt het mogelijk noodzakelijk om exclusiecriteria te formuleren of extra vragen op te nemen met betrekking tot zomervakanties voor staalname, dit is traditioneel in het FLEHS-programma nog niet toegepast.
- Herhaalde metingen en/of grotere steekproefgrootte
    - Bij het implementeren van klimaatgezondheidsonderzoek zijn herhaalde metingen wenselijk. Voornamelijk bij het meten van biomerkers als pesticiden en mycotoxines. Indien dit niet mogelijk is, is een grotere steekproef vereist.
- Extra aandacht voor vroege moleculaire veranderingen
    - Gezien adolescenten niet de meest gevoelige doelgroep zijn voor klinisch waarneembare effecten van klimaatomstandigheden, is extra aandacht vereist voor het meten van vroege moleculaire veranderingen.

Een belangrijke beperking is het gegeven dat de adolescenten zomervakantie hebben tijdens een deel van de piekzomer, hetgeen een impact heeft op het correct inschatten van de gevolgen van klimaat op gezondheid. Factoren als stress, vermoeidheid, welbevinden, enz. zijn sterk geassocieerd met het hebben van vakantie op zich, hetgeen het bestuderen van de impact van klimaat op gezondheid zal bemoeilijken.

Indien men de gezondheidsimpact van klimaatgerelateerde extreme weersomstandigheden (bv. overstroming, hitte, natuurbrand) wil onderzoeken via een HBM-campagne, vormt dit een extra uitdaging. Immers deze weersomstandigheden treden veelal acuut op, men moet in staat zijn hierop snel te reageren met bv. bevragingen en/of staalafnames. De studies gebeuren traditioneel in samenwerkingen met de scholen en worden op voorhand ingepland. Er is weinig mogelijkheid om te anticiperen op plotse droogte, hitte, temperatuurschommelingen etc. Om dit op te vangen is de mogelijkheid tot ad-hoc onderzoek en staalname noodzakelijk.

Aanvullend onderzoek in meer gevoelige doelgroepen is wenselijk en daarbij is de mogelijkheid tot snel schakelen cruciaal. Voornamelijk bij jonge kinderen, ouderen en zwangere vrouwen is er extra bezorgdheid. Zij zijn gevoeliger aan effecten van hitte en hebben een hoger risico voor uitdroging. Allergie bij kinderen wordt meestal echter pas ontdekt tussen 4 en 6 jaar. Bij inclusie van onderzoek naar allergie dient hiermee rekening gehouden te worden, door enkel kinderen vanaf 6 jaar op te nemen in de studie. Verder dient bij kinderen rekening gehouden te worden met de aandachtspunten die hierboven beschreven werden voor adolescenten, i.e. beter herhaalde metingen, extra aandacht voor vakantie-gerelateerde factoren, extra aandacht voor vroege moleculaire effecten, kunnen inspelen op plotse veranderingen in klimaatomstandigheden. Een voordeel aan een studie bij kinderen is de mogelijkheid tot longitudinaal onderzoek. Bij staalnames bij ouderen spelen vakantie-gerelateerde factoren een minder grote rol. Een studie bij ouderen kan

bijvoorbeeld gericht worden naar enkele woonzorgcentra. Dit heeft als voordeel dat clusters van de populatie gelijkaardige blootstellingspatronen hebben aan omgevingsfactoren. Voornamelijk een case-control design met herhaalde metingen waarbij elke deelnemer zijn eigen controle is, biedt in deze populatie veel perspectief. Staalname in de herfst zou kunnen gezien worden als referentie (weinig hitte stress, geen extreme koude, weinig pollen allergenen) en vergeleken met staalname in de lente (pollen) en staalname in de tijdens een hittegolf. Bovendien kan dit gecombineerd worden met een interventiestudie met specifiek advies over maatregelen om de ouderen te beschermen tegen extreme klimaat gerelateerde omgevingsfactoren. Opnieuw is het noodzakelijk dat vlot geschakeld kan worden om te anticiperen op plotse veranderingen in klimaatomstandigheden. Een uitdaging bij herhaalde metingen in een woonzorgcentrum kan de uitval van deelnemers zijn. Hier dient op te worden geanticipeerd door een groter start-aantal te voorzien. Wat betreft onderzoek naar de effecten op zwangere vrouwen zijn er veel uitdagingen.
Naast uitdagingen zoals beschreven bij adolescenten en kinderen, is de meest beperkende factor het gegeven dat deelnemers op variabele momenten in de zwangerschap zullen zijn, wanneer plotse staalname nodig is. Een studie-opzet zoals bij traditionele FLEHS-campagnes bij pasgeborenen (staalname gedurende het jaar bij geboorte) is niet geschikt om de onderzoeksvragen te beantwoorden, omdat piekblootstellingen onvoldoende gecapteerd zullen worden.

3.17.3 Statistisch analyseplan

Beschrijvende statistieken
Beschrijvende statistieken van de studiepopulatie, de blootstellings- en de effectmetingen geven een globaal beeld van de studie en helpen om de vergelijkbaarheid met eerder gepubliceerd onderzoek te kaderen. Hierbij wordt standaard gedacht aan het rapporteren van het gemiddelde, confidentie-interval (bv. 95%), en percentielen (bv. P25, mediaan, P75) voor continue merkers en het rapporteren van frequentietabellen voor categorische variabelen. In geval van metingen in hoge resoluties (bv. metingen van wearables en andere sensoren) kunnen bijkomend descriptieve statistieken voorzien worden van pieken, tijd in bepaalde zones, etc.

Correlaties tussen blootstellingsmerkers en correlaties tussen effectmerkers
Correlaties geven inzicht in de data en helpen bij de interpretatie van de resultaten. Lineaire correlaties kunnen in kaart gebracht worden door het berekenen van de Pearson correlatiecoëfficiënt. Voor het analyseren van monotone correlaties, die niet per se lineair zijn, wordt gebruik gemaakt van Spearman Rank correlatie.

Tijdstrends
FLEHS-data verzameld in voorbije steunpunt programma's kunnen gebruikt worden voor het in kaart brengen van tijdstrends. Om tijdstrends in kaart te brengen zijn minstens 3 data punten noodzakelijk. Rekening houdend met verschillen in gedrag en toxicokinetiek komen enkel data verzameld bij vergelijkbare leeftijdsgroepen in aanmerking. Voor biomerkers die niet eerder gemeten werden in FLEHS-campagnes, zoals mycotoxines, dient te worden geëvalueerd of bijkomende metingen bekomen kunnen worden aan de hand van beschikbare biobankstalen.

Indien voldoende gegevens beschikbaar zijn, kan volgende approach worden toegepast.

Data voorbereiding:

- Poolen van data over verschillende FLEHS-campagnes van specifieke leeftijdscategorie;
- Weging van de data waar nodig;
- Aanpassing voor lipidegehalte of urineverdunning waar nodig;
- Ln-transformatie van biomerkergegevens om een normale verdeling te verkrijgen, waar nodig;
- Imputatie van waarden onder de detectie- en/of kwantificeringsgrenzen.

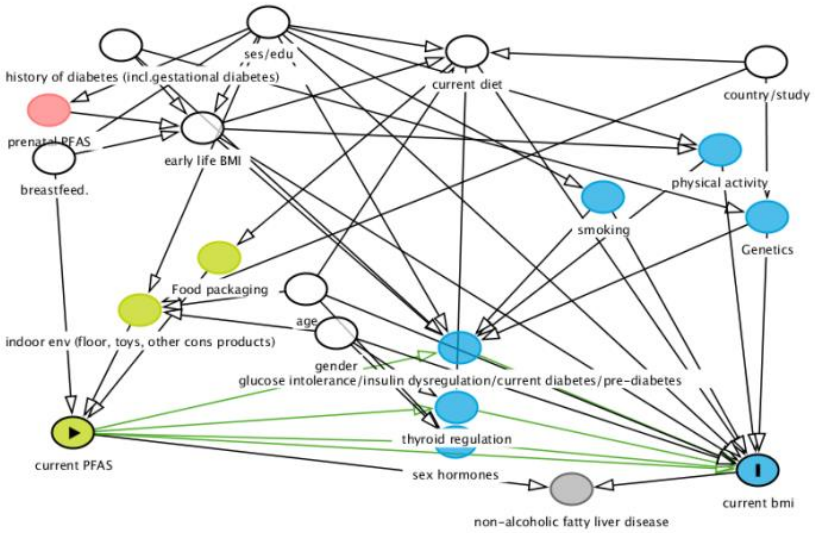
Data-analyse:
Statistische analyse aan de hand van multiple lineaire regressie modellen om verschillen in gemiddelde biomerker niveaus tussen de verschillende campagnes te identificeren, gecorrigeerd voor verschillen in populatiekarakteristieken van de verschillende campagnes.
Hiertoe worden volgende factoren opgenomen in de modellen: campagne, leeftijd, geslacht, BMI, roken, aangevuld met creatinine of '*specific gravity*' voor urinaire merkers.
Op die manier kan aan de hand van een F-test de statistische significantie van de factor campagne worden nagegaan. Paarsgewijze verschillen tussen 2 campagnes kunnen worden geschat aan de hand van een post-hoc test.

Determinanten van blootstelling
Via meervoudige lineaire en logistische regressie kunnen determinanten van blootstelling in kaart gebracht worden. Aan de hand van stepwise selection procedures kan geïdentificeerd worden welke gegevens uit de vragenlijsten en meetgegevens (meteorologische gegevens, voedingsdata, …) bepalend zijn voor de interne blootstelling van de merkers vermeld in sectie 3.15. Partiële R^2 waarden geven vervolgens aan welk deel van de variabiliteit in de blootstellingsmerker verklaard kan worden door elke onafhankelijke variabele in het model. Hieruit kan men afleiden hoeveel variabiliteit in de blootstelling verklaard kan worden door de klimaatgerelateerde factor(en) die beschouwd word(t)(en), afhankelijk van het gezondheidseffect. Voorwaarde van deze benadering is dat de onafhankelijke variabelen onafhankelijk zijn van elkaar. Als dat niet het geval is, is er sprake van multicollineariteit waardoor de inschattingen en p-waardes van de gecorreleerde variabelen niet betrouwbaar zijn. Variance inflation factors (VIFs) kunnen berekend worden om de correlatie tussen onafhankelijke variabelen te berekenen en de sterkte van de correlatie. In geval van gecorreleerde potentiële determinanten dienen andere technieken gebruikt worden, zoals LASSO en Ridge regressie. Steekproefgrootte is hier echter vaak een beperkende factor. Het is mogelijk dat verklarende variabelen met elkaar gecorreleerd zijn wanneer de oorzaakvariabele (X) invloed heeft op de gevolgvariabele (Y) via een tussenliggende variabele (M). Via mediatie analyse kan de mate waarin de invloed van X op Y verloopt via M worden nagegaan. Zo kan men bijvoorbeeld in de subset van deelnemers die lokale voeding consumeren nagaan in welke mate is de interne blootstelling hoger is door meteorologische factoren omdat meteorologische factoren de concentratie van polluenten in voeding beïnvloeden. Belangrijke voorwaarde in deze analyse is een voldoende grote steekproef.

Blootstellings-effect associaties
Blootstellings-effect associaties vermeld in sectie 1.1 dienen onderzocht te worden aan de hand van de merkers en vragenlijst gegevens vermeld in sectie 3.15. Als algemene statistische benadering bij het opstellen van modellen voor één verontreinigende stof, d.w.z. het koppelen van één

blootstelling variabele met een specifieke gezondheidsuitkomst, kunnen lineaire (bij een continue gezondheidsuitkomst), logistische (in het geval van een binaire uitkomst) en binomiale (in het geval van telresultaten) regressiemodellen worden toegepast. Meerdere blootstellingsvariabelen kunnen bovendien in 1 model geëvalueerd worden indien multi-collineariteit kan worden uitgesloten. In dat geval geeft de partiële R^2 per aan hoeveel van de variabiliteit verklaard kan worden door de respectievelijke blootstellingsfactoren. In geval van multi-collineariteit zijn meer geavanceerde technieken noodzakelijk. Als het studie design het toelaat, kunnen mengselbenaderingen als LASSO en ridge regressie, BKMR en G-computation gebruikt worden om het verklarend aandeel in te schatten van de componenten van het mengsel in het bepalen van de uitkomstvariabele.
De verdeling van blootstellings- en effectvariabelen kan worden gevisualiseerd om te controleren of ze normaal verdeeld zijn. Transformatie van continue effectmerkers die niet normaal verdeeld zijn richting normaliteit is noodzakelijk voor het analyseren van lineaire regressiemodellen. Voor de meeste effectmerkers wordt normaliteit bekomen door ln-transformatie.
Gegeneraliseerde additieve modellen (GAM's) zullen worden gebruikt om de vorm van de relaties tussen blootstellingsbiomerkers en gezondheidseffecten beter te begrijpen om hiermee vervolgens rekening te houden in de modellen.

Het opstellen van 'directed acyclic graphs' (DAGs) kan helpen om een beeld te krijgen van de minimale set aan confounders aangevuld met covariaten die meegenomen worden in de modellen. Resultaten uit eerder onderzoek en de beschikbare literatuur helpen bij het opstellen van een DAG. Het is belangrijk dat de confounders en covariaten in de vragenlijsten worden vervat. De online tool DAGitty 2.3 (http://www.dagitty.net/) kan gebruikt worden om de DAGs te construeren. Een voorbeeld van een DAG wordt gegeven in onderstaande figuur uit HBM4EU D10.10.



Figuur 3-1: Voorbeeld van een DAG die de aangenomen causale relaties beschrijft tussen PFAS- blootstelling en BMI in teenagers.

Courante statistische softwarepakketten, zoals R, SAS, SPSS kunnen gebruikt worden voor de eerder vernoemende analyses.

Analyse van de impact van meervoudige klimaat-gerelateerde stressoren

Naast het bestuderen van de gezondheidsimpact van enkelvoudige klimaatstressoren die relevant zijn voor het optreden van een bepaald gezondheidseffect, is het aangewezen om een geïntegreerd beeld te krijgen van de impact van multipele klimaat-gerelateerde stressoren op de gezondheid. Dit is echter enkel mogelijk indien de (mogelijke) relaties tussen de klimaatstressoren onderling goed gekend zijn. Een meer holistische aanpak kan de complexiteit van klimaatverandering nog beter in kaart kan brengen. In dat opzicht is het exposoom een belangrijk concept. Het exposoom omvat het geheel van stressoren waaraan men blootgesteld wordt en hun endogene respons die vorm geven aan ziekterisico en -ontwikkeling, waarbij rekening wordt gehouden met sociaaleconomische stressoren (Robinson et al., 2018; Vrijheid et al., 2021). Met betrekking tot klimaatverandering omvat het exposoom de complexe mix van chemische blootstellingen, luchtvervuiling, kwaliteit van drinkwater, voedselomgeving, groene ruimte en biodiversiteit, meteorologie, sociaaleconomische en demografische factoren (Ohanyan et al., 2022).

Een bijkomend belangrijk aspect van exposoom onderzoek is het verschaffen van inzicht in de keten van biologische gebeurtenissen die milieustressoren koppelen aan nadelige gezondheidseffecten, vóór het begin van ziekte.
Menselijke moleculaire en fysiologische systemen coördineren immers dynamisch hun reacties om gezondheid en normale functies te behouden in reactie op milieustressoren (Gao et al., 2021). De in deze studie voorgestelde gecombineerde sets van early effect biomerkers en omics-technieken kunnen hierbij een volledigere momentopname van biologische verstoringen opleveren. Via een Meet-in-the-Middle benadering worden moleculaire veranderingen geïdentificeerd en gerelateerd aan zowel stressoren als aan gezondheidsuitkomsten. Zo worden beide uiteinden van het continuüm van blootstelling tot ziekte met elkaar verbonden (Vineis et al., 2020). Deze benadering komt overeen met een verfijning van één van de richtlijnen van Bradford Hill voor causaliteitsbeoordeling in de epidemiologie, namelijk de biologische plausibiliteit.

Het exposoom concept heeft het potentieel om een breed scala van klimaatverandering-gerelateerde stressoren die bijdragen tot gezondheid en ziekte te identificeren. De complexiteit ervan kan echter alleen worden gevat met behulp van grote studiepopulaties, geavanceerde technologieën voor dataverzameling, en geavanceerde statistische methoden (Ohanyan et al., 2022; Vermeulen et al., 2020). Binnen de Vlaamse referentiecampagne dient het onderzoek exposoom-georiënteerd te worden, in maximale afstemming met PARC, om de resultaten optimaal door te kunnen laten vloeien naar grootschaligere PARC-studies.

Het verder wetenschappelijk onderbouwen van de invloed van klimaatverandering op de gezondheid kan het milieubeleid ondersteunen. Verder biedt het identificeren van blootstelling-gerelateerde pathofysiologische veranderingen vóór het begin van ziekte een kans voor vroegtijdige, gerichte milieugerelateerde gezondheidspreventie.

4 CONCLUSIE EN BELEIDSAANBEVELINGEN

De wetenschappelijke literatuur toont dat klimaatverandering in Vlaanderen een significante impact kan hebben op de fysieke en mentale gezondheid van de Vlaming door blootstelling aan verschillende milieufactoren. Klimaatverandering-gerelateerde milieudruk kent veel aspecten. Zo is er de rechtstreekse gezondheidsimpact van bv. blootstelling aan hitte, aeroallergenen of bacteriën, maar klimaatverandering heeft ook een impact op de blootstelling aan chemische stoffen, toxines en andere pathogenen. Bovendien worden vele gezondheidseffecten niet enkel door klimaatgerelateerde stressoren veroorzaakt of verergerd, maar worden ze ook beïnvloed door andere milieufactoren, bevolkingsfactoren, levensstijl, gedrag, enz.
Indien een omgevingsindicator gebruikt wordt om de rol van klimaatverandering op gezondheid te monitoren, is het belangrijk dat de evolutie van deze indicator niet (dominant) bepaald wordt door deze andere factoren. Binnen HBM-onderzoek is ook een multifactoriële aanpak nodig om de klimaatbijdrage aan het optreden van gezondheidseffecten in kaart te brengen.

Binnen een eerste luik van deze studie werd een lijst van omgevingsindicatoren opgesteld die beleidsrelevant zijn om de link tussen klimaatverandering en gezondheid in kaart te brengen en te monitoren. Voor een aantal indicatoren werd een demonstratie voorzien. In het tweede luik werd bekeken hoe klimaatgerelateerde gezondheidseffecten kunnen bestudeerd worden binnen HBM-onderzoek via blootstellings- en effectmerkers.

4.1 OMGEVINGSINDICATOREN OM IMPACT VAN KLIMAATVERANDERING OP GEZONDHEID TE MONITOREN

In dit rapport wordt een selectie van omgevingsindicatoren gemaakt die zich situeren binnen de verschillende niveaus van het risicoraamwerk ontwikkeld door het IPPC: gevaar, blootstelling, gevoeligheid, impact, aanpassingsvermogen. Hierbij werden verschillende klimaatgerelateerde stressoren beschouwd (aeroallergenen, blauwalgen, eiken- en dennenprocessierupsen, droogte, hitte (en vochtigheid), luchtkwaliteit, mycotoxines, natuurbranden, overstromingen, salmonella, UV-dosis, vectoren (muggen & teken), watergebonden ziekteverwekkers….) in relatie tot volgende gezondheidseffecten: allergieën, cardiovasculaire aandoeningen, hittegerelateerde aandoeningen, mentale gezondheid, ondervoeding, respiratoire aandoeningen, toxische effecten, UV-gerelateerde ziekte en sterfte, vectoroverdraagbare ziekten, verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen, voedseloverdraagbare ziekten, wateroverdraagbare ziekten, alsook absenteïsme en verminderde arbeidsproductiviteit.
Een longlist van omgevingsindicatoren met 195 (unieke) potentiële indicatoren werd opgesteld op basis van literatuuronderzoek en bestaande projecten bij verschillende Vlaamse, federale en Europese administraties. Voor een overzicht van de indeling van de indicatoren, zie Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Aantal bestudeerde unieke indicatoren, opgedeeld naar plaats (gevaar, blootstelling, gevoeligheid, impact, vermogen tot adaptatie) van het risicoraamwerk van IPCC (zie ook Figuur 2-1).

	Beleidsrelevante indicatoren		Optionele beleidsrelevante indicatoren		Niet-beleidsrelevante indicatoren	
	Omgeving	Niet-omgeving	Omgeving	Niet-omgeving	Omgeving	Niet-omgeving
Gevaar	38*	0	15	0	41	1
Blootstelling	4	2	2	0	24	6

Gevoeligheid	1	2	0	0	3	3
Impact	2	1	2	0	4	3
Vermogen tot adaptatie	4*	3	3	4	9	18
Totaal	48*	8	22	4	81	32

**De indicator 'Aantal tussenkomsten van hulpdiensten voor wateroverlast en overstromingen' kan zowel als gevaar- als vermogen tot adaptatie indicator beschouwd worden*

Door middel van bevraging werd een selectie gemaakt van 48 unieke beleidsrelevante omgevingsindicatoren die werden opgenomen in een shortlist, voor een overzicht zie Tabel 2-3. De meeste weerhouden omgevingsindicatoren bevinden zich op het niveau van gevaar.
Bij het uitwerken van de haalbaarheid naar uitwerking demonstratie voor het monitoren van **beleidsrelevante omgevingsindicatoren** werden volgende **problemen** in kaart gebracht:

- **Projectmatige data versus structurele data**. Bijvoorbeeld het monitoren van het voorkomen van tropische muggen is een projectmatige activiteit waarvan het onduidelijk is of er na september 2024 nog verder data verzameld gaat worden. Op federaal niveau (NEHAP-groep) wordt momenteel geanalyseerd via welke wettelijke mechanismen de monitoring langdurig/structureel gemaakt kan worden.
- **Korte termijn databeschikbaarheid versus lange termijn klimaatperspectief.** Klimaat wordt gedefinieerd als een gemiddelde toestand over een periode van 30 jaar. Veel monitoringssystemen zijn recent opgestart zoals bijv. de monitoring van de zwemwaterkwaliteit of overstortevents, geïnfecteerde schelpdieren of de aanwezigheid van mycotoxines. Dit maakt het lastig om deze te gebruiken binnen de context van het monitoren van de impact van de klimaatverandering op de gezondheid.
- Voor een groot aantal indicatoren **ontbreekt de inputdata**, zie tabellen in sectie 2.4.3 en het overzicht in sectie 2.4.4.
- Voor een groot aantal indicatoren is er inputdata aanwezig maar is de **beschikbare inputdata heel omvangrijk of zijn er meerdere opties mogelijk**. Dit is bijvoorbeeld zo voor klimaatdata gerelateerde indicatoren. Hiervoor kunnen in-situ meetdata (van KMI of VMM) gebruikt worden, of gemodelleerde data (KMI, VMM, Copernicus).
- Sommige **inputdata is nog niet voldoende gedocumenteerd** (bijv. waterkwaliteitsdata, overstortdata, landbouwopbrengsten). Voor deze indicatoren is bijkomend onderzoek nodig.
- Voor sommige indicatoren moeten er **officiële vragen** gesteld worden om de data te bekomen (bijv. mycotoxines) of moet er een **Data Transfer Agreement** opgesteld worden (pollendata).

Voor een overzicht van de problemen ondervonden bij de unieke beleidsrelevante omgevingsindicatoren, verwijzen we naar sectie 2.4.4.

Tabel 4-1 geeft ook een overzicht van het aantal niet-weerhouden indicatoren. Hoewel de focus van de longlist lag op omgevingsindicatoren, bleek achteraf dat een heel aantal indicatoren niet als een omgevingsindicator kunnen beschouwd worden. Hiervan werden er 8 als beleidsrelevant beschouwd, voor een overzicht zie Bijlage D. Er werden ook 26 (unieke) optionele beleidsrelevante indicatoren geïdentificeerd die in de huidige vorm niet onmiddellijk bruikbaar zijn wegens aspecten als databeschikbaarheid of te vage omschrijving, voor een overzicht zie Bijlage E. De experten bestempelden 113 (unieke) indicatoren als niet beleidsrelevant, voor een overzicht zie Bijlage F.

Op basis van dit rapport worden volgende beleidsaanbevelingen voor de monitoring van klimaat-gezondheid gerelateerde omgevingsindicatoren gedaan:

- Op basis van de haalbaarheidsanalyse en demonstratie activiteiten is het duidelijk dat het **uitwerken van de volledige shortlist van beleidsrelevante omgevingsindicatoren enkel kan mits voldoende middelen en tijd** voor het verzamelen van momenteel ontbrekende inputdata of het meer in detail bestuderen en uittesten van bestaande datasets in samenwerking met de betrokken data-eigenaars. Bijkomend onderzoek is nodig naar de beschikbaarheid van de inputdata, ook met het oog op het opzetten van toekomstige operationele monitoring.
- Het lijkt ons aanbevolen daarbij de **doelstelling van de geplande operationele monitoring** (bv. in kaart brengen van problematiek, impactmonitoring, verklarende indicatoren, monitoring van effectiviteit van bepaalde beleidsprogramma's, …) eerst heel scherp te stellen om doelgericht de beschikbare middelen in te zetten.
- Daarnaast willen we ook aanbevelen om een **prioritering van de indicatoren** te onderzoeken en om de monitoring **stapsgewijs** aan te vangen bv. **per thema** volgens een **meerjarenplan**.
- Voor **overstromingsgerelateerde** blootstellingsdata moet overlegd worden met **Assuralia**, de koepel van de verzekeringsmaatschappijen waarmee VMM al reeds samenwerkt.
- Voor een aantal indicatoren is bijkomend onderzoek nodig naar **methodologie en optimaal gebruik van bestaande inputdata.** Er wordt aangeraden om dit in nauwe samenwerking met de betrokken partijen te doen om optimaal verder te bouwen op beschikbare kennis/expertise en lopende operationele monitoringsactiviteiten.
- Verderzetting van de bestaande monitoring van **tropische muggen** na september 2024. Het is belangrijk om hiervan een structurele monitoring te maken gezien het groot gezondheidsrisico.
- Voor een aantal weerhouden indicatoren is de **link met de klimaatverandering niet eenduidig (**bijv. landbouwopbrengsten, vissterfte, geïnfecteerde schelpdieren, aantal personen dat minstens eenmaal per jaar geen toegang heeft tot kwaliteitsvol drinkwater als gevolg van extreme droogte). Bijkomend onderzoek is nodig naar de definitie van de indicator om de link met de klimaatverandering scherper te krijgen.
- Er werden binnen deze studie eveneens een aantal **beleidsrelevante niet-omgevingsindicatoren** geïdentificeerd, hoewel niet direct de scope van deze studie. Deze zijn vooral indicatoren m.b.t. adaptatievermogen die peilen naar het bewustzijn van de bevolking over de gezondheidseffecten van hitte, natuurbranden alsook naar het nemen van maatregelen. Ook een aantal blootstellingsindicatoren in relatie tot UV-blootstelling (bv. tijd die mensen buiten doorbrengen, gebruik beschermingsmiddelen) komen aan bod. Voor deze indicatoren ontbreken data die kunnen bevraagd worden bv. tijdens een HBM-campagne. Indien een grootschalige monitoring gewenst is, valt dit eerder onder de bevoegdheid van Vlaams Agentschap Zorg & Gezondheid of via de Kennishub "Omgeving & Gezondheid".
- **Verder onderzoek** is nodig voor het ontwikkelen van de 26 indicatoren die als erg beleidsrelevant werden beschouwd maar die **momenteel niet uitgewerkt** kunnen worden om verschillende redenen:
    - De meeste indicatoren zijn multifactorieel bepaald, voor sommige indicatoren moet de relatie met klimaatverandering verder onderzocht worden;
    - Verder onderzoek is nodig om de indicator kwantitatiever te maken (bv. onder- of bovengrens exact bepalen);

- Sommige indicatoren beschouwen deelaspecten van hetzelfde klimaatstressor-gezondheidseffect, verder onderzoek is aangewezen of verschillende indicatoren kunnen worden gecombineerd in een omvattende indicator.

4.2 ONDERZOEK VAN IMPACT KLIMAATVERANDERING OP GEZONDHEID BINNEN VLAAMS HUMANE-BIOMONITORINGS (HBM) PROGRAMMA

Het epidemiologisch onderzoek naar de gezondheidsimpact van klimaatverandering is vooralsnog voornamelijk gericht op ziektelast en mortaliteit in relatie tot hitte en luchtvervuiling. De milieudruk van klimaatverandering, en de hieraan gerelateerde gezondheidsimpact, blijft echter niet tot deze stressoren beperkt. De wetenschappelijke literatuur, beschreven in hoofdstuk 1, geeft aan dat klimaatverandering in Vlaanderen ook een invloed kan hebben op humane blootstelling aan chemische stoffen, toxines, aëroallergenen en pathogenen en op de fysieke en mentale gezondheid.

In dit rapport wordt een selectie van relevante blootstellings- en effectmerkers gemaakt op basis van de internationale literatuur, gecombineerd met criteria voor biologische, methodologische en beleidsrelevantie voor Vlaanderen. Interne blootstellingsmerkers weerspiegelen de geïntegreerde blootstelling aan een chemische stof of toxine. Blootstellingsmerkers worden in Vlaamse HBM-campagnes opgevolgd in de algemene bevolking doorheen de tijd, Vlaamse waarden worden vergeleken met gezondheidskundige toetsingswaarden en internationale referentiewaarden. De finale selectie van klimaatverandering-gerelateerde **blootstellingsmerkers** in dit rapport omvat chemische stoffen die reeds in FLEHS-campagnes worden gemeten (bv. pesticiden, zware metalen, verbrandings-gerelateerde stoffen zoals PAK's en koolstofpartikels) en **biomerkers** die tot op heden geen deel uitmaakten van het Vlaamse HBM-programma (bv. mycotoxines), voor een overzicht zie Tabel 3-1 en Tabel 3-2. Het Vlaams HBM-programma kan dus een waardevol instrument zijn voor de risicobeoordeling van stoffen die bijdragen aan de milieudruk van klimaatverandering in Vlaanderen.

De literatuur geeft ook aan dat klimaatverandering een negatieve impact heeft op een brede waaier van gezondheidseffecten en dat het bestaande gezondheidsproblemen kan verergeren. Kwetsbare bevolkingsgroepen lopen hierbij het grootste risico. De impact van klimaatverandering uit zich zowel op de **fysieke als mentale gezondheid en op het vlak van welbevinden**. De nodige voorzichtigheid is echter geboden bij het onderzoeken van de impact van klimaatverandering op vroege gezondheidsmerkers en gezondheidseffecten via HBM. Pathofysiologische mechanismen en gezondheidseffecten zijn immers multifactorieel bepaald. Een mechanistisch begrip van de complexe verbanden tussen klimaatverandering-gerelateerde blootstelling en gezondheid is echter nog heel beperkt en vraagt verder onderzoek. Implementatie van klimaatverandering als onderzoeksthema in de volgende Vlaamse HBM vraagt extra inspanningen gaande van onderzoeksopzet tot analyse en interpretatie van de data.

Op basis van dit rapport worden volgende onderzoeksaanbevelingen voor klimaatverandering als transversaal thema in toekomstig Vlaams HBM-onderzoek geformuleerd:

- De voorgestelde selectie van biomerkers (Tabel 3-1 en Tabel 3-2, alsook tabellen in Bijlage G) is een dynamische lijst op basis van de huidige inzichten, met onzekerheden die eigen zijn aan de complexiteit van klimaatverandering. De lijst dient regelmatig aan nieuwe wetenschappelijke inzichten en wijzigende klimatologische omstandigheden getoetst te

worden.

- Bij de implementatie van klimaatverandering als transversaal thema in HBM-onderzoek willen we aanbevelen om zeker welbevinden en mentale gezondheid, in relatie tot klimaatverandering op lange termijn (bv. climate anxiety) alsook op korte termijn (bv. tijdens extreme weersomstandigheden), uitgebreider dan in eerdere FLEHS-campagnes in kaart te brengen. Jongeren zijn hiervoor een gevoelige doelgroep.
- Voor blootstellingsmerkers bevelen we aan om blootstelling aan mycotoxines, op te nemen gezien een toenemende en wijzigende blootstelling gedreven door klimaatverandering en het ontbreken van referentiegegevens voor Vlaanderen.
- Ook voor biomerkers van blootstelling en gezondheidseffect die al opgevolgd worden in de Vlaamse HBM kan het verband met klimaatverandering in Vlaanderen meer in detail onderzocht worden, alhoewel verwacht kan worden dat klimaatverandering geen prioritaire factor is voor verschillende biomerkers. Hiervoor stelt dit rapport relevante contextvariabelen, gevalideerde vragenlijsten en omgevingsindicatoren voor, zoals beschreven in Tabel 3-1 en Tabel 3-2, alsook in de tabellen in Bijlage G. Ook deze parameters dienen naar aanleiding van de constante en snelle evolutie in beschikbare tools (bv. kaarten, apps, wearables) geëvalueerd te worden bij implementatie in een HBM-campagne.
- We bevelen aan om in de mate van het mogelijke individuele milieumetingen (bv. binnenhuistemperatuur, metingen in huisstof, voeding, …) te gebruiken om de humane blootstelling en opnameroutes voor klimaatverandering -gerelateerde bloostellingsmerkers beter in kaart te brengen. Deze worden voor de biomerkers samengevat in de tabellen van Bijlage G.
- Het ontwikkelen en toepassen van geschikte statistische methoden, zoals exposoom-gerichte technieken, is noodzakelijk voor het kwantificeren van de mate waarin klimaatverandering bijdraagt tot het optreden van een gezondheidseffect. Het optimaal benutten van internationale samenwerkingsverbanden en kennisuitwisseling, zoals binnen het Europese onderzoeksproject PARC gebeurt, is hierbij van groot belang.
- Er is bijkomende aandacht nodig in toekomstige HBM-campagnes voor groepen die kwetsbaar zijn voor klimaatverandering omwille van SES, algemene gezondheidstoestand maar ook omwille van hun woonplaats (vb. stad).
- Aandachtspunten voor het studieopzet:
    - Hoewel voor een referentiemonitoring van chemische blootstelling 200 deelnemers volstaan, is voor het nagaan van blootstelling-effect associaties een studiepopulatie van 300 deelnemers meer aangewezen.
    - Spreiding van staalnames over de 4 seizoenen is noodzakelijk, met voldoende staalnames in de piekzomer.
    - Voor mycotoxines is een herhaalde staalname in verschillende seizoenen aangewezen, hier kan het gebruik van micro-sampling technieken zoals de VAMS een oplossing bieden die het veldwerk minimaal belast (zie ook sectie 3.4.1).
    - Een digitale tool voor bevraging van de deelnemers zoals de digital lime-survey, laat een dynamische bevraging op piekmomenten, vb. tijdens een hittegolf, toe.
    - Exclusiecriteria tijdens vakantieperiodes (waarin de deelnemer niet op zijn/haar thuisadres resideert) zijn mogelijk aangewezen voor HBM-onderzoek dat zich richt op de korte termijn blootstelling en korte termijn gezondheidseffecten in relatie tot de woonplaats (directe woonomgeving/Vlaanderen), aangezien blootstelling tijdens vakantie-omstandigheden in de dagen voor staalname een niet te verwaarlozen impact kan hebben op korte termijn biomerkers.

- Gezien adolescenten niet de meest gevoelige doelgroep zijn voor klinisch waarneembare effecten van klimaatomstandigheden, is extra aandacht vereist voor het meten van vroege moleculaire veranderingen.

Voor integratie van klimaatverandering als transversaal thema binnen volgende Vlaamse HBM-campagnes, dient expertise uit meerdere disciplines zoals epidemiologie, sociologie en toxicologie gecombineerd te worden in beleidsrelevant onderzoek. De complexiteit van klimaatverandering en de multifactoriële etiologie van gezondheidseffecten zorgt echter voor meerdere uitdagingen en vraagt een innovatieve aanpak. Hiervoor dient de nodige financiële ruimte voorzien te worden. De innovatieve aanpak kan maximaal afgestemd worden op het onderzoek binnen PARC dat zich momenteel in de voorbereidende fase bevindt. Klimaatverandering is bovendien een proces dat langdurige opvolging vraagt en niet in een éénjarige meetcampagne of HBM-cyclus in kaart kan gebracht worden, maar doorheen verschillende cycli opgevolgd dient te worden. De bevindingen van klimaatverandering-gerelateerd HBM-onderzoek kunnen op termijn bijdragen aan een beter inzicht in de milieudruk en de gezondheidsimpact van klimaatverandering in Vlaanderen, de vroege preventie van aandoeningen en de ontwikkeling van adequate strategieën en maatregelen om de effecten van klimaatverandering op de volksgezondheid te voorkomen of te verzachten. Daarnaast kan HBM-onderzoek bij jongeren via scholen bijdragen aan milieueducatie op school, een maatschappelijke meerwaarde. Jongeren vertrouwd maken met klimaatverandering helpt hen het milieu te waarderen en er zorg voor te dragen.

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

Abell, J.G., Stalder, T., Ferrie, J.E., Shipley, M.J., Kirschbaum, C., Kivimäki, M., Kumari, M., 2016. Assessing cortisol from hair samples in a large observational cohort: The Whitehall II study. Psychoneuroendocrinology 73, 148–156. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2016.07.214

Adamov, S., Lemonis, N., Clot, B., Crouzy, B., Gehrig, R., Graber, M.J., Sallin, C., Tummon, F., 2021. On the measurement uncertainty of Hirst-type volumetric pollen and spore samplers. Aerobiologia (Bologna). 1–15. https://doi.org/10.1007/s10453-021-09724-5

Andersen, T.B., 1991. A model to predict the beginning of the pollen season. Grana 30, 269–275. https://doi.org/10.1080/00173139109427810

Antonelli, M., Donelli, D., Barbieri, G., Valussi, M., Maggini, V., Firenzuoli, F., 2020. Forest volatile organic compounds and their effects on human health: A state-of-the-art review. Int. J. Environ. Res. Public Health. https://doi.org/10.3390/ijerph17186506

Araya, M., Seelenfreund, D., Buscaglia, M., Peña-Ahumada, B., Vera, J., Egas, C., Préndez, M., 2019. Assessment of Anthropogenic Volatile Organic Compounds in Leaves of Two Urban Tree Species in Santiago de Chile. Front. For. Glob. Chang. 2, 42. https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00042

Arpin, E., Gauffin, K., Kerr, M., Hjern, A., Mashford-Pringle, A., Barros, A., Rajmil, L., Choonara, I., Spencer, N., 2021. Climate change and child health inequality: A review of reviews. Int. J. Environ. Res. Public Health. https://doi.org/10.3390/ijerph182010896

Asher, M.I., Keil, U., Anderson, H.R., Beasley, R., Crane, J., Martinez, F., Mitchell, E.A., Pearce, N., Sibbald, B., Stewart, A.W., Strachan, D., Weiland, S.K., Williams, H.C., 1995. International study of asthma and allergies in childhood (ISAAC): Rationale and methods, in: European Respiratory Journal. https://doi.org/10.1183/09031936.95.08030483

Balbus, J.M., Boxall, A.B.A., Fenske, R.A., McKone, T.E., Zeise, L., 2013. Implications of global climate change for the assessment and management of human health risks of chemicals in the natural environment. Environ. Toxicol. Chem. 32, 62–78. https://doi.org/10.1002/etc.2046

Barouki, R., Kogevinas, M., Audouze, K., Belesova, K., Bergman, A., Birnbaum, L., Boekhold, S., Denys, S., Desseille, C., Drakvik, E., Frumkin, H., Garric, J., Destoumieux-Garzon, D., Haines, A., Huss, A., Jensen, G., Karakitsios, S., Klanova, J., Koskela, I.M., Laden, F., Marano, F., Franziska Matthies-Wiesler, E., Morris, G., Nowacki, J., Paloniemi, R., Pearce, N., Peters, A., Rekola, A., Sarigiannis, D., Šebková, K., Slama, R., Staatsen, B., Tonne, C., Vermeulen, R., Vineis, P., 2021. The COVID-19 pandemic and global environmental change: Emerging research needs. Environ. Int. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106272

Bastl, K., Kmenta, M., Berger, U.E., 2018. Defining Pollen Seasons: Background and Recommendations. Curr. Allergy Asthma Rep. https://doi.org/10.1007/s11882-018-0829-z

Bastl, M., Berger, M., Bastl, K., Dirr, L., Zwingers, T., Bergmann, K.C., Pfaar, O., Bruffaerts, N., Magyar, D., Majkowska-Wojciechowska, B., Mitrović Josipović, M., Rybníček, O., Stjepanovic, B., Werchan, M., Berger, U., 2022. Development of the EAACI% season definition a backup for a global application. Allergy Eur. J. Allergy Clin. Immunol. https://doi.org/10.1111/all.15220

Beggs, P.J., 2000. Impacts of climate and climate change on medications and human health. Aust. N. Z. J. Public Health. https://doi.org/10.1111/j.1467-842X.2000.tb00531.x

Behera, S.N., Sharma, M., Aneja, V.P., Balasubramanian, R., 2013. Ammonia in the atmosphere: A review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. Environ. Sci. Pollut. Res. https://doi.org/10.1007/s11356-013-2051-9

Bennett, J.W., Klich, M., 2003. Mycotoxins. Clin. Microbiol. Rev. https://doi.org/10.1128/CMR.16.3.497-516.2003

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

Bijnens, E.M., Zeegers, M.P., Derom, C., Martens, D.S., Gielen, M., Hageman, G.J., Plusquin, M., Thiery, E., Vlietinck, R., Nawrot, T.S., 2017. Telomere tracking from birth to adulthood and residential traffic blootstelling. BMC Med. https://doi.org/10.1186/s12916-017-0964-8

Bogdziewicz, M., 2021. How will global change affect plant reproduction? A framework for mast seeding trends. New Phytol. https://doi.org/10.1111/nph.17682

Bousquet, J., Anto, J.M., Wickman, M., Keil, T., Valenta, R., Haahtela, T., Lodrup Carlsen, K., Van Hage, M., Akdis, C., Bachert, C., Akdis, M., Auffray, C., Annesi-Maesano, I., Bindslev-Jensen, C., Cambon-Thomsen, A., Carlsen, K.H., Chatzi, L., Forastiere, F., Garcia-Aymerich, J., Gehrig, U., Guerra, S., Heinrich, J., Koppelman, G.H., Kowalski, M.L., Lambrecht, B., Lupinek, C., Maier, D., Melén, E., Momas, I., Palkonen, S., Pinart, M., Postma, D., Siroux, V., Smit, H.A., Sunyer, J., Wright, J., Zuberbier, T., Arshad, S.H., Nadif, R., Thijs, C., Andersson, N., Asarnoj, A., Ballardini, N., Ballereau, S.,

Bedbrook, A., Benet, M., Bergstrom, A., Brunekreef, B., Burte, E., Calderon, M., De Carlo, G., Demoly, P., Eller, E., Fantini, M.P., Hammad, H., Hohman, C., Just, J., Kerkhof, M., Kogevinas, M., Kull, I., Lau, S., Lemonnier, N., Mommers, M., Nawijn, M., Neubauer, A., Oddie, S., Pellet, J., Pin, I., Porta, D., Saes, Y., Skrindo, I., Tischer, C.G., Torrent, M., Von Hertzen, L., 2015. Are allergic multimorbidities and IgE polysensitization associated with the persistence or re-occurrence of foetal type 2 signalling? the MeDALL hypothesis. Allergy Eur. J. Allergy Clin. Immunol. 70, 1062–1078. https://doi.org/10.1111/all.12637

Boxall, A.B.A., Hardy, A., Beulke, S., Boucard, T., Burgin, L., Falloon, P.D., Haygarth, P.M., Hutchinson, T., Kovats, R.S., Leonardi, G., Levy, L.S., Nichols, G., Parsons, S.A., Potts, L., Stone, D., Topp, E., Turley, D.B., Walsh, K., Wellington, E.M.H., Williams, R.J., 2009. Impacts of Climate Change on Indirect Human Blootstelling to Pathogens and Chemicals from Agriculture. Environ. Health Perspect. 117, 508–514. https://doi.org/10.1289/EHP.0800084

Braekman, E., Berete, F., Charafeddine, R., Demarest, S., Drieskens, S., Gisle, L., Molenberghs, G., Tafforeau, J., Van der Heyden, J., Van Hal, G., 2018. Measurement agreement of the self-administered questionnaire of the Belgian Health Interview Survey: Paper-and-pencil versus web-based mode. PLoS One 13, e0197434. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197434

Brook, R.D., Newby, D.E., Rajagopalan, S., 2018. Air Pollution and Cardiometabolic Disease: An Update and Call for Clinical Trials. Am. J. Hypertens. https://doi.org/10.1093/ajh/hpx109

Brown, L.F., Kroenke, K., Theobald, D.E., Wu, J., 2011. Comparison of SF-36 vitality scale and Fatigue Symptom Inventory in assessing cancer-related fatigue. Support. Care Cancer 19, 1255–1259. https://doi.org/10.1007/s00520-011-1148-2

Bruffaerts, N., De Smedt, T., Delcloo, A., Simons, K., Hoebeke, L., Verstraeten, C., Van Nieuwenhuyse, A., Packeu, A., Hendrickx, M., 2018. Comparative long-term trend analysis of daily weather conditions with daily pollen concentrations in Brussels, Belgium. Int. J. Biometeorol. 62, 483–491. https://doi.org/10.1007/s00484-017-1457-3

Bultot, F., Coppens, A., Dupriez, G.L. (1983). Estimation de l'évapotranspiration potentielle en Belgique.Procédure révisée. Vol. 112, 32, IRM.

Bunker, A., Wildenhain, J., Vandenbergh, A., Henschke, N., Rocklöv, J., Hajat, S., Sauerborn, R., 2016. Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; a Systematic Review and Meta-analysis of Epidemiological Evidence. EBioMedicine 6, 258–268. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.02.034

Buters, J., Prank, M., Sofiev, M., Pusch, G., Albertini, R., Annesi-Maesano, I., Antunes, C., Behrendt, H., Berger, U., Brandao, R., Celenk, S., Galan, C., Grewling, Ł., Jackowiak, B., Kennedy, R., Rantio-Lehtimäki, A., Reese, G., Sauliene, I., Smith, M., Thibaudon, M., Weber, B., Cecchi, L., 2015. Variation of the group 5 grass pollen allergen content of airborne pollen in relation to geographic location and time in season the HIALINE working group. J. Allergy Clin. Immunol. 136, 87-95.e6. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2015.01.049

Cabrera, M., Subiza, J., Fernández-Caldas, E., Garzón García, B., Moreno-Grau, S., Subiza, J.L., 2021. Influence of environmental drivers on allergy to pollen grains in a case study in Spain (Madrid): meteorological factors, pollutants, and airborne concentration of aeroallergens. Environ. Sci. Pollut. Res. 28, 53614–53628. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14346-y

Cakmak, S., Cole, C., Hebbern, C., Andrade, J., Dales, R., 2020. Associations between blood volatile organic compounds, and changes in hematologic and biochemical profiles, in a population-based study. Environ. Int. 145, 106121. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106121

Calatroni, A., Arbes, S.J., Gergen, P.J., Mitchell, H.E., Zeldin, D.C., 2009. Classification of 19 Allergen-Specific IgE Antibodies Tested in NHANES 2005-2006. J. Allergy Clin. Immunol. 123, S193–S193. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2008.12.732

Cariñanos, P., Ruiz-Peñuela, S., Valle, A.M., de la Guardia, C.D., 2020. Assessing pollination disservices of urban street-trees: The case of London-plane tree (Platanus x hispanica Mill. ex Münchh). Sci. Total Environ. 737, 139722. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139722

Casas, L., Cox, B., Nemery, B., Deboosere, P., Nawrot, T.S., 2021. High temperatures trigger suicide mortality in Brussels, Belgium: A case-crossover study (2002–2011). Environ. Res. 112159. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112159

Charisiadis, P., Makris, K.C., 2018. Cohort-friendly protocol for a sensitive and fast method for trihalomethanes in urine using gas chromatography—Triple quadrupole mass spectrometry. J. Chromatogr. B Anal. Technol. Biomed. Life Sci. 1072, 336–340. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2017.11.045

Chen, X., Li, N., Liu, J., Zhang, Z., Liu, Y., 2019. Global heat wave hazard considering humidity effects during the 21st century. Int. J. Environ. Res. Public Health 16. https://doi.org/10.3390/ijerph16091513

Cheuvront, S.N., Ely, B.R., Kenefick, R.W., Sawka, M.N., 2010. Biological variation and diagnostic accuracy of dehydration assessment markers. Am. J. Clin. Nutr. 92, 565–573. https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.29490

Chi, D., Aerts, R., Nieuwenhuyse, A. Van, Bauwelinck, M., Demoury, C., Plusquin, M., Nawrot, T.S., Casas, L., Somers, B., 2022. Residential Blootstelling to Urban Trees and Medication Sales for Mood Disorders and Cardiovascular Disease in Brussels, Belgium: An Ecological Study. Environ. Health Perspect. 130. https://doi.org/10.1289/EHP9924

Chrousos, G.P., 2009. Stress and disorders of the stress system. Nat. Rev. Endocrinol. https://doi.org/10.1038/nrendo.2009.106

Cianconi, P., Betrò, S., Janiri, L., 2020. The Impact of Climate Change on Mental Health: A Systematic Descriptive Review. Front. Psychiatry 11, 74. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00074

Cipriani, F., Tripodi, S., Panetta, V., Perna, S., Potapova, E., Dondi, A., Bernardini, R., Caffarelli, C., Casani, A., Cervone, R.,

Chini, L., Comberiati, P., De Castro, G., Miraglia Del Giudice, M., Dello Iacono, I., Di Rienzo Businco, A., Gallucci, M., Giannetti, A., Mastrorilli, C., Moschese, V., Pelosi, S., Sfika, I., Varin, E., Villella, V., Zicari, A.M., Brindisi, G., Ricci, G., Matricardi, P.M., 2019. Early molecular biomarkers predicting the evolution of allergic rhinitis and its comorbidities: A longitudinal multicenter study of a patient cohort. Pediatr. Allergy Immunol. 30, 325–334. https://doi.org/10.1111/pai.13036

Claus, M., Dychus, N., Ebel, M., Damaschke, J., Maydych, V., Wolf, O.T., Kleinsorge, T., Watzl, C., 2016. Measuring the immune system: a comprehensive approach for the analysis of immune functions in humans. Arch. Toxicol. 90, 2481–2495. https://doi.org/10.1007/s00204-016-1809-5

Clearfield, M., Davis, G., Weis, J., Gayer, G., Shubrook, J.H., 2018. Cardiovascular disease as a result of the interactions between obesity, climate change, and inflammation: The COCCI syndemic. J. Am. Osteopath. Assoc. https://doi.org/10.7556/jaoa.2018.157

Colles, A., Bruckers, L., Den Hond, E., Govarts, E., Morrens, B., Schettgen, T., Buekers, J., Coertjens, D., Nawrot, T., Loots, I., Nelen, V., De Henauw, S., Schoeters, G., Baeyens, W., van Larebeke, N., 2020. Perfluorinated substances in the Flemish population (Belgium): Levels and determinants of variability in blootstelling. Chemosphere 242. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125250

Costello, A., Abbas, M., Allen, A., Ball, S., Bell, S., Bellamy, R., Friel, S., Groce, N., Johnson, A., Kett, M., Lee, M., Levy, C., Maslin, M., McCoy, D., McGuire, B., Montgomery, H., Napier, D., Pagel, C., Patel, J., de Oliveira, J.A.P., Redclift, N., Rees, H., Rogger, D., Scott, J., Stephenson, J., Twigg, J., Wolff, J., Patterson, C., 2009. Managing the health effects of climate change: Lancet and University College London Institute for Global Health Commission. Lancet (London, England) 373, 1693–1733. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60935-1

Creppy, E.E., 2002. Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe, in: Toxicology Letters. Toxicol Lett, pp. 19–28. https://doi.org/10.1016/S0378-4274(01)00479-9

Crestani, E., Harb, H., Charbonnier, L.M., Leirer, J., Motsinger-Reif, A., Rachid, R., Phipatanakul, W., Kaddurah-Daouk, R., Chatila, T.A., 2020. Untargeted metabolomic profiling identifies disease-specific signatures in food allergy and asthma. J. Allergy Clin. Immunol. 145, 897–906. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2019.10.014

Cunha, M., Ribeiro, H., Costa, P., Abreu, I., 2015. A comparative study of vineyard phenology and pollen metrics extracted from airborne pollen time series. Aerobiologia (Bologna). 31, 45–56. https://doi.org/10.1007/s10453-014-9345-3

Cuschieri, S., Calleja Agius, J., 2021. The interaction between diabetes and climate change – A review on the dual global phenomena. Early Hum. Dev. 155, 105220. https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2020.105220

D'Amato, G., Chong-Neto, H.J., Monge Ortega, O.P., Vitale, C., Ansotegui, I., Rosario, N., Haahtela, T., Galan, C., Pawankar, R., Murrieta-Aguttes, M., Cecchi, L., Bergmann, C., Ridolo, E., Ramon, G., Gonzalez Diaz, S., D'Amato, M., Annesi-Maesano, I., 2020. The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens. Allergy Eur. J. Allergy Clin. Immunol. https://doi.org/10.1111/all.14476

Damialis, A., Mohammad, A.B., Halley, J.M., Gange, A.C., 2015. Fungi in a changing world: growth rates will be elevated, but spore production may decrease in future climates. Int. J. Biometeorol. 59, 1157–1167. https://doi.org/10.1007/s00484-014-0927-0

Damialis, A., Traidl-Hoffmann, C., Treudler, R., 2019. Climate Change and Pollen Allergies, in: Biodiversity and Health in the Face of Climate Change. Springer, Cham, pp. 47–66. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02318-8_3

Dayrit, J.F., Bintanjoyo, L., Andersen, L.K., Davis, M.D.P., 2018. Impact of climate change on dermatological conditions related to flooding: update from the International Society of Dermatology Climate Change Committee. Int. J. Dermatol. https://doi.org/10.1111/ijd.13901

De Blauwe, I., 2022. From a long-distance threat to the invasion front: a review of the invasive Aedes mosquito species in Belgium between 2007 and 2020. Parasites & Vectors (2022) 15:206.

De Boer, J.G., Harvey, J.A., 2020. Range-expansion in processionary moths and biological control. Insects. https://doi.org/10.3390/insects11050267

De Craemer, S., Croes, K., van Larebeke, N., De Henauw, S., Schoeters, G., Govarts, E., Loots, I., Nawrot, T., Nelen, V., Den Hond, E., Bruckers, L., Gao, Y., Baeyens, W., 2017. Metals, hormones and sexual maturation in Flemish adolescents in three cross-sectional studies (2002–2015). Environ. Int. 102, 190–199. https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.014

de Weger, L.A., Bruffaerts, N., Koenders, M.M.J.F., Verstraeten, W.W., Delcloo, A.W., Hentges, P., Hentges, F., 2021. Long-Term Pollen Monitoring in the Benelux: Evaluation of Allergenic Pollen Levels and Temporal Variations of Pollen Seasons. Front. Allergy 0, 30. https://doi.org/10.3389/FALGY.2021.676176

Dons, E., Van Poppel, M., Int Panis, L., De Prins, S., Berghmans, P., Koppen, G., Matheeussen, C., 2014. Land use regression models as a tool for short, medium and long term blootstelling to traffic related air pollution. Sci. Total Environ. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.025

Dubey, D., Sharma, V.D., Pass, S.E., Sawhney, A., Stuve, O., 2014. Para-dichlorobenzene toxicity - a review of potential neurotoxic manifestations. Ther. Adv. Neurol. Disord. https://doi.org/10.1177/1756285614521889

Ebi, K.L., 2021. Environmental health research needed to inform strategies, policies, and measures to manage the risks of anthropogenic climate change. Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source. https://doi.org/10.1186/s12940-021-00792-1

Ebi, K.L., McGregor, G., 2008. Climate change, tropospheric ozone and particulate matter, and health impacts. Environ. Health Perspect. https://doi.org/10.1289/ehp.11463

Eguiluz-Gracia, I., Mathioudakis, A.G., Bartel, S., Vijverberg, S.J.H., Fuertes, E., Comberiati, P., Cai, Y.S., Tomazic, P.V., Diamant, Z., Vestbo, J., Galan, C., Hoffmann, B., 2020. The need for clean air: The way air pollution and climate change affect allergic rhinitis and asthma. Allergy Eur. J. Allergy Clin. Immunol. https://doi.org/10.1111/all.14177

Eifan, A.O., Durham, S.R., 2016. Pathogenesis of rhinitis. Clin. Exp. Allergy. https://doi.org/10.1111/cea.12780

EN 16868:2019 - Ambient air - Sampling and analysis of airborne pollen grains and fungal spores for [WWW Document], n.d. URL https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5f1349aa-f4cc-430a-978e-3044737e3f28/en-16868-2019 (accessed 1.9.22).

Eriksson, K.A., Stjernberg, N.L., Levin, J.O., Hammarström, U., Ledin, M.C., 1996. Terpene blootstelling and respiratory effects among sawmill workers. Scand. J. Work. Environ. Heal. 22, 182–190. https://doi.org/10.5271/sjweh.129

Eritja, R., Delacour-Estrella, S., Ruiz-Arrondo, I., González, M.A., Barceló, C., García-Pérez, A.L., Lucientes, J., Miranda, M., Bartumeus, F., 2021. At the tip of an iceberg: citizen science and active surveillance collaborating to broaden the known distribution of Aedes japonicus in Spain. Parasites and Vectors 14, 1–12. https://doi.org/10.1186/S13071-021-04874-4/TABLES/2

Esteban López, M., Göen, T., Mol, H., Nübler, S., Haji-Abbas-Zarrabi, K., Koch, H.M., Kasper-Sonnenberg, M., Dvorakova, D., Hajslova, J., Antignac, J.P., Vaccher, V., Elbers, I., Thomsen, C., Vorkamp, K., Pedraza – Díaz, S., Kolossa-Gehring, M., Castaño, A., 2021. The European human biomonitoring platform - Design and implementation of a laboratory quality assurance/quality control (QA/QC) programme for selected priority chemicals. Int. J. Hyg. Environ. Health 234, 113740. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113740

European Commission, n.d. Chlorpyrifos & Chlorpyrifos-methyl [WWW Document]. URL https://ec.europa.eu/food/plants/pesticides/approval-active-substances/renewal-approval/chlorpyrifos-chlorpyrifos-methyl_en (accessed 12.14.21).

European Environment Agency, 2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 — European Environment Agency. Luxembourg. https://doi.org/10.2800/53480

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

Fivenson, D., Sabzevari, N., Qiblawi, S., Blitz, J., Norton, B.B., Norton, S.A., 2021. Sunscreens: UV filters to protect us: Part 2-Increasing awareness of UV filters and their potential toxicities to us and our environment. Int. J. Women's Dermatology. https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2020.08.008

Flamant-Hulin, M., Caillaud, D., Sacco, P., Penard-Morand, C., Annesi-Maesano, I., 2010. Air pollution and increased levels of fractional exhaled nitric oxide in children with no history of airway damage. J. Toxicol. Environ. Heal. - Part A Curr. Issues 73, 272–283. https://doi.org/10.1080/15287390903249206

Food and Agriculture Organization (FAO), n.d. FAOSTAT [WWW Document]. URL https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP (accessed 12.14.21).

Franck, U., Krüger, M., Schwarz, N., Grossmann, K., Röder, S., Schlink, U., 2013. Heat stress in urban areas: Indoor and outdoor temperatures in different urban structure types and subjectively reported well-being during a heat wave in the city of Leipzig, in: Meteorologische Zeitschrift. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, pp. 167–177. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0384

Frogner-Kockum, P., Göransson, G., Haeger-Eugensson, M., 2020. Impact of Climate Change on Metal and Suspended Sediment Concentrations in Urban Waters. Front. Environ. Sci. 8, 269. https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.588335

Galán, C., Ariatti, A., Bonini, M., Clot, B., Crouzy, B., Dahl, A., Fernandez-González, D., Frenguelli, G., Gehrig, R., Isard, S., Levetin, E., Li, D.W., Mandrioli, P., Rogers, C.A., Thibaudon, M., Sauliene, I., Skjoth, C., Smith, M., Sofiev, M., 2017. Recommended terminology for aerobiological studies. Aerobiol. 2017 333 33, 293–295. https://doi.org/10.1007/S10453-017-9496-0

Galán, C., García-Mozo, H., Cariñanos, P., Alcázar, P., Domínguez-Vilches, E., 2001. The role of temperature in the onset of the Olea europaea L. pollen season in southwestern Spain. Int. J. Biometeorol. 45, 8–12. https://doi.org/10.1007/s004840000081

Galán, C., Smith, M., Damialis, A., Frenguelli, G., Gehrig, R., Grinn-Gofroń, A., Kasprzyk, I., Magyar, D., Oteros, J., Šaulienė, I., Thibaudon, M., Sikoparija, B., 2021. Airborne fungal spore monitoring: between analyst proficiency testing. Aerobiologia (Bologna). 37, 351–361. https://doi.org/10.1007/s10453-021-09698-4

Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., Frenguelli, G., Oteros, J., Gehrig, R., Berger, U., Clot, B., Brandao, R., 2014. Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis. Aerobiologia (Bologna). 30, 385–395. https://doi.org/10.1007/s10453-014-9335-5

Gerić, M., Gajski, G., Oreščanin, V., Garaj-Vrhovac, V., 2018. Seasonal variations as predictive factors of the comet assay parameters: a retrospective study. Mutagenesis 33, 53–60. https://doi.org/10.1093/MUTAGE/GEX023

Gilles-Stein, S., Beck, I., Chaker, A., Bas, M., McIntyre, M., Cifuentes, L., Petersen, A., Gutermuth, J., Schmidt-Weber, C., Behrendt, H., Traidl-Hoffmann, C., 2016. Pollen derived low molecular compounds enhance the human allergen specific immune response in vivo. Clin. Exp. Allergy 46, 1355–1365. https://doi.org/10.1111/cea.12739

Gilles, S., Blume, C., Wimmer, M., Damialis, A., Meulenbroek, L., Gökkaya, M., Bergougnan, C., Eisenbart, S., Sundell, N., Lindh, M., Andersson, L.M., Dahl, Å., Chaker, A., Kolek, F., Wagner, S., Neumann, A.U., Akdis, C.A., Garssen, J., Westin,

J., van't Land, B., Davies, D.E., Traidl-Hoffmann, C., 2020. Pollen blootstelling weakens innate defense against respiratory viruses. Allergy Eur. J. Allergy Clin. Immunol. 75, 576–587. https://doi.org/10.1111/all.14047
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
Gökkaya, M., Damialis, A., Nussbaumer, T., Beck, I., Bounas-Pyrros, N., Bezold, S., Amisi, M.M., Kolek, F., Todorova, A., Chaker, A., Aglas, L., Ferreira, F., Redegeld, F.A., Brunner, J.O., Neumann, A.U., Traidl-Hoffmann, C., Gilles, S., 2020. Defining biomarkers to predict symptoms in subjects with and without allergy under natural pollen blootstelling. J. Allergy Clin. Immunol. 146, 583-594.e6. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.02.037
Goodman, R., 2001. Psychometric properties of the strengths and difficulties questionnaire. J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry. https://doi.org/10.1097/00004583-200111000-00015
Gostimirovic, M., Novakovic, R., Rajkovic, J., Djokic, V., Terzic, D., Putnik, S., Gojkovic-Bukarica, L., 2020. The influence of climate change on human cardiovascular function. Arch. Environ. Occup. Heal. 75, 406–414. https://doi.org/10.1080/19338244.2020.1742079
Gouin, T., Armitage, J.M., Cousins, I.T., Muir, D.C.G., Ng, C.A., Reid, L., Tao, S., 2013. Influence of global climate change on chemical fate and bioaccumulation: The role of multimedia models. Environ. Toxicol. Chem. 32, 20–31. https://doi.org/10.1002/etc.2044
Gray, N.A., Dhana, A., Van Der Vyver, L., Van Wyk, J., Khumalo, N.P., Stein, D.J., 2018. Determinants of hair cortisol concentration in children: A systematic review. Psychoneuroendocrinology. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.10.022
Grinn-Gofroń, A., Nowosad, J., Bosiacka, B., Camacho, I., Pashley, C., Belmonte, J., De Linares, C., Ianovici, N., Manzano, J.M.M., Sadyś, M., Skjøth, C., Rodinkova, V., Tormo-Molina, R., Vokou, D., Fernández-Rodríguez, S., Damialis, A., 2019. Airborne Alternaria and Cladosporium fungal spores in Europe: Forecasting possibilities and relationships with meteorological parameters. Sci. Total Environ. 653, 938–946. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.419
Gruzieva, O., Merid, S.K., Gref, A., Gajulapuri, A., Lemonnier, N., Ballereau, S., Gigante, B., Kere, J., Auffray, C., Melén, E., Pershagen, G., 2017. Blootstelling to traffic-related air pollution and serum inflammatory cytokines in children. Environ. Health Perspect. 125. https://doi.org/10.1289/EHP460
Haccuria, A., Michils, A., Michiels, S., Van Muylem, A., 2014. Exhaled nitric oxide: A biomarker integrating both lung function and airway inflammation changes. J. Allergy Clin. Immunol. 134, 554–559. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2013.12.1070
Haines, A., Ebi, K., 2019. The Imperative for Climate Action to Protect Health. N. Engl. J. Med. 380, 263–273. https://doi.org/10.1056/nejmra1807873
Han, C., Lim, Y.H., Hong, Y.C., 2016. Ten-year trends in urinary concentrations of triclosan and benzophenone-3 in the general U.S. population from 2003 to 2012. Environ. Pollut. 208, 803–810. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.002
Hart, P.H., Norval, M., 2018. Ultraviolet radiation-induced immunosuppression and its relevance for skin carcinogenesis. Photochem. Photobiol. Sci. https://doi.org/10.1039/c7pp00312a
Hashim, I.A., 2010. Clinical biochemistry of hyperthermia. Ann. Clin. Biochem. https://doi.org/10.1258/acb.2010.010186
Hass, A.L., Runkle, J.D., Sugg, M.M., 2021. The driving influences of human perception to extreme heat: A scoping review. Environ. Res. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111173
Helldén, D., Andersson, C., Nilsson, M., Ebi, K.L., Friberg, P., Alfvén, T., 2021. Climate change and child health: a scoping review and an expanded conceptual framework. Lancet Planet. Heal. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30274-6
Heyndrickx, E., Sioen, I., Huybrechts, B., Callebaut, A., De Henauw, S., De Saeger, S., 2015. Human biomonitoring of multiple mycotoxins in the Belgian population: Results of the BIOMYCO study. Environ. Int. 84, 82–89. https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.06.011
Hickman, C., Marks, E., Pihkala, P., Clayton, S., Lewandowski, R.E., Mayall, E.E., Wray, B., Mellor, C., van Susteren, L., 2021. Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: a global survey. Lancet Planet. Heal. 5, e863–e873. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00278-3
Hirahara, S., Balmaseda, A., Boisseson, E., Hersbach, H., 2016. ERA report series; Sea Surface Temperature and Sea Ice Concentration for ERA5.
HIRST, J.M., 1952. AN AUTOMATIC VOLUMETRIC SPORE TRAP. Ann. Appl. Biol. 39, 257–265. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1952.tb00904.x
Hoebeke, L., Bruffaerts, N., Verstraeten, C., Delcloo, A., De Smedt, T., Packeu, A., Detandt, M., Hendrickx, M., 2018. Thirty-four years of pollen monitoring: an evaluation of the temporal variation of pollen seasons in Belgium. Aerobiologia (Bologna). 34, 139–155. https://doi.org/10.1007/s10453-017-9503-5
Hooper, L., Abdelhamid, A., Ali, A., Bunn, D.K., Jennings, A., John, W.G., Kerry, S., Lindner, G., Pfortmueller, C.A., Sjöstrand, F., Walsh, N.P., Fairweather-Tait, S.J., Potter, J.F., Hunter, P.R., Shepstone, L., 2015. Diagnostic accuracy of calculated serum osmolarity to predict dehydration in older people: Adding value to pathology laboratory reports. BMJ Open 5. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-008846
Houeto, P., Bindoula, G., Hoffman, J.R., 1995. Ethylenebisdithiocarbamates and ethylenethiourea: Possible human health hazards. Environ. Health Perspect. https://doi.org/10.1289/ehp.95103568

Huang, Y., Law, J.C.F., Lam, T.K., Leung, K.S.Y., 2021. Risks of organic UV filters: a review of environmental and human health concern studies. Sci. Total Environ. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142486

Huisman, J., Codd, G.A., Paerl, H.W., Ibelings, B.W., Verspagen, J.M.H., Visser, P.M., 2018. Cyanobacterial blooms. Nat. Rev. Microbiol. https://doi.org/10.1038/s41579-018-0040-1

Hulshof, L., Hack, D.P., Hasnoe, Q.C.J., Dontje, B., Jakasa, I., Riethmüller, C., McLean, W.H.I., van Aalderen, W.M.C., van't Land, B., Kezic, S., Sprikkelman, A.B., Middelkamp-Hup, M.A., 2019. A minimally invasive tool to study immune response and skin barrier in children with atopic dermatitis. Br. J. Dermatol. 180, 621–630. https://doi.org/10.1111/bjd.16994

Hung, S.C., Yang, C.C., Liu, C.F., Kung, C. Te, Lee, W.H., Ho, C.K., Chuang, H.Y., Yu, H.S., 2021. The association pattern between ambient temperature change and leukocyte counts. Int. J. Environ. Res. Public Health 18. https://doi.org/10.3390/ijerph18136971

Huynen, M., Vliet, A. Van, Staatsen, B., Hall, L., Zwartkruis, J., Kruize, H., Betgen, C., Verboom, J., Martens, P., 2019. Kennisagenda Klimaat en Gezondheid. Den Haag.

ILVO, 2021. Wat als irrigatiewater van sla, wortelen en aardbeien toxische microcystine bevat? - ILVO Vlaanderen [WWW Document]. URL https://ilvo.vlaanderen.be/nl/nieuws/wat-als-irrigatiewater-van-sla-wortelen-en-aardbeien-toxische-microcystine-bevat (accessed 5.13.22).

IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Jafari, M.J., Khosrowabadi, R., Khodakarim, S., Khodagholi, F., Mohammadian, F., 2021. The effects of combined blootstelling to noise and heat on human salivary cortisol and blood pressure. Int. J. Occup. Saf. Ergon. 27, 831–839. https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1659578

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., Beeregowda, K.N., 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdiscip. Toxicol. https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009

Jetschni, J., Jochner-Oette, S., 2021. Spatial and temporal variations of airborne poaceae pollen along an urbanization gradient assessed by different types of pollen traps. Atmosphere (Basel). 12, 974. https://doi.org/10.3390/atmos12080974

Kataria, A., Trasande, L., Trachtman, H., 2015. The effects of environmental chemicals on renal function. Nat. Rev. Nephrol. https://doi.org/10.1038/nrneph.2015.94

Katelaris, C.H., Burke, T. V., Byth, K., 2004. Spatial variability in the pollen count in Sydney, Australia: Can one sampling site accurately reflect the pollen count for a region? Ann. Allergy, Asthma Immunol. 93, 131–136. https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)61464-0

Kennedy, J. J., Rayner, N. A., Atkinson, C. P., & Killick, R. E. (2019). An ensemble data set of sea surface temperature change from 1850: The Met Office Hadley Centre HadSST.4.0.0.0 data set. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 124, 7719– 7763. https://doi.org/10.1029/2018JD029867.

Kenny, G.P., Jay, O., 2013. Thermometry, calorimetry, and mean body temperature during heat stress. Compr. Physiol. 3, 1689–1719. https://doi.org/10.1002/cphy.c130011

Keurentjes, A.J., Jakasa, I., John, S.M., Ulrich, C., Bekkenk, M.W., Rustemeyer, T., Kezic, S., 2020. Tape stripping the stratum corneum for biomarkers of ultraviolet radiation blootstelling at sub-erythemal dosages: a study in human volunteers. https://doi.org/10.1080/1354750X.2020.1792551 490–497. https://doi.org/10.1080/1354750X.2020.1792551

Kicinski, M., Vermeir, G., Van Larebeke, N., Den Hond, E., Schoeters, G., Bruckers, L., Sioen, I., Bijnens, E., Roels, H.A., Baeyens, W., Viaene, M.K., Nawrot, T.S., 2015. Neurobehavioral performance in adolescents is inversely associated with traffic blootstelling. Environ. Int. 75, 136–143. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.028

Kim, K.H., Jahan, S.A., Kabir, E., Brown, R.J.C., 2013. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. Environ. Int. https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.019

Kim, S.S., Vuong, A.M., Dietrich, K.N., Chen, A., 2021. Proximity to traffic and blootstelling to polycyclic aromatic hydrocarbons in relation to Attention Deficit Hyperactivity Disorder and conduct disorder in U.S. children. Int. J. Hyg. Environ. Health 232. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113686

Kinney, P.L., 2018. Interactions of Climate Change, Air Pollution, and Human Health. Curr. Environ. Heal. reports. https://doi.org/10.1007/s40572-018-0188-x

Kitinoja, M.A., Hugg, T.T., Siddika, N., Rodriguez Yanez, D., Jaakkola, M.S., Jaakkola, J.J.K., 2020. Short-term blootstelling to pollen and the risk of allergic and asthmatic manifestations: A systematic review and meta-analysis. BMJ Open 10, e029069. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-029069

Klimaatportaal Vlaanderen update 2021 — Vlaamse Milieumaatschappij [WWW Document], n.d. URL https://www.vmm.be/publicaties/klimaatportaal-vlaanderen-update-2021/ (accessed 12.7.21).

König, K., Klemens, C., Eder, K., San Nicoló, M., Becker, S., Kramer, M.F., Gröger, M., 2015. Cytokine profiles in nasal fluid of patients with seasonal or persistent allergic rhinitis. Allergy, Asthma Clin. Immunol. 11, 1–10. https://doi.org/10.1186/s13223-015-0093-x

Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI), 2020. Klimaatrapport 2020. Ukkel.

Koppen, G., Franken, C., Den Hond, E., Plusquin, M., Reimann, B., Leermakers, M., Covaci, A., Nawrot, T., Van Larebeke, N.,

Schoeters, G., Bruckers, L., Govarts, E., 2020. Pooled analysis of genotoxicity markers in relation to blootstelling in the Flemish Environment and Health Studies (FLEHS) between 1999 and 2018. Environ. Res. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110002

Kosmopoulos, P.G., Kazadzis, S., Schmalwieser, A.W., Raptis, P.I., Papachristopoulou, K., Fountoulakis, I., Masoom, A., Bais, A.F., Bilbao, J., Blumthaler, M., Kreuter, A., Siani, A.M., Eleftheratos, K., Topaloglou, C., Gröbner, J., Johnsen, B., Svendby, T.M., Vilaplana, J.M., Doppler, L., Webb, A.R., Khazova, M., De Backer, H., Heikkilä, A., Lakkala, K., Jaroslawski, J., Meleti, C., Diémoz, H., Hülsen, G., Klotz, B., Rimmer, J., Kontoes, C., 2021. Real-time UV index retrieval in Europe using Earth observation-based techniques: System description and quality assessment. Atmos. Meas. Tech. 14, 5657–5699. https://doi.org/10.5194/amt-14-5657-2021

Kotas, M.E., Medzhitov, R., 2015. Homeostasis, Inflammation, and Disease Susceptibility. Cell. https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.02.010

Kownacki, K.L., Gao, C., Kuklane, K., Wierzbicka, A., 2019. Heat stress in indoor environments of scandinavian urban areas: A literature review. Int. J. Environ. Res. Public Health. https://doi.org/10.3390/ijerph16040560

Künzli, N., Perez, L., Rapp, R., Ayres, J., Brunekreef, B., Forsberg, B., Forastiere, F., Pekkanen, J., Sibille, Y., Sigsgaard, T., Medina, S., Moshammer, H., Strähl, P., Krzyzanowski, M., 2010. Air Quality and Health. Basel.

Lewis, J., Boudreau, C.R., Patterson, J.W., Bradet-Legris, J., Lloyd, V.K., 2018. Citizen science and community engagement in tick surveillance—A Canadian case study. Healthc. 6. https://doi.org/10.3390/healthcare6010022

Licari, A., Castagnoli, R., Denicolò, C.F., Rossini, L., Marseglia, A., Marseglia, G.L., 2017. The nose and the lung: United airway disease? Front. Pediatr. https://doi.org/10.3389/fped.2017.00044

Mac, V.V.T., Tovar-Aguilar, J.A., Flocks, J., Economos, E., Hertzberg, V.S., McCauley, L.A., 2017. Heat Blootstelling in Central Florida Fernery Workers: Results of a Feasibility Study. J. Agromedicine 22, 89–99. https://doi.org/10.1080/1059924X.2017.1282906

Mahato, D.K., Lee, K.E., Kamle, M., Devi, S., Dewangan, K.N., Kumar, P., Kang, S.G., 2019. Aflatoxins in Food and Feed: An Overview on Prevalence, Detection and Control Strategies. Front. Microbiol. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02266

Marazziti, D., Cianconi, P., Mucci, F., Foresi, L., Chiarantini, I., Della Vecchia, A., 2021. Climate change, environment pollution, COVID-19 pandemic and mental health. Sci. Total Environ. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145182

Markevych, I., Schoierer, J., Hartig, T., Chudnovsky, A., Hystad, P., Dzhambov, A.M., de Vries, S., Triguero-Mas, M., Brauer, M., Nieuwenhuijsen, M.J., Lupp, G., Richardson, E.A., Astell-Burt, T., Dimitrova, D., Feng, X., Sadeh, M., Standl, M., Heinrich, J., Fuertes, E., 2017. Exploring pathways linking greenspace to health: Theoretical and methodological guidance. Environ. Res. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.06.028

Marselle, M.R., Hartig, T., Cox, D.T.C., de Bell, S., Knapp, S., Lindley, S., Triguero-Mas, M., Böhning-Gaese, K., Braubach, M., Cook, P.A., de Vries, S., Heintz-Buschart, A., Hofmann, M., Irvine, K.N., Kabisch, N., Kolek, F., Kraemer, R., Markevych, I., Martens, D., Müller, R., Nieuwenhuijsen, M., Potts, J.M., Stadler, J., Walton, S., Warber, S.L., Bonn, A., 2021. Pathways linking biodiversity to human health: A conceptual framework. Environ. Int. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106420

Martens, D.S., Plusquin, M., Cox, B., Nawrot, T.S., 2019. Early biological aging and fetal blootstelling to high and low ambient temperature: A birth cohort study. Environ. Health Perspect. 127. https://doi.org/10.1289/EHP5153

Matsumoto, T., Nishiyama, T., Nishimura, N., Kato, M., Inukai, Y., Sugenoya, J., Yamauchi, M., Kosaka, M., 2001. Endocrine Responses to Heat and Cold Stress, in: Thermotherapy for Neoplasia, Inflammation, and Pain. Springer, Tokyo, pp. 228–241. https://doi.org/10.1007/978-4-431-67035-3_26

Mattila, P., Renkonen, J., Toppila-Salmi, S., Parviainen, V., Joenväärä, S., Alff-Tuomala, S., Nicorici, D., Renkonen, R., 2010. Time-series nasal epithelial transcriptomics during natural pollen blootstelling in healthy subjects and allergic patients. Allergy Eur. J. Allergy Clin. Immunol. 65, 175–183. https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2009.02181.x

Maya-Manzano, J.M., Smith, M., Markey, E., Hourihane Clancy, J., Sodeau, J., O´Connor, D.J., 2020. Recent developments in monitoring and modelling airborne pollen, a review. https://doi.org/10.1080/00173134.2020.1769176 1–19. https://doi.org/10.1080/00173134.2020.1769176

McEwen, B.S., 2007. Physiology and neurobiology of stress and adaptation: Central role of the brain. Physiol. Rev. https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2006

Mcmichael, A.J., Campbell-Lendrum, D.H., Corvalán, C.F., Ebi, K.L., Githeko, A.K., Scheraga, J.D., Woodward, A., 2003. Climate change and human health: risks and responses. Geneva.

Meade, R.D., Akerman, A.P., Notley, S.R., McGinn, R., Poirier, P., Gosselin, P., Kenny, G.P., 2020. Physiological factors characterizing heat-vulnerable older adults: A narrative review. Environ. Int. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105909

Mendell, M.J., Mirer, A.G., Cheung, K., Tong, M., Douwes, J., 2011. Respiratory and allergic health effects of dampness, mold, and dampness-related agents: A review of the epidemiologic evidence. Environ. Health Perspect. https://doi.org/10.1289/ehp.1002410

Mendy, A., Zeldin, D.C., 2020. Phl p 4: An early indicator of grass pollen allergy? J. Allergy Clin. Immunol. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.04.011

Menzel, A., Ghasemifard, H., Yuan, Y., Estrella, N., 2021. A First Pre-season Pollen Transport Climatology to Bavaria, Germany. Front. Allergy 2, 2. https://doi.org/10.3389/falgy.2021.627863

Messeri, A., Morabito, M., Bonafede, M., Bugani, M., Levi, M., Baldasseroni, A., Binazzi, A., Gozzini, B., Orlandini, S., Nybo, L., Marinaccio, A., 2019. Heat stress perception among native and migrant workers in italian industries—case studies from the construction and agricultural sectors. Int. J. Environ. Res. Public Health 16, 1090. https://doi.org/10.3390/ijerph16071090

Mirsaeidi, M., Motahari, H., Khamesi, M.T., Sharifi, A., Campos, M., Schraufnagel, D.E., 2016. Climate change and respiratory infections. Ann. Am. Thorac. Soc. https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201511-729PS

Mohd Hanif, N., Limi Hawari, N.S.S., Othman, M., Abd Hamid, H.H., Ahamad, F., Uning, R., Ooi, M.C.G., Wahab, M.I.A., Sahani, M., Latif, M.T., 2021. Ambient volatile organic compounds in tropical environments: Potential sources, composition and impacts – A review. Chemosphere. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131355

Møller, P., Knudsen, L.E., Frentz, G., Dybdahl, M., Wallin, H., Nexø, B.A., 1998. Seasonal variation of DNA damage and repair in patients with non- melanoma skin cancer and referents with and without psoriasis. Mutat. Res. - DNA Repair 407, 25–34. https://doi.org/10.1016/S0921-8777(97)00057-8

Mostafavi, N., Jeong, A., Vlaanderen, J., Imboden, M., Vineis, P., Jarvis, D., Kogevinas, M., Probst-Hensch, N., Vermeulen, R., 2019. The mediating effect of immune markers on the association between ambient air pollution and adult-onset asthma. Sci. Rep. 9, 8818. https://doi.org/10.1038/s41598-019-45327-4

Narloch, I., Wejnerowska, G., 2021. An overview of the analytical methods for the determination of organic ultraviolet filters in cosmetic products and human samples. Molecules. https://doi.org/10.3390/molecules26164780

Nassan, F.L., Kelly, R.S., Kosheleva, A., Koutrakis, P., Vokonas, P.S., Lasky-Su, J.A., Schwartz, J.D., 2021. Metabolomic signatures of the long-term blootstelling to air pollution and temperature. Environ. Health 20. https://doi.org/10.1186/S12940-020-00683-X

Newby, D.E., Mannucci, P.M., Tell, G.S., Baccarelli, A.A., Brook, R.D., Donaldson, K., Forastiere, F., Franchini, M., Franco, O.H., Graham, I., Hoek, G., Hoffmann, B., Hoylaerts, M.F., Künzli, N., Mills, N., Pekkanen, J., Peters, A., Piepoli, M.F., Rajagopalan, S., Storey, R.F., 2015. Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease. Eur. Heart J. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu458

Nilsson, S., Persson, S., 1981. Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden), 1973-1980. Grana 20, 179–182. https://doi.org/10.1080/00173138109427661

Nowak, K., Ratajczak-Wrona, W., Górska, M., Jabłońska, E., 2018. Parabens and their effects on the endocrine system. Mol. Cell. Endocrinol. https://doi.org/10.1016/j.mce.2018.03.014

O Flatharta, T., Flynn, A., Mulkerrin, E.C., 2019. Heat-related chronic kidney disease mortality in the young and old: Differing mechanisms, potentially similar solutions? BMJ Evidence-Based Med. https://doi.org/10.1136/bmjebm-2018-110971

Oliveira, M., Slezakova, K., Delerue-Matos, C., Pereira, M.C., Morais, S., 2019. Children environmental blootstelling to particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons and biomonitoring in school environments: A review on indoor and outdoor blootstelling levels, major sources and health impacts. Environ. Int. https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.052

Olsen, Y., Skjøth, C.A., Hertel, O., Rasmussen, K., Sigsgaard, T., Gosewinkel, U., 2020. Airborne Cladosporium and Alternaria spore concentrations through 26 years in Copenhagen, Denmark. Aerobiologia (Bologna). 36, 141–157. https://doi.org/10.1007/s10453-019-09618-7

Oteros, J., Buters, J., Laven, G., Röseler, S., Wachter, R., Schmidt-Weber, C., Hofmann, F., 2017. Errors in determining the flow rate of Hirst-type pollen traps. Aerobiologia (Bologna). 33, 201–210. https://doi.org/10.1007/s10453-016-9467-x

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 blootstellings to methylmercury and persistent organic pollutants. Reprod. Toxicol. https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2016.08.001

Pace, L., Boccacci, L., Casilli, M., Fattorini, S., 2019. Temporal variations in the diversity of airborne fungal spores in a Mediterranean high altitude site. Atmos. Environ. 210, 166–170. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.059

Pagad, S., Genovesi, P., Carnevali, L., Schigel, D., McGeoch, M.A., 2018. Data Descriptor: Introducing the Global Register of Introduced and Invasive Species. Sci. Data. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.202

Palinkas, L.A., Wong, M., 2020. Global climate change and mental health. Curr. Opin. Psychol. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.06.023

Patel, A.P., Mehta, S.S., White, A.J., Niehoff, N.M., Arroyave, W.D., Wang, A., Lunn, R.M., 2021. Urinary polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites and mortality in the United States: A prospective analysis. PLoS One 16, e0252719. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0252719

Paudel, B., Chu, T., Chen, M., Sampath, V., Prunicki, M., Nadeau, K.C., 2021. Increased duration of pollen and mold blootstelling are linked to climate change. Sci. Rep. 11, 1–12. https://doi.org/10.1038/s41598-021-92178-z

Peñuelas, J., Staudt, M., 2010. BVOCs and global change. Trends Plant Sci. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.12.005

Pernat, N., Kampen, H., Jeschke, J.M., Werner, D., 2021. Citizen science versus professional data collection: Comparison of approaches to mosquito monitoring in Germany. J. Appl. Ecol. 58, 214–223. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13767

Pero-Gascon, R., Hemeryck, L.Y., Poma, G., Falony, G., Nawrot, T.S., Raes, J., Vanhaecke, L., De Boevre, M., Covaci, A., De Saeger, S., 2022. FLEXiGUT: Rationale for exposomics associations with chronic low-grade gut inflammation. Environ. Int. 158, 106906. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106906

Pfaar, O., Bastl, K., Berger, U., Buters, J., Calderon, M.A., Clot, B., Darsow, U., Demoly, P., Durham, S.R., Galán, C., Gehrig, R., Gerth van Wijk, R., Jacobsen, L., Klimek, L., Sofiev, M., Thibaudon, M., Bergmann, K.C., 2017. Defining pollen blootstelling times for clinical trials of allergen immunotherapy for pollen-induced rhinoconjunctivitis – an EAACI position paper. Allergy Eur. J. Allergy Clin. Immunol. 72, 713–722. https://doi.org/10.1111/all.13092

Pilka, T., Petrovicova, I., Kolena, B., Zatko, T., Trnovec, T., 2014. Relationship between variation of seasonal temperature and extent of occupational blootstelling to phthalates. Environ. Sci. Pollut. Res. 22, 434–440. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3385-7

Pomés, A., Chapman, M.D., Wünschmann, S., 2016. Indoor Allergens and Allergic Respiratory Disease. Curr. Allergy Asthma Rep. https://doi.org/10.1007/s11882-016-0622-9

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 blootstelling to blood pressure in adolescents. Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source. https://doi.org/10.1186/s12940-020-00662-2

Reinmuth-Selzle, K., Kampf, C.J., Lucas, K., Lang-Yona, N., Fröhlich-Nowoisky, J., Shiraiwa, M., Lakey, P.S.J., Lai, S., Liu, F., Kunert, A.T., Ziegler, K., Shen, F., Sgarbanti, R., Weber, B., Bellinghausen, I., Saloga, J., Weller, M.G., Duschl, A., Schuppan, D., Pöschl, U., 2017. Air Pollution and Climate Change Effects on Allergies in the Anthropocene: Abundance, Interaction, and Modification of Allergens and Adjuvants. Environ. Sci. Technol. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04908

Ribeiro, H., Cunha, M., Abreu, I., 2007. Definition of main pollen season using a logistic model. Ann. Agric. Environ. Med. 14, 259–264.

Richardson, J.R., Fitsanakis, V., Westerink, R.H.S., Kanthasamy, A.G., 2019. Neurotoxicity of pesticides. Acta Neuropathol. https://doi.org/10.1007/s00401-019-02033-9

Rojo, J., Oteros, J., Pérez-Badia, R., Cervigón, P., Ferencova, Z., Gutiérrez-Bustillo, A.M., Bergmann, K.C., Oliver, G., Thibaudon, M., Albertini, R., Rodríguez-De la Cruz, D., Sánchez-Reyes, E., Sánchez-Sánchez, J., Pessi, A.M., Reiniharju, J., Saarto, A., Calderón, M.C., Guerrero, C., Berra, D., Bonini, M., Chiodini, E., Fernández-González, D., García, J., Trigo, M.M., Myszkowska, D., Fernández-Rodríguez, S., Tormo-Molina, R., Damialis, A., Kolek, F., Traidl-Hoffmann, C., Severova, E., Caeiro, E., Ribeiro, H., Magyar, D., Makra, L., Udvardy, O., Alcázar, P., Galán, C., Borycka, K., Kasprzyk, I., Newbigin, E., Adams-Groom, B., Apangu, G.P., Frisk, C.A., Skjøth, C.A., Radišić, P., Šikoparija, B., Celenk, S., Schmidt-Weber, C.B., Buters, J., 2019. Near-ground effect of height on pollen blootstelling. Environ. Res. 174, 160–169. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.027

Rolland, M., Lyon-Caen, S., Sakhi, A.K., Pin, I., Sabaredzovic, A., Thomsen, C., Slama, R., Philippat, C., 2020. Blootstelling to phenols during pregnancy and the first year of life in a new type of couple-child cohort relying on repeated urine biospecimens. Environ. Int. 139, 105678. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105678

Romanello, M., McGushin, A., Di Napoli, C., Drummond, P., Hughes, N., Jamart, L., Kennard, H., Lampard, P., Solano Rodriguez, B., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Capstick, S., Chambers, J., Chu, L., Ciampi, L., Dalin, C., Dasandi, N., Dasgupta, S., Davies, M., Dominguez-Salas, P., Dubrow, R., Ebi, K.L., Eckelman, M., Ekins, P., Escobar, L.E., Georgeson, L., Grace, D., Graham, H., Gunther, S.H., Hartinger, S., He, K., Heaviside, C., Hess, J., Hsu, S.-C., Jankin, S., Jimenez, M.P., Kelman, I., Kiesewetter, G., Kinney, P.L., Kjellstrom, T., Kniveton, D., Lee, J.K.W., Lemke, B., Liu, Y., Liu, Z., Lott, M., Lowe, R., Martinez-Urtaza, J., Maslin, M., McAllister, L., McMichael, C., Mi, Z., Milner, J., Minor, K., Mohajeri, N., Moradi-Lakeh, M., Morrissey, K., Munzert, S., Murray, K.A., Neville, T., Nilsson, M., Obradovich, N., Sewe, M.O., Oreszczyn, T., Otto, M., Owfi, F., Pearman, O., Pencheon, D., Rabbaniha, M., Robinson, E., Rocklöv, J., Salas, R.N., Semenza, J.C., Sherman, J., Shi, L., Springmann, M., Tabatabaei, M., Taylor, J., Trinanes, J., Shumake-Guillemot, J., Vu, B., Wagner, F., Wilkinson, P., Winning, M., Yglesias, M., Zhang, S., Gong, P., Montgomery, H., Costello, A., Hamilton, I., 2021. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. Lancet 398, 1619–1662. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)01787-6

Rombouts, C., Van Meulebroek, L., De Spiegeleer, M., Goethals, S., Van Hecke, T., De Smet, S., De Vos, W.H., Vanhaecke, L., 2021. Untargeted Metabolomics Reveals Elevated L-Carnitine Metabolism in Pig and Rat Colon Tissue Following Red Versus White Meat Intake. Mol. Nutr. Food Res. 65. https://doi.org/10.1002/mnfr.202000463

Roosens, L., Covaci, A., Neels, H., 2007. Concentrations of synthetic musk compounds in personal care and sanitation products and human blootstelling profiles through dermal application. Chemosphere 69, 1540–1547. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.05.072

Rouadi, P.W., Idriss, S.A., Naclerio, R.M., Peden, D.B., Ansotegui, I.J., Canonica, G.W., Gonzalez-Diaz, S.N., Rosario Filho, N.A., Ivancevich, J.C., Hellings, P.W., Murrieta-Aguttes, M., Zaitoun, F.H., Irani, C., Karam, M.R., Bousquet, J., 2020. Immunopathological features of air pollution and its impact on inflammatory airway diseases (IAD). World Allergy Organ. J. https://doi.org/10.1016/j.waojou.2020.100467

Rückerl, R., Greven, S., Ljungman, P., Aalto, P., Antoniades, C., Bellander, T., Berglind, N., Chrysohoou, C., Forastiere, F., Jacquemin, B., von Klot, S., Koenig, W., Küchenhoff, H., Lanki, T., Pekkanen, J., Perucci, C.A., Schneider, A., Sunyer, J., Peters, A., 2007. Air pollution and inflammation (Interleukin-6, C-reactive protein, fibrinogen) in myocardial infarction survivors. Environ. Health Perspect. 115, 1072–1080. https://doi.org/10.1289/ehp.10021

Ruibal-Conti, A.L., Ruiz, M.A., Rodriguez, M.I., Lerda, D., Romero, M.D., 2019. Assessment of specific antibodies as biological indicators of human chronic blootstelling to microcystins. Ecotoxicol. Environ. Saf. 175, 236–242.

https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2019.03.071
Sabzevari, N., Qiblawi, S., Norton, S.A., Fivenson, D., 2021. Sunscreens: UV filters to protect us: Part 1: Changing regulations and choices for optimal sun protection. Int. J. Women's Dermatology. https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2020.05.017
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 blootstelling? Am. J. Respir. Crit. Care Med. 196, 873–881. https://doi.org/10.1164/rccm.201704-0797OC
Salo, P.M., Arbes, S.J., Jaramillo, R., Calatroni, A., Weir, C.H., Sever, M.L., Hoppin, J.A., Rose, K.M., Liu, A.H., Gergen, P.J., Mitchell, H.E., Zeldin, D.C., 2014. Prevalence of allergic sensitization in the United States: Results from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2005-2006. J. Allergy Clin. Immunol. 134, 350–359. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2013.12.1071
Sauvageat, E., Zeder, Y., Auderset, K., Calpini, B., Clot, B., Crouzy, B., Konzelmann, T., Lieberherr, G., Tummon, F., Vasilatou, K., 2020. Real-time pollen monitoring using digital holography. Atmos. Meas. Tech. 13, 1539–1550. https://doi.org/10.5194/amt-13-1539-2020
Schneider, S.L., Lim, H.W., 2019. Review of environmental effects of oxybenzone and other sunscreen active ingredients. J. Am. Acad. Dermatol. https://doi.org/10.1016/j.jaad.2018.06.033
Sénéchal, H., Visez, N., Charpin, D., Shahali, Y., Peltre, G., Biolley, J.P., Lhuissier, F., Couderc, R., Yamada, O., Malrat-Domenge, A., Pham-Thi, N., Poncet, P., Sutra, J.P., 2015. A review of the effects of major atmospheric pollutants on pollen grains, pollen content, and allergenicity. Sci. World J. https://doi.org/10.1155/2015/940243
Setti, L., Passarini, F., De Gennaro, G., Barbieri, P., Perrone, M.G., Borelli, M., Palmisani, J., Di Gilio, A., Torboli, V., Fontana, F., Clemente, L., Pallavicini, A., Ruscio, M., Piscitelli, P., Miani, A., 2020. SARS-Cov-2RNA found on particulate matter of Bergamo in Northern Italy: First evidence. Environ. Res. 188. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109754
Silva, G.S., Rosenbach, M., 2021. Climate change and dermatology: An introduction to a special topic, for this special issue. Int. J. Women's Dermatology 7, 3–7. https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2020.08.002
Silva, L.K., Espenship, M.F., Newman, C.A., Blount, B.C., De Jesús, V.R., 2020. Quantification of Seven Terpenes in Human Serum by Headspace Solid-Phase Microextraction-Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Environ. Sci. Technol. 54, 13861–13867. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03269
Simoens, I., Geeraerts, C., Keune, H., Remmen, R., 2018. NATUURBELEVING EN GEZONDHEID - [WWW Document]. URL https://docplayer.nl/26243417-Natuurbeleving-en-gezondheid.html (accessed 5.16.22).
Sinha, R.P., Häder, D.P., 2002. UV-induced DNA damage and repair: A review. Photochem. Photobiol. Sci. 1, 225–236. https://doi.org/10.1039/b201230h
Smargiassi, A., Fournier, M., Griot, C., Baudouin, Y., Kosatsky, T., 2008. Prediction of the indoor temperatures of an urban area with an in-time regression mapping approach. J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. 18, 282–288. https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500588
Smith, C.J., 2019. Pediatric thermoregulation: Considerations in the face of global climate change. Nutrients 11. https://doi.org/10.3390/nu11092010
Smith, K.R., Woodward, A., Campbell-Lendrum, D., Chadee Trinidad, D.D., Honda, Y., Liu, Q., Aranda, C., Berry, H., 2014. Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-Benefits, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
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
Sofiev, M., Siljamo, P., Ranta, H., Linkosalo, T., Jaeger, S., Rasmussen, A., Rantio-Lehtimaki, A., Severova, E., Kukkonen, J., 2013. A numerical model of birch pollen emission and dispersion in the atmosphere. Description of the emission module. Int. J. Biometeorol. 57, 45–58. https://doi.org/10.1007/s00484-012-0532-z
Stalder, T., Steudte-Schmiedgen, S., Alexander, N., Klucken, T., Vater, A., Wichmann, S., Kirschbaum, C., Miller, R., 2017. Stress-related and basic determinants of hair cortisol in humans: A meta-analysis. Psychoneuroendocrinology. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2016.12.017
Starkie, R.L., Hargreaves, M., Rolland, J., Febbraio, M.A., 2005. Heat stress, cytokines, and the immune response to exercise. Brain. Behav. Immun. 19, 404–412. https://doi.org/10.1016/j.bbi.2005.03.005
Steunpunt milieu en gezondheid, n.d. Wat meten we? (factsheets) - milieu-en-gezondheid.be [WWW Document]. URL https://www.milieu-en-gezondheid.be/nl/onderzoek/wat-meten-we (accessed 12.15.21).
Stichting tegen kanker, 2021. HUIDKANKER IN BELGIË.
Sunderland, E.M., Hu, X.C., Dassuncao, C., Tokranov, A.K., Wagner, C.C., Allen, J.G., 2019. A review of the pathways of human blootstelling to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects. J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. https://doi.org/10.1038/s41370-018-0094-1
Sunyer, J., Dadvand, P., 2019. Pre-natal brain development as a target for urban air pollution. Basic Clin. Pharmacol. Toxicol. https://doi.org/10.1111/bcpt.13226
Sweileh, W.M., 2020. Bibliometric analysis of peer-reviewed literature on climate change and human health with an emphasis on infectious diseases. Global. Health 16. https://doi.org/10.1186/s12992-020-00576-1
Tavera Busso, I., Tames, F., Silva, J.A., Ramos, S., Homem, V., Ratola, N., Carreras, H., 2018. Biomonitoring levels and trends

of PAHs and synthetic musks associated with land use in urban environments. Sci. Total Environ. 618, 93–100. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.295

Tegart, L.J., Johnston, F.H., Borchers Arriagada, N., Workman, A., Dickinson, J.L., Green, B.J., Jones, P.J., 2021. 'Pollen potency': the relationship between atmospheric pollen counts and allergen blootstelling. Aerobiologia (Bologna). 37, 825–841. https://doi.org/10.1007/s10453-021-09726-3

Testai, E., Buratti, F.M., Funari, E., Manganelli, M., Vichi, S., Arnich, N., Biré, R., Fessard, V., Sialehaamoa, A., 2017. Review and analysis of occurrence, blootstelling and toxicity of cyanobacteria toxins in food. EFSA Support. Publ. 13, 998E. https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2016.en-998

Thépaut, E., Dirven, H.A.A.M., Haug, L.S., Lindeman, B., Poothong, S., Andreassen, M., Hjertholm, H., Husøy, T., 2021. Per- and polyfluoroalkyl substances in serum and associations with food consumption and use of personal care products in the Norwegian biomonitoring study from the EU project EuroMix. Environ. Res. 195, 110795. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110795

Thomas, F., Sabel, C.E., Morton, K., Hiscock, R., Depledge, M.H., 2014. Extended impacts of climate change on health and wellbeing. Environ. Sci. Policy 44, 271–278. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.08.011

Thompson, A.M.S., Zanobetti, A., Silverman, F., Schwartz, J., Coull, B., Urch, B., Speck, M., Brook, J.R., Manno, M., Gold, D.R., 2010. Baseline repeated measures from controlled human blootstelling studies: Associations between ambient air pollution blootstelling and the systemic inflammatory biomarkers IL-6 and fibrinogen. Environ. Health Perspect. 118, 120–124. https://doi.org/10.1289/ehp.0900550

Totsuka, Y., Watanabe, M., Lin, Y., 2021. New horizons of DNA adductome for exploring environmental causes of cancer. Cancer Sci. https://doi.org/10.1111/cas.14666

Ubaid ur Rahman, H., Asghar, W., Nazir, W., Sandhu, M.A., Ahmed, A., Khalid, N., 2021. A comprehensive review on chlorpyrifos toxicity with special reference to endocrine disruption: Evidence of mechanisms, blootstellings and mitigation strategies. Sci. Total Environ. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142649

Valdivia-Garcia, M., Weir, P., Graham, D.W., Werner, D., 2019. Predicted Impact of Climate Change on Trihalomethanes Formation in Drinking Water Treatment. Sci. Rep. 9, 1–10. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46238-0

Van den Wyngaert, I., De Troeyer, K., Vaes, B., Alsaiqali, M., Van Schaeybroeck, B., Hamdi, R., Ruiz, L.C., Van Pottelbergh, G., 2021. Impact of heat waves on hospitalisation and mortality in nursing homes: A case-crossover study. Int. J. Environ. Res. Public Health 18. https://doi.org/10.3390/ijerph182010697

van Loenhout, J.A.F., le Grand, A., Duijm, F., Greven, F., Vink, N.M., Hoek, G., Zuurbier, M., 2016. The effect of high indoor temperatures on self-perceived health of elderly persons. Environ. Res. 146, 27–34. https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.12.012

Vandicke, J., De Visschere, K., Croubels, S., De Saeger, S., Audenaert, K., Haesaert, G., 2019. Mycotoxins in flanders' fields: Occurrence and correlations with fusarium species in whole-plant harvested maize. Microorganisms 7. https://doi.org/10.3390/microorganisms7110571

Verheyen, V.J., Bijnens, 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., Bijnens, 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 blootstelling 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., Koppen, G., Martin, L.R., Nielsen, F., Bruckers, L., Bijnens, E.M., 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, T.S., Schoeters, G., 2021b. Determinants of Chronic Biological Stress, Measured as Hair Cortisol Concentration, in a General Population of Adolescents: From Individual and Household Characteristics to Neighborhood Urbanicity. Front. Public Heal. 9, 1726. https://doi.org/10.3389/FPUBH.2021.669022

Verheyen, V.J., Remy, S., Govarts, E., Colles, A., Rodriguez Martin, L., Koppen, G., Voorspoels, S., Bruckers, L., Bijnens, 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., 2021c. 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

Verheyen, V.J., 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., 2021d. Residential blootstelling to air pollution and access to neighborhood greenspace in relation to hair cortisol concentrations during the second and third trimester of pregnancy. Environ. Heal. 20, 11. https://doi.org/10.1186/s12940-021-00697-z

Verschaeve, L., Koppen, G., Van Gorp, U., Schoeters, G., Jacobs, G., Zwijzen, C., 2007. Seasonal variations in spontaneous levels of DNA damage; implication in the risk assessment of environmental chemicals. J. Appl. Toxicol. 27, 612–620.

https://doi.org/10.1002/jat.1244
Verstraeten, W.W., Dujardin, S., Hoebeke, L., Bruffaerts, N., Kouznetsov, R., Dendoncker, N., Hamdi, R., Linard, C., Hendrickx, M., Sofiev, M., Delcloo, A.W., 2019. Spatio-temporal monitoring and modelling of birch pollen levels in Belgium. Aerobiologia (Bologna). 35, 703–717. https://doi.org/10.1007/s10453-019-09607-w
Verstraeten, W.W., Kouznetsov, R., Hoebeke, L., Bruffaerts, N., Sofiev, M., Delcloo, A.W., 2021. Modelling grass pollen levels in Belgium. Sci. Total Environ. 753, 141903. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141903
Vida, S., Durocher, M., Ouarda, T.B.M.J., Gosselin, P., 2012. Relationship between ambient temperature and humidity and visits to Mental Health Emergency Departments in Québec. Psychiatr. Serv. 63, 1150–1153. https://doi.org/10.1176/appi.ps.201100485
Vidal, A., Bouzaghnane, N., De Saeger, S., De Boevre, M., 2020. Human mycotoxin biomonitoring: Conclusive remarks on direct or indirect assessment of urinary deoxynivalenol. Toxins (Basel). 12. https://doi.org/10.3390/toxins12020139
Vidal, A., Mengelers, M., Yang, S., De Saeger, S., De Boevre, M., 2018. Mycotoxin Biomarkers of Blootstelling: A Comprehensive Review. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12367
Vilarinho, F., Sendón, R., van der Kellen, A., Vaz, M.F., Silva, A.S., 2019. Bisphenol A in food as a result of its migration from food packaging. Trends Food Sci. Technol. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.012
VILT, n.d. Klimaatgerichte landbouw zal meststoffenverliezen in de bodem beperken | VILT vzw [WWW Document]. URL https://vilt.be/nl/nieuws/klimaatgerichte-landbouw-zal-meststoffenverliezen-in-de-bodem-beperken (accessed 5.3.22).
Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2015. Kwaliteit van het drinkwater 108.
Vrinceanu, D., Berghi, O., Cergan, R., Dumitru, M., Ciuluvica, R., Giurcaneanu, C., Neagos, A., 2021. Urban allergy review: Allergic rhinitis and asthma with plane tree sensitization (Review). Exp. Ther. Med. 21, 1–1. https://doi.org/10.3892/etm.2021.9706
Vugteveen, J., de Bildt, A., Theunissen, M., Reijneveld, M., Timmerman, M., 2019. Validity Aspects of the Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ) Adolescent Self-Report and Parent-Report Versions Among Dutch Adolescents. Assessment. https://doi.org/10.1177/1073191119858416
Wallas, A., Eriksson, C., Gruzieva, 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, Y., Anderson, K.R., Suddaby, R.M., 2015. Updated source code for calculating fire danger indices in the Canadian Forest Fire Weather Index System. Information report NO-X-424, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, 5320–122 Street, Edmonton, AB T6H 3S5, url: https://publications.gc.ca/site/eng/9.805607/publication.html.
Weihrauch-Blüher, S., Schwarz, P., Klusmann, J.H., 2019. Childhood obesity: increased risk for cardiometabolic disease and cancer in adulthood. Metabolism. 92, 147–152. https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.12.001
Williams, J.H., Phillips, T.D., Jolly, P.E., Stiles, J.K., Jolly, C.M., Aggarwal, D., 2004. Human aflatoxicosis in developing countries: A review of toxicology, blootstelling, potential health consequences, and interventions. Am. J. Clin. Nutr. https://doi.org/10.1093/ajcn/80.5.1106
Wolkenstein, P., Grob, J.J., Bastuji-Garin, S., Ruszczynski, S., Roujeau, J.C., Revuz, J., Corona, R., 2003. French People and Skin Diseases: Results of a Survey Using a Representative Sample. Arch. Dermatol. https://doi.org/10.1001/archderm.139.12.1614
Wosu, A.C., Valdimarsdóttir, U., Shields, A.E., Williams, D.R., Williams, M.A., 2013. Correlates of cortisol in human hair: Implications for epidemiologic studies on health effects of chronic stress. Ann. Epidemiol. https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2013.09.006
Yu, H., Xia, Q., Yan, J., Herreno-Saenz, D., Wu, Y.S., Tang, I.W., Fu, P.P., 2006. Photoirradiation of polycyclic aromatic hydrocarbons with UVA light - A pathway leading to the generation of reactive oxygen species, lipid peroxidation, and DNA damage. Int. J. Environ. Res. Public Health. https://doi.org/10.3390/ijerph2006030045
Ze, Y., Hu, R., Wang, X., Sang, X., Ze, X., Li, B., Su, J., Wang, Y., Guan, N., Zhao, X., Gui, S., Zhu, L., Cheng, Z., Cheng, J., Sheng, L., Sun, Q., Wang, L., Hong, F., 2014. Neurotoxicity and gene-expressed profile in brain-injured mice caused by blootstelling to titanium dioxide nanoparticles. J. Biomed. Mater. Res. - Part A 102, 470–478. https://doi.org/10.1002/jbm.a.34705
Zhou, C., Zhan, Y., Chen, S., Xia, M., Ronda, C., Sun, M., Chen, H., Shen, X., 2017. Combined effects of temperature and humidity on indoor VOCs pollution: Intercity comparison. Build. Environ. 121, 26–34. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.04.013
Ziska, L.H., Makra, L., Harry, S.K., Bruffaerts, N., Hendrickx, M., Coates, F., Saarto, A., Thibaudon, M., Oliver, G., Damialis, A., Charalampopoulos, A., Vokou, D., Heiđmarsson, S., Guđjohnsen, E., Bonini, M., Oh, J.W., Sullivan, K., Ford, L., Brooks, G.D., Myszkowska, D., Severova, E., Gehrig, R., Ramón, G.D., Beggs, P.J., Knowlton, K., Crimmins, A.R., 2019. Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. Lancet Planet. Heal. 3, e124–e131. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30015-4
Zuurbier, M., van Loenhout, J.A.F., le Grand, A., Greven, F., Duijm, F., Hoek, G., 2021. Street temperature and building characteristics as determinants of indoor heat blootstelling. Sci. Total Environ. 766, 144376. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144376

BIJLAGE A

Bijlage A geeft een overzicht van de longlist van omgevingsindicatoren. Aanpassingen aan de formulering van de oorspronkelijke indicator op basis van de expertbevraging zijn aangegeven in rood.

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
Gezondheidsrisico- Vectoroverdraagbare ziekten					
1	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Voorkomen van teken (Ixodes ricinus of andere soorten)	Voorkomen van teken is een noodzakelijke voorwaarde voor ziekte van Lyme of andere teken gerelateerde ziektes. Er is een relatie tussen temperatuur en tekenactiviteit.	1) Hoewel een voldoende hoge temperatuur een voorwaarde is voor het voorkomen van teken, en de populaties hierdoor van jaar tot jaar kunnen verschillen, is de impact van klimaatverandering op de prevalentie van de ziekte van Lyme niet eenvoudig lineair gerelateerd aan alleen de temperatuur, waardoor het moeilijk te voorspellen is of het voorkomen van de ziekte zal toenemen als gevolg van klimaatverandering, en in welke mate. 2) Vaststelling van ziektebeelden is proxy voor de aanwezigheid van teken maar is geen omgevingsindicator. Indicator moet focussen op vastgestelde aanwezigheid van teken in hun habitat.	3,5
2	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Mate waarin teken drager zijn van Borrelia burgdorferi (incl. verdeling van de genosp.), TBE en /of andere zoönotische ziekteverwekkers.	Besmetting van teken met Borrelia is een noodzakelijke voorwaarde voor het ontstaan van de ziekte van Lyme bij gebeten individuen. In de literatuur zijn er weinig duidelijke indicaties dat het % besmette teken zou toenemen bij klimaatverandering.	1) In de huidige situatie is slechts een beperkt deel van de teken drager, en niet elke beet door een geïnfecteerde teek leidt tot besmetting. 2) Nadruk ligt op ziekte van Lyme. Tekenencefalitis komt op dit moment humaan slechts sporadisch voor in België, maar wordt wel in toenemende mate gedetecteerd bij de wilde fauna. Er wordt wel verwacht dat TBE gaat toenemen, net zoals andere ziekteverwekkers die door teken worden overgedragen.	4
3	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Oppervlakte loofbos (met ondergroei)	Bos met ondergroei is typisch tekenhabitat. Arealen zouden kunnen evolueren als gevolg van klimaatverandering (al dan niet beleid gestuurd).	Na te gaan of 'bos met ondergroei' bruikbaar is als een aparte landgebruikscategorie bij inventarisatie (al dan niet op het terrein).	2

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
4	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Vegetatiedichtheid (NDVI)	Maat voor de geschiktheid van vegetatie als habitat voor teken (in functie van dichtheid en dus micro-klimatologische vochtigheid). Vegetatiedichtheid zou kunnen evolueren als gevolg van klimaatverandering (al dan niet beleid gestuurd)	Vraag is in hoeverre NDVI een voldoende nauwkeurige maar is voor micro-klimatologische vochtigheid in de struik- en kruidlaag van de vegetatie.	2
5	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Gemiddelde voorjaarstemperatuur	4°C is benedengrens van tekenactiviteit. Bij klimaatverandering zou de gemiddelde voorjaarstemperatuur kunnen toenemen (en het actieve tekenseizoen dus langer kunnen worden).	Gerelateerd aan de indicator 'Datum waarop de cumulatieve temperatuur (uitgedrukt in GDD) 10°C overschrijdt (op basis van dagelijkse maximumtemperatuur).'	3
6	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Winterneerslag	Er bestaat een correlatie tussen natte winters en abundantie van teken in het voorjaar. Winterneerslag kan beïnvloed worden door klimaatverandering.	Algemene contextindicator die ook in relatie tot andere gevaren relevant kan zijn.	2
7	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Datum waarop de cumulatieve temperatuur (uitgedrukt in GDD) 10°C overschrijdt (op basis van dagelijkse maximumtemperatuur).	Maat voor de lengte van het tekenseizoen. Bij klimaatverandering zou die lengte kunnen toenemen.	Gerelateerd aan de indicator 'gemiddelde voorjaarstemperatuur'	3,5
8	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Neerslagtekort in lente, zomer en herfst	Teken hebben vochtige omstandigheden nodig om te overleven. Klimaatverandering zou tijdens het tekenseizoen tot drogere en dus minder geschikte omstandigheden kunnen leiden.	Algemene contextindicator die ook in relatie tot andere gevaren relevant kan zijn.	2,5
9	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Voorkomen van extreme weersomstandigheden (hitte, overstromingen, …) met impact op tekenhabitats	Naast gemiddelde temperatuur- en neerslagwaarden is ook het voorkomen van extreme weersomstandigheden (gerelateerd aan klimaatverandering) belangrijk voor het overleven van teken; bv. hitteperiodes en overstromingen hebben een negatieve impact op die overleving.		2,5
10	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten (reeën, …)	Borrelia overleeft in zoogdieren; reeën zijn typische dragers waarop teken zich voeden en dus besmet geraken. Voorkomen van reeën kan beïnvloed worden door klimaatverandering (al dan niet beleid gestuurd), o.m. ook via wijzigingen in landgebruik.	Naast reeën kunnen ook tal van andere vertebraten relevant zijn als drager/voedselbron, onder meer in verstedelijkte omgevingen. De link met klimaatverandering van het voorkomen van deze soorten is echter niet altijd even eenduidig. Zie ook indicator 'Voorkomen van kleine zoogdieren in stedelijk gebied'.	2,5
11	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Mate waarin gastheer- en reservoirsoorten drager zijn van ziekteverwekkers (bv. TBE bij wild)	Individuen van gastheersoorten zijn slechts een probleem in de mate dat ze geïnfecteerd zijn.		2,5

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
12	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Voorkomen van kleine zoogdieren in stedelijk gebied	Kleine zoogdieren kunnen de rol van reeën deels vervullen in omgevingen waar geen reeën voorkomen. Relatie met klimaatverandering op zich is minder duidelijk, maar ruimtelijk klimaatbeleid (bv. vergroening, groenblauwe netwerken) kan hier wel een invloed op hebben.	Zie ook indicator 'Voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten (reeën, …)'.	2
13	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Connectiviteit van stedelijk groen	In geïsoleerde groengebieden in stedelijke omgevingen komen minder teken voor; verbinding met andere groengebieden verhoogt de kans op behoud en verspreiding van populaties.	Betekenis van score zal verschillend zijn naargelang hij geïnterpreteerd wordt in termen van tekendichtheid dan wel van biodiversiteit. Relatie met voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten.	2
14	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Tijd die mensen recreatief doorbrengen in (potentieel) tekenhabitat	Tijd doorbrengen in tekenhabitat verhoogt de blootstelling. Bij een warmer klimaat bestaat de kans dat meer mensen meer tijd buitenshuis doorbrengen.		4
15	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Aantal mensen die beroepshalve tijd doorbrengen in tekenhabitat (natuurbeheerders, boswachters, groenwerkers, …)	Tijd doorbrengen in tekenhabitat verhoogt de blootstelling. Bij een warmer klimaat kan meer belang gehecht worden aan natuurontwikkeling en -beheer waardoor ook meer beroepsactiviteiten in die sector nodig zijn.		2
16	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Densiteit aan groen in woonomgevingen (tuinen, parken, spoorbermen, …)	Beleidsmaatregelen in kader van klimaatadaptatie kunnen aanleiding geven tot meer groen in de bebouwde omgeving en dus tot een potentieel grotere kans op blootstelling.	Manier waarop het groen beheerd wordt (o.a. "natuurlijkheid" van het groen) is een belangrijke factor.	2
17	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Toegankelijkheid van groen (bossen, natuurgebieden, …)	Toegankelijkheid is een belangrijk element voor blootstelling. Op zich weinig relatie met klimaatverandering, maar wel relevant als verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties.		2
18	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Mate waarin in groengebieden op teken gerichte beheermaatregelen genomen worden.	Op zich weinig relatie met klimaatverandering, maar wel relevant als verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties.		3
19	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Communicatie rond de problematiek (ook in stedelijke omgevingen)	Op zich weinig relatie met klimaatverandering, maar wel relevant als verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties.		4
20	Teken als dragers van ziekteverwekkers	Mate waarin mensen hun gedrag aanpassen: aangepaste kleding, zelfcontrole, vermijden van bepaalde omgevingen, …	Op zich weinig relatie met klimaatverandering, maar wel relevant als verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties.		4

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
21	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Voorkomen van exotische muggen (o.a. Aziatische tijgermug en andere *Aedes*- en *Anopheles*-soorten, …)	Noodzakelijke voorwaarde voor verspreiding van bepaalde tropische ziekten. Vestigingskans neem toe bij een warmer klimaat.	Voorkomen van muggen op zich betekent nog niet dat er acuut gevaar is voor infectie. De muggen zelf moeten besmet zijn, de populatie moet voldoende groot zijn, er moet blootstelling kunnen zijn, …	4
22	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Mate waarin inheemse muggen besmet zijn met ziekteverwekkers (bv. Westnijlvirus in *Culex* spp.)	Besmetting van inheemse muggen met 'nieuwe' ziekteverwekkers waarvan het voorkomen klimaat-gerelateerd is kan zorgen voor de verspreiding van die ziekten.	Screenen naar virussen (bv. WNV) in inheemse muggen (bv. *Culex spp.*) is nuttiger dan in de exotische muggen. In tegenstelling tot virussen overgedragen door exotische muggen, kan WNV al circuleren in België in trekvogels en inheemse *Culex*-muggen en gezien de opkomst van het virus in buurlanden lijkt de kans groot dat het ook al in ons land circuleert.	4,5
23	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Mate waarin exotische muggen (bv. *Aedes spp*.) besmet zijn met ziekteverwekkers (bv. denguevirus, chikungunyavirus, …)	Besmetting van exotische muggen is een noodzakelijke voorwaarde voor het overdragen van tropische ziektes. Op zich niet direct gerelateerd aan klimaatverandering maar wel belangrijke contextvariabele.	De kans dat de exotische muggen besmet zijn als ze België binnenkomen is klein. De virussen komen enkel België binnen via reizigers. Een goede epidemiologische opvolging moet gelinkt worden met de monitoring van exotische muggen. Deze muggen worden enkel besmet door geïnfecteerde reizigers te steken.	4
24	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Voorkomen van met Westnijlvirus geïnfecteerde (trek)vogels of andere reservoirsoorten	Relevant voor import en verspreiding van virus. Relatie met klimaatverandering beperkt maar relevant als verklarende variabele.	Zie recent voorbeeld in Nederland: met WNV besmette grasmus	4
25	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Gemiddelde jaartemperatuur	Heeft invloed op zowel geschiktheid voor vestiging van exotische muggen als op vectorcompetentie van endemische muggen. Gemiddelde temperatuur neemt toe bij klimaatverandering	o.a. WNV maar ook andere virussen hebben ook een ontwikkelingsfase in de mug. Deze is bij uitstek temperatuur/tijd gerelateerd. Bij hogere temperaturen gaat het veel sneller en kan de mug ook voor een langere periode vector zijn. Dat is van belang omdat muggen een relatief korte levenscyclus hebben met ongeveer 3 bloedmaaltijden met telkens ongeveer 10 dagen tussen.	2
26	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Gemiddelde wintertemperatuur	Heeft invloed op overleving tijdens winter en dus vestigingskans van exotische muggen. Neemt toe bij klimaatverandering.	Gemiddelde wintertemperatuur in steden mogelijk interessant als aparte variabele. Hier zullen immers snelle geschikte omstandigheden voor overleving van exemplaren voorkomen.	3

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
27	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Voorkomen van extreme weersomstandigheden (hitteperiodes, extreem natte periodes, …)	Er is een correlatie tussen (uitzonderlijke) neerslaghoeveelheden (en de resulterende wateroverlast/ overstromingen) en abundantie van muggen. Ook hittefenomenen kunnen een impact hebben.		3
28	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Mate waarin bij het realiseren van groenblauwe dooradering of groenblauwe ruimtes in woongebieden rekening gehouden wordt met maatregelen die de ontwikkeling van muggenpopulaties tegengaan	Uitbreiding van groenblauwe netwerken of natte natuur in kader van klimaatadaptatie kan bij afwezigheid van de juiste maatregelen geschikte broedomstandigheden creëren.	1) Het bestaan en gebruik van richtlijnen voor inrichting van natte gebieden zou een bruikbare proxy kunnen zijn. 2) Ook relevant: aandeel/aantal platte daken met stagnerend water, voorkomen van micro-habitats als bloempotten, banden, depressies in verharde oppervlakten, ...Gezien de veelheid aan mogelijke locaties en de kleine afmetingen ervan waarschijnlijk moeilijk te inventariseren	3
29	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Voorkomen van geschikte broedplaatsen voor invasieve (Aedes) muggen (kleine hoeveelheden stilstaand water zoals boomholtes, emmers, plantenpotten, riolen, vooral kunstmatige broedplaatsen) in of nabij woonomgevingen.	Micro-habitats vormen geschikte broedplaatsen voor o.a. Aedes-muggen.	Gezien de veelheid aan mogelijke locaties en de kleine afmetingen ervan waarschijnlijk moeilijk te inventariseren	2
30	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Mate van (groen)blauwe dooradering van woongebieden	Uitbreiding van (groen)blauwe netwerken in kader van klimaatadaptatie kan stilstaand open water tot in de woonomgeving brengen.	Veel hangt af van de inrichting. Het bestaan en gebruik van richtlijnen voor de inrichting van natte gebieden kan het potentieel effect aanzienlijk verkleinen. Te interpreteren in combinatie met vorige indicator (geschikte broedplaatsen).	2
31	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Gebruik van "muggenwaarschuwingen”	Kunnen de potentiële blootstelling verminderen. Niet direct klimaat-gerelateerd, maar contextvariabele.		2
32	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Sensibilisering van burgers om larvale habitats (kleine hoeveelheden stilstaand water in de woonomgeving) te verwijderen.	Sensibilisering kan de hoeveelheid micro-habitats voor voortplanting van invasieve muggen helpen verminderen.		4
33	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Aantal toepassingen van larvicides door de overheid op gekende broedplaatsen om invasieve muggen te bestrijden.	Gerichte bestrijding door de overheid kan voorplanting van invasieve muggen helpen tegengaan.		5,0

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
34	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Gedrag: Gebruik van muskietennetten, aangepaste kleding, muggenspray, …	Kunnen de potentiële blootstelling verminderen. Zijn tegelijk een indicatie van het voorkomen van muggen. Niet direct klimaat-gerelateerd, maar contextvariabele.		3
35	Muggen als dragers van ziekteverwekkers	Gedrag: vermijden van bepaalde omgevingen op bepaalde momenten van de dag	Kan de potentiële blootstelling verminderen. Niet direct klimaat-gerelateerd, maar contextvariabele.		2
Wateroverdraagbare ziekten					
36	Ziekteverwekkers die voorkomen in zout of brak water	Aandeel kustlijn geschikt voor transmissie van Vibrio-bacterie.	Gerelateerd aan saliniteit en temperatuur. Temperatuur wordt bepaald door klimaatverandering.	Gerelateerd aan indicator "aantal dagen per jaar die geschikt zijn voor infectie met Vibrio".	3
37	Ziekteverwekkers die voorkomen in zout of brak water	Aantal dagen per jaar die geschikt zijn voor infectie met Vibrio	Gerelateerd aan saliniteit en temperatuur. Temperatuur wordt bepaald door klimaatverandering.	Gerelateerd aan indicator "Aandeel kustlijn geschikt voor transmissie van Vibrio-bacterie".	3
38	Ziekteverwekkers die voorkomen in zout of brak water	Saliniteit van het kustwater	Saliniteit van kustwater waarschijnlijk weinig beïnvloed door klimaatverandering, kan in estuaria wel relevant zijn. Contextvariabele.	Gerelateerd aan indicatoren "Aandeel kustlijn geschikt voor transmissie van Vibrio-bacterie" en "aantal dagen per jaar die geschikt zijn voor infectie met Vibrio".	2
39	Ziekteverwekkers die voorkomen in zout of brak water	Gemiddelde en max. temperatuur van het kustwater en het water in estuaria	Temperatuur van het water wordt beïnvloed door klimaatverandering.		3
40	Ziekteverwekkers die voorkomen in zout of brak water	Aandeel schelpdieren dat geïnfecteerd is.	'Bloei' van bv. Gonyaulax gerelateerd aan temperatuur. Klimaatverandering kan periode waarin besmetting van schelpdieren kan voorkomen verlengen.	Dinoflagellaten werden in de droge zomers 2018-2020 ook gemeld in zoet water.	3
41	Ziekteverwekkers die voorkomen in zout of brak water	Consumptie van zeevruchten	Relatie met klimaatverandering eerder beperkt; contextparameter. Zomerse omstandigheden kunnen consumptie van bv. mosselen wel bevorderen.		2
42	Ziekteverwekkers die voorkomen in zout of brak water	Belang van kusttoerisme	Klimaatverandering leidt tot warmer weer en meer hitte en zo een grotere aantrekkingskracht voor de kust. Kans op contact met ziekteverwekkers in het kustwater neemt daarbij ook toe.		2,5
43	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Frequentie van overstortevents	Klimaatverandering kan leiden tot intensere neerslag en dus (in afwezigheid van maatregelen) tot intensere en meer frequente overstortevents. Dit leidt tot een verslechtering van de waterkwaliteit met mogelijke gezondheidseffecten.	Gerichte technische maatregelen (bv. gescheiden rioleringen) kunnen belang en frequentie van overstortevents helpen reduceren.	4

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
44	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Frequentie van water-op-straat-events.	Klimaatverandering kan leiden tot intensere neerslag en dus (in afwezigheid van maatregelen) tot het overstromen van de rioleringen op de straat (bij verzadiging). Dit kan leiden tot contact van mensen met vervuild rioolwater.	Gerichte technische maatregelen (bv. gescheiden rioleringen) kunnen belang en frequentie van dit soort gebeurtenissen helpen reduceren.	4
45	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Algemene ((micro)-biologische) kwaliteit van het oppervlaktewater.	Gemiddeld lagere waterstanden in waterlopen (bij droogte) kunnen leiden tot een slechtere waterkwaliteit, met gezondheidseffecten als gevolg.	1) Fysicochemische parameters kunnen deels een proxy vormen voor microbiologische kwaliteit. 2) gezondheidseffecten van een gemiddeld slechtere waterkwaliteit spelen vooral bij rechtstreeks contact bij professioneel of recreatief gebruik. 3) Op te volgen organismen: Campylobacter, Norovirus, Cryptosporidiosis, Shigella, Gardia, Naegleria fowleri, Acanthamoeba, Legionella, … Amoeben zullen in de toekomst vermoedelijk meer gaan voorkomen.	4,5
46	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Kwaliteit van het zwemwater (op het vlak van wateroverdraagbare ziekten).	Slechte kwaliteit van recreatie- en zwemwater kan tot infecties leiden		4,5
47	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Aantal zwemverboden of -beperkingen en lengte van het zwemverbod als gevolg van een slechte waterkwaliteit met kans op besmetting.	Niet rechtstreeks beïnvloed door klimaat, is proxy voor voorkomen van ziekteverwekkers.		3
48	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Jaarlijks neerslagoverschot	Jaarlijks neerslagoverschot heeft een relatie met afstroming en met vervuiling van het oppervlaktewater. Zal vermoedelijk afnemen bij klimaatverandering.	Impact van (zomerse) piekneerslag op afstroming is belangrijk in termen van intensiteit, maar minder in termen van duur en frequentie.	2
49	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Frequentie en intensiteit van extreme piekneerslag.	Klimaatverandering kan leiden tot intensere neerslag waarbij de kans groter is dat afvalwater in het oppervlaktewater terecht komt.	Ook de relatie tot (voorafgaande) droogteperiodes, gedurende dewelke vervuiling zich heeft kunnen concentreren op het land, is belangrijk. Zie ook indicator "frequentie van overstortevents".	2

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
50	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Droogte	Droogte (neerslagtekort) kan leiden tot lagere peilen/debieten op het oppervlaktewater, met negatieve impact op de waterkwaliteit, met mogelijk toegenomen gezondheidsrisico's als gevolg. Droogte zal waarschijnlijk toenemen als gevolg van klimaatverandering.	Zie ook indicator "neerslagoverschot". Gezondheidseffecten van een gemiddeld slechtere waterkwaliteit spelen vooral bij rechtstreeks contact bij professioneel of recreatief gebruik.	3
51	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Contaminatie van de ruwwaterbronnen gebruikt voor drinkwaterproductie	Klimaatverandering kan aanleiding geven tot zowel droogte als tot overstromingen. Beide kunnen een negatieve impact hebben op oppervlaktewaterkwaliteit. In de mate dat dit gebruikt wordt voor drinkwaterproductie kan dit leiden tot een reductie van de beschikbare bronnen.	Verminderde kwaliteit van het geproduceerde drinkwater is weinig waarschijnlijk gezien de van toepassing zijnde normen; de beschikbare hoeveelheden water van goede kwaliteit kunnen er wel door verminderd worden. Een verminderde beschikbaarheid aan drinkwater van goede kwaliteit kan gevolgen hebben voor de gezondheid.	3
52	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Aantal woningen getroffen door overstromingen en duur van de overstromingen	Overstromingen kunnen toenemen bij klimaatverandering. Waterkwaliteit bij overstromingen is vaak slecht. Dit kan leiden tot acute gezondheidseffecten.	In plaats van "aantal getroffen" zou ook bv. "opp. woongebied" als indicator kunnen gebruikt worden.	4,5
53	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Belang van waterrecreatie/sport in oppervlaktewater	Bij gemiddeld hogere temperaturen zal het belang van watersport waarschijnlijk toenemen. Watersporters zijn bij uitstek een groep die in contact komt met (potentieel vervuild) oppervlaktewater.		2
54	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Gebruik van overstromingsgebieden na overstromingen	Als gevolg van klimaatverandering zullen overstromingen toenemen. Gebruik van overstromingsgebieden waar het water is weggetrokken (bv. om te spelen) blijken een relevante besmettingsroute voor watergebonden ziektes te zijn.	Allicht moeilijk te monitoren. Eerder inzetten op verbodsbepalingen en toezicht?	2,5
55	Ziekteverwekkers die voorkomen in zoet oppervlaktewater en afvalwater	Klimaatgerelateerde beperkingen in levering van drinkbaar water	Klimaatverandering kan beperkingen opleggen aan zowel kwaliteit als kwantiteit van ruwwaterbronnen. Dit kan leiden tot een verminderde beschikbaarheid van drinkwater van goede kwaliteit, wat gezondheidseffecten kan veroorzaken.	Zie ook indicator "Contaminatie van de ruwwaterbronnen gebruikt voor drinkwaterproductie"	3
Toxische effecten					
56	Blauwalg	Voorkomen van blauwalgen	Basisvoorwaarde voor het optreden van een toxisch effect. Hogere temperaturen als gevolg van klimaatverandering kunnen algenbloei bevorderen.		4

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
57	Blauwalg	Gemiddelde dagelijkse watertemperatuur voor een selectie van waterlichamen	Temperatuur van het water wordt beïnvloed door klimaatverandering, en heeft invloed op algenbloei.	Temperatuur is proxy voor het mogelijk voorkomen (gevaar) van blauwalgen	3
58	Blauwalg	Waterkwaliteit (voedselrijkheid)	Verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties. Bij (klimaatgerelateerde) droogte kan waterkwaliteit ook achteruitgaan.	Voedselrijkheid van het water is proxy voor het mogelijk voorkomen (gevaar) van blauwalgen.	3
59	Blauwalg	Gebrek aan stroming	Droogte (als gevolg van klimaatverandering) kan leiden tot lagere debieten op met name kanalen, waar schutbeperkingen van toepassing kunnen zijn. Dit schept mee de nodige voorwaarden voor ontwikkeling van blauwalgen.	Gebrek aan stroming is proxy voor het mogelijk voorkomen (gevaar) van blauwalgen; in de eerste plaats relevant voor kanalen.	3
60	Blauwalg	Sterfte bij vissen en watervogels	Sterfte kan een indicatie (proxy) zijn voor het voorkomen van blauwalgen. Geen rechtstreekse relatie met klimaatverandering.	Sterfte kan veel andere oorzaken hebben, dus crosscheck met andere variabelen blijft nodig.	2
61	,	Recreatief gebruik van waterplassen (zwemmen, vissen, watersporten, …	Recreatief gebruik van oppervlaktewater kan toenemen bij een warmer klimaat. In omstandigheden waarbij blauwalgen aanwezig (kunnen) zijn, verhoogt dit de blootstelling.		3
62	Blauwalg	(Tijdelijke) sluiting van plassen bij vaststelling blauwalgen (captatie- of recreatieverbod)	Niet rechtstreeks beïnvloed door klimaat, is proxy voor voorkomen van blauwalgen.		4
63	Blauwalg	Gebruik van waarschuwingsborden en andere communicatievormen m.b.t. het gevaar van blauwalgen.	Niet rechtstreeks beïnvloed door klimaat, is proxy voor voorkomen van blauwalgen.		2
64	Mycotoxines	Aantal vaststellingen van aanwezigheid van mycotoxines in voedsel boven wettelijk vastgelegde maximum limieten (voor gereglementeerde mycotoxines) - Aantal vaststellingen van aanwezigheid mycotoxines in voedsel (voor opkomende niet-gereglementeerde mycotoxines)	Voorkomen van mycotoxines kan beïnvloed worden door klimaatverandering.		4
Voedseloverdraagbare ziekten					

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
65	Salmonella	Klimaatgerelateerde stroomonderbrekingen	Stroomonderbrekingen kunnen de koudeketen onderbreken. Klimaatverandering kan aan de basis liggen van stroomonderbrekingen (overstromen van installaties, tekort aan koelwater, …).	Er is een (seizoensgebonden) correlatie tussen Salmonella-cases en temperatuur, maar onduidelijk of dit ook zou gelden bij stijging van gemiddelde temperatuur als gevolg van CC. Gezondheidssysteem en basishygiëne (koudeketen) vormt in elk geval een aanzienlijke 'buffer'. Listeria wordt niet beïnvloed door hogere temperaturen.	3
66	Salmonella	Aantal dagen met temperaturen geschikt voor BBQ's.	Temperaturen en lengte van BBQ-seizoen worden beïnvloed door klimaatverandering		2
67	Salmonella	Consumptie van vlees en eieren	Contextvariabele om vastgestelde evoluties te helpen interpreteren		1
Ondervoeding					
68	Kwantiteit voedsel	Verlies aan landbouwopbrengsten in Vlaanderen door natuurrampen	Grote variabiliteit in landbouwproductie door meer extreem weer te wijten aan de klimaatverandering		3,5
69	Kwantiteit voedsel	Verlies aan landbouwopbrengsten wereldwijd door natuurrampen	Grote variabiliteit in landbouwproductie wereldwijd door meer extreem weer kan lijden tot voedseltekorten in Vlaanderen		3
Respiratoire aandoeningen (astma, COPD)					
70	Luchtkwaliteit	Gemeten concentratie fijn stof (PM10, PM2.5), jaargemiddelde en # overschrijdingsdagen	Veranderende atmosferische condities door de klimaatverandering (droogte, hittegolven) kunnen negatieve impact hebben op de concentraties.	Ook het gebruik van biomassa i.p.v. gas en stookolie kan een negatieve impact hebben op PM-concentraties. Gecombineerde blootstelling aan fijn stof en hitte.	5
71	Luchtkwaliteit	Evolutie fijn stof emissies huishoudens	Warmere winters door klimaatverandering. Uitstoot door (hout)kachels is verantwoordelijk voor 49% van de PM2.5 emissies in 2019.		4
72	Luchtkwaliteit	Aandeel gezinnen met verwarmingsinstallatie op houtverbranding			3
73	Luchtkwaliteit	Aandeel bevolking blootgesteld aan dagen met een PM2.5 daggemiddelde > 15 microgram per m3	De grootste PM gezondheidseffecten worden door PM2.5 veroorzaakt	Cfr. grenswaarden van de Wereldgezondheidsorganisatie (WGO).	4,5

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
74	Luchtkwaliteit	Aantal luchtzuiveringsinstallaties (naar fijn stof en NO2) in bepaalde type gebouwen (scholen, ziekenhuizen, woon -en verzorgingscentra, werkplaatsen, huizen, …)			2
75	Luchtkwaliteit	Gemeten concentratie ozon (achtergrondconcentraties en piekconcentraties)	Ozon wordt aangemaakt op warme en zonnige dagen in aanwezigheid van stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen.		4
76	Luchtkwaliteit	Aandeel bevolking blootgesteld aan dagen met hoogste 8-uurgemiddelde voor ozon > 100 microgram per m3	WGO-advieswaarde (2005)	Momenteel wordt de hele bevolking in Vlaanderen op te veel dagen blootgesteld aan hoge ozonconcentraties.	4,5
77	Luchtkwaliteit	Aantal dagen waar de waarschuwingsfase en de alarmfase van het nationale ozon- en hitteplan wordt afgekondigd	Criteria alarmfase is gebaseerd op luchttemperaturen en ozonconcentraties	Sinds het ontstaan van het nationale ozon- en hitteplan, werd de alarmfase nog nooit afgekondigd.	4,5
78	Luchtkwaliteit	Brandwaarschuwingsindex.	Door de klimaatverandering zal de duur van het brandseizoen en de ernst van de natuurbranden verhoogd worden.	De brandwaarschuwingsindex wordt berekend op basis van meteorologische parameters en kan voor historische periodes berekend worden. Deze index is gebaseerd op Canadees model (bosbranden).	4
79	Luchtkwaliteit	Oppervlakte afgebrande gebieden per jaar	Door de klimaatverandering zal de duur van het brandseizoen en de ernst van de natuurbranden verhoogd worden.	De Copernicus EFFIS service bevat gestandaardiseerde data. Verder te onderzoeken. Oppervlakte is een goede maat, maar ook niet heiligmakend, de hoeveelheid rook zal eerder nog samenhangen met de hoeveelheid (massa) organisch materiaal / biomassa er effectief op die oppervlakte verbrand wordt, een droog grasveld is anders dan een heideterrein is anders dan een bos.	3
80	Luchtkwaliteit	Aandeel bevolking in omgeving van brandgevoelige gebieden (afstand te bepalen)	Grootste gezondheidsimpacten zijn te verwachten dicht bij de brandhaarden	Niet enkel natuurgebieden ook groene woongebieden kunnen brandgevoelig zijn.	3
81	Luchtkwaliteit	Aantal woonzorgcentra, kinderopvang, ziekenhuizen in of nabij brandgevoelig gebied	Focus op de gevoeligste bevolkingsgroepen	Ruime definitie van brandgevoelig gebied gebruiken, inclusief woongebieden.	3

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
82	Luchtkwaliteit	Aantal natuurbranden in Europa met impact in Vlaanderen	Natuurbranden kunnen een impact hebben over grote afstanden (+ 1000 km)		2
83	Luchtkwaliteit	Blootgestelde bevolking aan rookpluim natuurbrand	Grootste gezondheidsimpacten zijn te verwachten dicht bij de brandhaarden	Verder te onderzoeken wat/wie de beste databron is. Kan het VMM luchtkwaliteitsmeetnet gebruikt worden om het gebied onder de rook van een brand te bepalen.	4
84	Luchtkwaliteit	Bewustwording brandgevaar bij de bevolking, bezoekers van natuurgebieden en zeker bij de bevolking die woont in brandgevoelige woonzones (WUI).	In de meeste gevallen ontstaat een natuurbrand door menselijk toedoen		3
85	Luchtkwaliteit	Implementatie van brandpreventie in brandgevoelige gebieden, ongeacht of dit natuurgebieden zijn of woonzones of…	Preventie door beschermingsinfrastructuur, monitoringsnetwerken, watervoorzieningen, opleidingen hulpdiensten. Alsook preventie door aangepast beheer van natuurgebied, openbaar terrein en privétuin/omgeving woning. Bv. in beheerde bossen wordt (sinds lang) gewerkt aan een geleidelijke omvorming van naaldhout naar gemengde bossen met een groot aandeel loofhout, waardoor bossen qua vegetatie minder brandgevaarlijk worden. De bewoners en openbare besturen in brandgevoelige gebieden, zeg maar gelegen in bossen met een groot aandeel naaldhout zouden geadviseerd moeten worden om evengoed een vergelijkbare omvorming door te voeren op voorwaarde dat het aandeel bos niet verminderd.		3
86	Luchtkwaliteit	Aandeel Vlaams grondgebied met hoog brandrisicogevaar	Er bestaat een statische kaart met "brandgevoelige gebieden" voor het Belgische grondgebied (Jan Baetens -UGent- in opdracht van Federaal Kenniscentrum voor de Civiele Veiligheid)	Jaarlijkse update op basis van waargenomen bodem en vegetatie droogte? Haalbaarheid moet bestudeerd worden.	3

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
87	Aeroallergenen	(Ruimtelijke spreiding van) voorkomen van allergene soorten	Relatie met klimaat: meer bomen in parken en langs straten, uitbreiding bossen in kader van bv. hitte; natuurlijke verspreiding van bepaalde soorten (Ambrosia artemisiifolia, Parietaria) als gevolg van (onder meer) klimaatverandering; toename in pollenproductie van reeds aanwezige bomen als platanen of olijven.	Gaat om zowel autochtone als ingevoerde soorten (exoten) (bv. olijfbomen). Verspreidingswijze van pollen speelt ook een rol. Bij tweehuizige soorten: aandeel mannelijke planten. Aandacht voor zowel bestaande soorten als nieuw aan te planten soorten. Bij verspreiding van bv. Ambrosia speelt ook transport een belangrijke rol.	4
88	Aeroallergenen	Gemeten pollenconcentraties	Pollenproductie en lengte van pollenseizoen worden beïnvloed door temperatuur.	Zie ook dagelijkse risico-index grassenstuifmeel door Sciensano -KMI	5
89	Aeroallergenen	Pollencyclus			4
90	Aeroallergenen	Lengte van pollenseizoen	Lengte van pollenseizoen wordt meebepaald door temperatuur en dus klimaatverandering. Voor de meeste species is voorjaarstemperatuur relevant. Pollenseizoen van Ambrosia valt samen met nazomer.	Bruikbaar voor monitoring op langere termijn (vermits slechts ex-post gekend). Als de monitoring ook als early warning moet dienen is de start van het pollenseizoen geschikter. In beide gevallen definiëren wat met “pollenseizoen” bedoeld wordt (welke species bv: els, berk, plataan, …). Aerts et al.: “…wijzigingen in de lengte van het pollenseizoen tot een toename met 44% van het pollenrisico zou kunnen leiden, terwijl een (klimaat-gestuurde) toename van de allergeniciteit van bomen als plataan, es, beuk, eik en haagbeuk tot een toename van 11 tot 27% zou kunnen leiden. In dergelijke scenario’s zou het allergierisico kunnen verdubbelen”.	4
91	Aeroallergenen	Start pollenseizoen	Start van pollenseizoen wordt beïnvloed door de temperatuur.		4
92	Aeroallergenen	Allergeniciteit van pollen	Allergeniciteit van pollen wordt beïnvloed door hogere temperaturen. Meting van moleculaire allergenen in de lucht vormt een aanvulling op de kwantificering van stuifmeelkorrels en kan nuttig zijn om de algemene allergeniciteit van pollen te begrijpen	Deze indicator moet tot dusver met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden. Ondanks de verschillende waarnemingsstudies op korte termijn die reeds gepubliceerd werden, werd geen duidelijke relatie gevonden tussen de omgevingsvariabele en de allergeenpotentie. Verschillende studies vertonen inconsistente resultaten. Het is eveneens belangrijk op te merken dat de allergeniciteit van het stuifmeel niet alleen afhangt van de allergeenpotentie.	3

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
93	Aeroallergenen	Allergeniciteitsindex van groene zones	Enkel gerelateerd aan klimaatverandering in de mate dat die de soortenkeuze en de keuze voor het vegetatietype beïnvloedt. Contextvariabele om waargenomen evoluties te helpen duiden.	Invloed van wijzigingen in samenstelling van bomenbestand is waarschijnlijk veel kleiner dan die van wijzigingen in lengte van pollenseizoen of van wijzigingen in allergeniciteit.	3
94	Aeroallergenen	Voorjaarstemperatuur	Verklarende factor voor start pollenseizoen" of "lengte pollenseizoen".	Klimatologische parameters als temperatuur, droogte, neerslag, … zijn omgevingsfactoren die moeten gemonitord worden als verklarende factoren voor tal van afgeleide omgevingskenmerken en ervan afgeleide gezondheidseffecten. Worden niet steeds hernomen in deze lijst.	3,5
95	Aeroallergenen	Frequentie van hevige onweders tijdens het pollenseizoen	Frequentie van hevige onweders kan toenemen bij klimaatverandering. Pollen kunnen opgewaaid worden en opbreken in kleinere deeltjes met astmapieken als gevolg.		3
96	Aeroallergenen	CO2-concentraties	CO2-concentratie zou op zich (los van effect op klimaat) allergeniciteit van pollen beïnvloeden.		2
97	Aeroallergenen	Luchtkwaliteit (in steden)	Slechte luchtkwaliteit verhoogt de gevoeligheid voor pollen.	In combinatie met de vaak allergene keuze van plantensoorten in stadsparken leidt dit tot een nog hogere gevoeligheid/kwetsbaarheid van de stedelijke bevolking.	2,5
98	Aeroallergenen	Aandeel van de bevolking dat in steden woont.	Stedelijke bevolking is gevoeliger/kwetsbaarder voor allergieën (o.a. als gevolg van slechtere luchtkwaliteit), dus grotere stedelijke bevolking leidt tot hogere impact. Contextfactor.		2
99	Aeroallergenen	Mate van verweving van groen en woonomgevingen.	Allergeen groen in of in de omgeving van of in woonomgevingen kan de kans op blootstelling verhogen. Verweving van groen en bewoning kan toenemen als gevolg van klimaatadaptatiebeleid.	Zie bv. rol van nabijheid van grasland (Aerts et al., 2020). Uit Stas et al. (2021) en andere onderzoeken blijkt echter dat landgebruik tot op een afstand van meerdere kilometers een effect kan hebben op lokale pollenconcentraties. Bij adaptatieplannning kan sowieso proactief rekening gehouden worden met deze factoren. Ook effecten op microniveau (bv. aanwezigheid van water, afstand tussen bomen, …) spelen een rol, maar bruikbaarheid hiervan als indicator op niveau Vlaanderen is beperkter.	2,5
100	Aeroallergenen	Communicatie, waarschuwingen	Kan leiden tot verminderde blootstelling en dus kleinere impact. Verklarende variabele.		3,5

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
101	Aeroallergenen	Voorkomen en verspreiding Ambrosia	Verspreiding van Ambrosia wordt onder meer door klimaatverandering beïnvloed. Ambrosia verlengt het pollenseizoen (augustus-september)	Andere factoren (o.a. transport) verklaren deels de verspreiding van Ambrosia.	3
102	Aeroallergenen	Aantal huizen met een chronisch vochtprobleem als gevolg van overstromingen of van gestegen grondwaterstanden in poldergebieden.	Variabele heeft niet noodzakelijk een relatie met klimaatverandering, kan wel het gevolg zijn als huizen vochtiger worden door overstromingen of stijgende grondwatertafel (als gevolg van bv. zeespiegelstijging).	1) Vaststellen van "chronisch vochtprobleem" allicht niet evident op schaal Vlaanderen. Alternatieve indicator zou kunnen zijn "aantal huizen in recent overstroomde gebieden en in polders die te kampen hebben met stijgende grondwaterstanden". 2) Indicator heeft betrekking op huizen die ondanks vochtprobleem of recente overstroming niet onbewoonbaar worden verklaard of worden gesloopt.	3
103	Aeroallergenen	Schimmelconcentratie in buitenmilieu	Causale correlatie schimmelconcentratie met waarnemingen van allergiesymptomen	Enkel jaarlijkse/seizoensgebonden parameters mogelijk	2,5
104	Aeroallergenen	Voorkomen van huisstofmijt.	Waarschijnlijk weinig relatie met klimaatverandering, kan wel meegenomen worden als contextvariabele, hoewel weinig onderscheidend.	Huisstofmijt komt overal voor in Vlaanderen. Klimaatverandering kan leiden tot introductie ervan in regio's met strenge winters waar ze eerst niet voorkomen, maar dat is hier niet het geval. Warme en vochtige omstandigheden kunnen ontwikkeling bevorderen, maar attributie aan klimaatverandering is moeilijk.	2
105	Eiken- en dennenprocessierupsen	Voorkomen van bomen aangetast met eikenprocessierups of dennenprocessierups	Eikenprocessierups komt oorspronkelijk uit Zuid-Europa en is warmte minnend. Klimaatverandering is waarschijnlijke verklaring voor inburgering in Vlaanderen. Ook Dennenprocessierups is in opmars vanuit het zuiden.		3
106	Hitte	Aantal hittegolfgraaddagen	Het gaat om de som van de overschrijdingen van de dagelijkse maximumtemperatuur boven de drempel van 29,6 °C, samen met de som van de overschrijdingen van de dagelijkse minimumtemperatuur boven de drempel van 18,2 °C.	Wordt ook gebruikt in het VMM-klimaatportaal	5

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
107	Hitte	Thermische comfortparameter WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)	Sterk gelinkt aan menselijke gezondheid	Wordt gebruikt in de Belgische arbeidswetgeving (https://werk.belgie.be/nl/themas/welzijn-op-het-werk/omgevingsfactoren-en-fysische-agentia/thermische-omgevingsfactoren). Voorzien in Klimaatportaal in najaar 2022 (Vlaanderen dekkend, huidige situatie op een warmste dag in een gemiddeld jaar + op de warmste dag in 20 jaar). Resolutie 1m.	5
108	Hitte	Aantal dagen met een meteorologische hittegolf	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		5
109	Hitte	Aantal dagen met een waarschuwingsfase	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		4
110	Hitte	Aantal dagen met een alarmfase	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		4
111	Hitte	Aantal zomerse dagen	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		3,5
112	Hitte	Aantal tropische dagen	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		5
113	Hitte	Aantal nachten boven 18°C en 20°C	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		4,5
114	Hitte	Blootstelling aan hittestress uitgedrukt in hittegolfgraaddagen, focus op kwetsbare bevolkingsgroep	Met de kwetsbare bevolking worden de leeftijdsgroepen van 0 tot 4 jaar en van 65 jaar en ouder bedoeld. Men spreekt van zware hittestress bij blootstelling aan 60 of meer hittegolfgraaddagen per jaar.		5
115	Hitte	Blootstelling aan hittestress uitgedrukt in WBGT	Sterk gelinkt met schaduw creërende omgevingselementen (o.a. bomen, constructies)	Voorzien in Klimaatportaal in najaar 2022 (Vlaanderen dekkend, huidige situatie op een warmste dag in een gemiddeld jaar + op de warmste dag in 20 jaar). Resolutie 1m.	5
116	Hitte	Aantal kwetsbare instellingen (ziekenhuizen, WVC, crèches, scholen) op locaties met grote hittestress	Personen in deze instellingen zijn extra gevoelig aan hittestress		5

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
117	Hitte	Aandeel hittebestendige gebouwen	Thermisch comfort in gebouwen heeft impact op gezondheid.	Er bestaat een ISO-norm (ISO 7730, https://www.iso.org/standard/39155.html) en een Belgische implementatie NBN EN 15251 (https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-15251-2007_12248/). Preventieve maatregelen bij "Hittebestendig bouwen" moeten meer aandacht krijgen. Hittebestendig bouwen is een belangrijk aandachtspunt voor de toekomst (opgenomen in VAP) - zie ook Green Deal klimaatbestendig bouwen en plannen /Map "bouw gezond", momenteel vooral ventilatie- en verluchtinggebruik, gebruik van materialen, in toekomst nog meer aandacht voor “hittebestendig bouwen”; technische innovaties.	4
118	Hitte	Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als bomen in de omgeving van gebouwen en op het publiek domein (straten, parken, pleinen)	Bomen zijn heel effectief in afkoeling (door verdamping) en schaduwcreatie).		4
119	Hitte	Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als groendaken en muurbegroeiing (klimplanten, geveltuinen)	Een groendak kan een bufferende werking hebben naar de opwarming van gebouwen, en in mindere mate de ruimere omgeving.	Vooral extensieve groendaken zijn effectief. Aandacht voor irrigatie tijdens droogteperiodes.	3
120	Hitte	Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als zonnescreens	Voorkomen van oververhitting in gebouwen	Zie ook opmerking bij ID 102.	3
121	Hitte	Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als witte daken/muren	Voorkomen van oververhitting in gebouwen		3
122	Hitte	Gebruik van passieve koeling door nachtelijke ventilatie	Belangrijke maatregel bij ontwerp van nieuwe gebouwen en bij renovatie	Aandacht voor veiligheid.	3
123	Hitte	Afstand tot koelte-locatie (gebouwen met airco, voldoende groot park)			4
124	Hitte	Aanwezigheid van bomen op publiek en privédomein	Bomen zijn heel effectief in schaduwcreatie en verkoeling door verdamping van water		4

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
125	Hitte	Aanwezigheid van verharde oppervlakten	Verharde oppervlakten dragen bij tot het hitte-eilandeffect en hoger thermisch comfort		4
126	Hitte	Aandeel stedelijk groen en niet-verharde oppervlaktes	Steden zijn hotspots in blootstelling aan hittestress		4
127	Hitte	Aantal stroomonderbrekingen door hittestress (falen kritische infrastructuur, ontbreken koelwater voor elektriciteitscentrales)	Kan grote impact hebben op kritische infrastructuur (ziekenhuizen, WVC, …)		3,5
128	Hitte	Bewustwording gevolgen hittestress en persoonlijke maatregelen	Hitte-actieplannen zijn heel effectief in het milderen van de gevolgen van hittestress		4
129	Hitte	Installatie van schaduwdoeken en nevelinstallaties in wachtrijen (pretparken, toeristische attracties, …)	Voorkomen van oververhitting		3
130	Luchtkwaliteit			Gelijke indicatoren als bij respiratoire aandoeningen/luchtkwaliteit	
131	Te hoge UV-dosis als basis voor kanker	UV-index	Er bestaat een internationale standaard UV-index. De klimaatverandering zal aanleiding geven tot meer warme en zonnige dagen.	Het KMI heeft een UV-onderzoeksgroep: https://ozone.meteo.be/research-themes/uv/what-is-the-uv-index	4
132	Te hoge UV-dosis als basis voor kanker	Tijd die mensen buiten doorbrengen tijdens UV-index "moderate" en hogere waarden.	Enkel buitenshuis verhoogt het risico op negatieve gevolgen door UV-straling	Onderscheid maken tussen locaties in de zon (strand, buitensport) en locaties in de schaduw (bos, park, terrasjes)	4
133	Te hoge UV-dosis als basis voor kanker	Type huid (donkere vs. lichte huid)	Een donkere huid zal over het algemeen minder snel verbranden dan een lichte huid.		3
134	Te hoge UV-dosis als basis voor kanker	Bewustwording effecten van onbeschermde blootstelling aan UV-straling (korte- en lange-termijn effecten). Aandacht voor "verstandig zongedrag"	Een goede bewustwording verhoogt de intrinsieke motivatie voor het gebruik van zonnecrème en het vermijden van blootstelling gedurende de zonnigste uren van de dag		4
135	Te hoge UV-dosis als basis voor kanker	Gebruik van zonnecrème/zonnehoed en het vermijden van de zonnigste uren tijdens dagen met hoge UV-index waarden	Er zijn talrijke wetenschappelijke publicaties beschikbaar die het gebruik van zonnecrème onderbouwen		3,5

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
136	Te hoge UV-dosis als basis voor staar	UV-index	Er bestaat een internationale standaard UV-index. De klimaatverandering zal aanleiding geven tot meer warme en zonnige dagen.	Het KMI heeft een UV-onderzoeksgroep: https://ozone.meteo.be/research-themes/uv/what-is-the-uv-index	5
137	Te hoge UV-dosis als basis voor staar	Tijd die mensen buiten doorbrengen tijdens UV-index "moderate" en hogere waarden	Enkel buitenshuis verhoogt het risico op negatieve gevolgen door UV-straling	Onderscheid maken tussen locaties in de zon (strand, op het water, sneeuw, buitensport) en locaties in de schaduw (bos, park, terrasjes)	4
138	Te hoge UV-dosis als basis voor staar	Bewustwording effecten van onbeschermde blootstelling aan UV-straling (korte en langetermijn effecten) voor de ogen. Aandacht voor "verstandig zongedrag"	Een goede bewustwording verhoogt de intrinsieke motivatie voor het gebruik van de zonnebril		4
139	Te hoge UV-dosis als basis voor staar	Gebruik van zonnebril tijdens dagen met hoge UV-index	Een goede zonnebril beschermt de ogen tegen UV-straling		2
140	Te lage UV-dosis als basis voor tekort aan Vitamine D	Gezonde blootstelling aan zonnestraling	Blootstelling aan UV-straling heeft ook positieve effecten zoals de vorming van Vitamine D (minder darmkanker, verhoogt immuunsysteem)	RIVM-rapport "UV-straling en gezondheid"	3
141	Te lage UV-dosis als basis voor tekort aan Vitamine D	Inname van extra Vitamine D tijdens wintermaanden	Via voedingssupplementen kan extra vitamine D worden opgenomen		3
142	Te hoge UV-dosis als basis voor zonnebrand	UV-index	Er bestaat een internationale standaard UV-index. De klimaatverandering zal aanleiding geven tot meer warme en zonnige dagen.	Het KMI heeft een UV-onderzoeksgroep: https://ozone.meteo.be/research-themes/uv/what-is-the-uv-index	4,5
143	Te hoge UV-dosis als basis voor zonnebrand	Tijd die mensen buiten doorbrengen tijdens UV-index "moderate" en hogere waarden	Enkel buitenshuis verhoogt het risico op negatieve gevolgen door UV-straling	Onderscheid maken tussen locaties in de zon (strand, op het water, sneeuw, buitensport) en locaties in de schaduw (bos, park, terrasjes)	3,5
144	Te hoge UV-dosis als basis voor zonnebrand	Tijd die kinderen onbeschermd buiten doorbrengen tijdens UV-index "moderate" en hogere waarden	Kinderen hebben een extra gevoelige huid en huidverbranding in de jeugd kan op latere leeftijd aanleiding geven tot huidkankers		4
145	Te hoge UV-dosis als basis voor zonnebrand	Bewustwording effecten van onbeschermde blootstelling aan UV-straling (korte- en lange-termijn effecten). Aandacht voor "verstandig zongedrag".	Een goede bewustwording verhoogt de intrinsieke motivatie voor het gebruik van de zonnehoed en zonnecrème		4

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
146	Te hoge UV-dosis als basis voor zonnebrand	Gebruik van zonnehoed en zonnecrème tijdens dagen met hoge UV-index	Een zonnehoed en goed aangebrachte kwalitatieve zonnecrème beschermt de huid tegen overdadige UV-straling	Bepaalde types zonnecrème kunnen ook negatieve (gezondheids)effecten hebben (neveneffect). Er wordt aangenomen dat de voordelen opwegen tegen de nadelen.	3,5
147	Hitte	Indoor hitte comfortindicator zoals WBGT	Sterk gelinkt aan menselijke gezondheid	Wordt gebruikt in de Belgische arbeidswetgeving (https://werk.belgie.be/nl/themas/welzijn-op-het-werk/omgevingsfactoren-en-fysische-agentia/thermische-omgevingsfactoren)	5
148	Hitte	Outdoor hitte comfortindicator zoals WBGT	Sterk gelinkt aan menselijke gezondheid	Wordt gebruikt in de Belgische arbeidswetgeving (https://werk.belgie.be/nl/themas/welzijn-op-het-werk/omgevingsfactoren-en-fysische-agentia/thermische-omgevingsfactoren). Voorzien in Klimaatportaal in najaar 2022 (Vlaanderen dekkend, huidige situatie op een warmste dag in een gemiddeld jaar + op de warmste dag in 20 jaar). Resolutie 1m.	5
149	Hitte	Aandeel personen aan het werk tijdens periodes met hoge WBGT-waarden (buiten en binnen) volgens type werk (licht, halfzwaar, zwaar, zeer zwaar)	Aanpassen type werk in functie van mate van hittestress	Voorzien in Klimaatportaal in najaar 2022 (Vlaanderen dekkend, huidige situatie op een warmste dag in een gemiddeld jaar + op de warmste dag in 20 jaar). Resolutie 1m.	4,5
150	Hitte	Aandeel ouderen en personen met onderliggende gezondheidsproblemen aan het werk tijdens periodes met hoge WBGT-waarden (buiten en binnen) volgens type werk (licht, halfzwaar, zwaar, zeer zwaar)	Oudere personen hebben over het algemeen een mindere fysieke conditie	Voorzien in Klimaatportaal in najaar 2022 (Vlaanderen dekkend, huidige situatie op een warmste dag in een gemiddeld jaar + op de warmste dag in 20 jaar). Resolutie 1m.	4,5
151	Hitte	Aantal bedrijven die adaptatiemaatregelen zoals aanpassing van werkuren, extra rustpauzes, watervoorziening, installatie verkoeling, aangepaste kledij toepassen tijdens hittegolven	Tijdens dagen met extreme hittestress moeten de arbeidsomstandigheden worden aangepast		4

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
152	Hitte	Aandeel hittebestendige ingerichte bedrijventerreinen en bedrijfsgebouwen	Ruimtelijke ingrepen kunnen thermisch comfort op bedrijfsterreinen verhogen.		4
153	Koude	Aantal koude dagen (vorstdagen, ijsdagen)	In functie van het type werk zijn er wettelijke minimumtemperaturen vastgelegd. Door de klimaatverandering dalen het aantal koude dagen met minder negatieve gezondheidseffecten door koude	https://werk.belgie.be/nl/themas/welzijn-op-het-werk/omgevingsfactoren-en-fysische-agentia/thermische-omgevingsfactoren	3
154	Koude	Aandeel personen aan het werk in de buitenlucht tijdens periodes met koude dagen (vorstdagen, ijsdagen)	Deze indicator geeft een inschatting naar het maximaal aantal getroffen werknemers		3
155	Koude	Aantal bedrijven dat adaptatiemaatregelen voorziet tijdens koudegolven (persoonlijke beschermingsmiddelen, warmtebron, warme dranken tijdens pauzes, gereedschap dat is voorzien van isolerend materiaal, afwisselend werk, warme opwarmruimte, aanpassing werkuren, ...)	Extra aandacht voor welzijn op het werk tijdens koudegolven. Koudegolven komen minder vaak voor waardoor de paraatheid van de bevolking en de bedrijfswereld om om te gaan met koude minder groot is.		3
156	Hitte	Aantal hittegolfgraaddagen	Het gaat om de som van de overschrijdingen van de dagelijkse maximumtemperatuur boven de drempel van 29,6 °C, samen met de som van de overschrijdingen van de dagelijkse minimumtemperatuur boven de drempel van 18,2 °C.	Wordt ook gebruikt in het VMM-klimaatportaal	5
157	Hitte	Aantal dagen met een meteorologische hittegolf	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		5
158	Hitte	Aantal dagen met een waarschuwingsfase	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		4
159	Hitte	Aantal dagen met een alarmfase	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		4
160	Hitte	Aantal zomerse dagen	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		3
161	Hitte	Aantal tropische dagen	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		4

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
162	Hitte	Aantal nachten boven 18°C en 20°C	Indicator heeft een positieve correlatie met absenteïsme		4,5
163	Hitte	Aandacht voor zomer absenteïsme in arbeidsplanning, arbeidsreglement en welzijn werknemers			3
164	Hitte	Aantal wegen met schade aan wegdek wegens extreme hitte	Hoge temperaturen kunnen het wegdek beschadigen met absenteïsme tot gevolg		2
165	Hitte	Aantal sporen met schade wegen extreme hitte	Hoge temperaturen kunnen de treinsporen beschadigen met absenteïsme tot gevolg		2
166	Koude	Aantal koude dagen (vorstdagen, ijsdagen)	Koude maakt onze slijmvliezen mogelijk kwetsbaarder voor virussen, waardoor we sneller een infectie (verkoudheid/griep) oppikken met mogelijke afwezigheid op het werk tot gevolg.		2
167	Koude	Aandacht voor minimale viruscirculatie op het werk (thuiswerk, mondmaskers, handhygiëne, maximale bezetting kantoren, ventilatie, CO2 concentratie monitoring in burelen en vergaderzalen)			2
168	Overstromingen	Aantal wegen in overstroombaar gebied	Maat voor de kans dat wegtransport met auto, openbaar vervoer of fiets niet mogelijk is. Kan op overstromingen neemt toe bij klimaatverandering		2
169	Overstromingen	Aantal periodes met overstromingen	Kans op overstromingen neemt toe bij klimaatverandering maar kan door aangepast ruimtelijke maatregelen en investeringen worden teruggedrongen		2
170	Overstromingen	Aantal industriegebieden die moeilijk bereikbaar zijn tijdens periodes van extreme neerslag			2
171	Overstromingen	Aantal werknemers met woning in overstroombaar gebied			3
172	Overstromingen	Aantal werknemers die dichtbij werk wonen	Korte woon-werk afstanden zijn minder gevoelig voor overstromingen		1,5

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
173	Overstromingen	Aantal woningen dat jaarlijks door overstromingen wordt getroffen.	Maat voor het potentieel aan sterfte en verwondingen. Kans op overstromingen neemt toe bij klimaatverandering.	Sterfte treedt niet noodzakelijk onmiddellijk op (bv. verdrinking). Kan ook uitgesteld zijn, via bv. als gevolg van opgelopen ziektes, mentale problemen (ev. gevolgd door zelfmoord); ...	4
174	Overstromingen	Aantal industriële bedrijven met potentieel gezondheidsrisico in overstromingsgebied.	Maat voor de kans dat chemicaliën e.d. in het water aanleiding geven tot acute of chronische gezondheidseffecten, eventueel ook na terugtrekken van het water (via slib en bodem).	Potentieel overstromingsgebied dan wel daadwerkelijk overstroomd debiet. Hangt af van de doelstelling van de monitoring.	4
175	Overstromingen	Aantal kwetsbare instellingen met risico op een gevaarlijke overstroming (70 cm of meer) bij een hoog-impactscenario in het jaar 2100.	Aanwezigheid van deze instellingen verhoogt de kan op verwondingen en sterfte.	1) Daarnaast best ook indicator voor reële impact, bv. "jaarlijks aantal kwetsbare instellingen die blootgesteld werden aan een gevaarlijke overstroming". 2) Effect van reductie in risico als gevolg van maatregelen tegen overstromingen en wateroverlast wordt hier ook door gevat. 3) Piste van "gevaarlijk overstroombare" (70 cm) wordt in klimaatportaal verlaten -> finale formulering van de indicator af te stemmen op terminologie klimaatportaal.	3,5
176	Overstromingen	Aantal kwetsbare instellingen met risico op een gevaarlijke overstroming (70 cm of meer) bij een 1000-jarige stormvloed.	Aanwezigheid van deze instellingen verhoogt de kan op verwondingen en sterfte.	1) Enkel voor kuststreek. 2) Daarnaast best ook indicator voor reële impact, bv. "jaarlijks aantal kwetsbare instellingen die blootgesteld werden aan een gevaarlijke overstroming". 3) Effect van maatregelen voor overstromingsbeveiliging wordt hier mee door gevat.	3,5
177	Overstromingen	Aantal woningen in overstroombaar gebied die bewoond worden door mensen die tot een socio-economisch zwakke groep behoren	Personen uit deze groep (en hun bezittingen) zullen minder goed gewapend zijn tegen overstromingen, kans van verwondingen en sterfte is groter.	Ook grotere kans op mentale problemen, zie verder.	4
178	Overstromingen	Aantal tussenkomsten van hulpdiensten voor wateroverlast en overstromingen	Aantal interventies is een maat voor de reële omvang van de potentiële verwondingen en sterfte (inbegrepen uitgestelde sterfte).		4
179	Overstromingen	Aantal elektriciteitscabines gelegen in overstroombaar gebied	Indicator voor de mate waarin overstromingen kunnen leiden tot tijdelijk verlies van elektriciteitsvoorziening. Dit kan gevolgen hebben op het vlak van veiligheid en gezondheid.		3

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
180	Overstromingen	Gecumuleerde jaarlijkse duur van het onbeschikbaar zijn van elektriciteit als gevolg van overstromingen.	Indicator voor de mate waarin overstromingen hebben geleid tot tijdelijk verlies van elektriciteitsvoorziening, wat gevolgen kan hebben op het vlak van veiligheid en gezondheid.	Ook van toepassing op andere calamiteiten	3
181	Droogte	Aantal huizen dat bij droogte verzakkingen kan ondergaan door krimp of inklinking van de bodems.	Droogte bij klimaatverandering kan aanleiding geven tot inklinking van bodems, met mogelijk verwondingen of sterfte tot gevolg.	Zie studie "gedrag van plastische gronden" -> kan op termijn doorwerken in kaartmateriaal Klimaatportaal (Jan van Roo). Te koppelen met VMM-studie over GW-standen?	4
182	Droogte	Gecumuleerde jaarlijkse duur van het onbeschikbaar zijn van elektriciteit als gevolg van extreme droogte.	Indicator voor de mate waarin extreme droogte heeft geleid tot tijdelijk verlies van elektriciteitsvoorziening. Dit kan gevolgen hebben op het vlak van veiligheid en gezondheid.	Bij kernuitstap wordt koelwater veel minder cruciaal	3
183	Droogte	Aantal personen dat minstens eenmaal per jaar geen toegang heeft tot kwaliteitsvol drinkwater als gevolg van extreme droogte	Indicator voor de mate waarin extreme droogte heeft geleid tot tijdelijk verlies van drinkwatervoorziening, wat gevolgen kan hebben op het vlak van veiligheid en gezondheid.	Gerelateerd aan indicator "Klimaatgerelateerde beperkingen in levering van drinkbaar water".	4
184	Natuurbranden	Brandwaarschuwingsindex.	Door de klimaatverandering zal de duur van het brandseizoen en de ernst van de natuurbranden verhoogd worden.	De brandwaarschuwingsindex wordt berekend op basis van meteorologische parameters en kan voor historische periodes berekend worden. Deze index is gebaseerd op Canadees model (bosbranden).	3,5
185	Natuurbranden	Oppervlakte afgebrande gebieden per jaar	Door de klimaatverandering zal de duur van het brandseizoen en de ernst van de natuurbranden verhoogd worden.	De Copernicus EFFIS service bevat gestandaardiseerde data. Verder te onderzoeken. Oppervlakte is een goede maat, maar ook niet heiligmakend, de hoeveelheid rook zal eerder nog samenhangen met de hoeveelheid (massa) organisch materiaal / biomassa er effectief op die oppervlakte verbrand wordt, een droog grasveld is anders dan een heideterrein is anders dan een bos.	4
186	Natuurbranden	Aandeel bevolking in omgeving van brandgevoelige gebieden (afstand te bepalen)	Grootste gezondheidsimpacten zijn te verwachten dicht bij de brandhaarden	Niet enkel natuurgebieden ook groene woongebieden kunnen brandgevoelig zijn.	4
187	Natuurbranden	Aantal woonzorgcentra, kinderopvang, ziekenhuizen in of nabij brandgevoelig gebied	Focus op de gevoeligste bevolkingsgroepen	Ruime definitie van brandgevoelig gebied gebruiken, inclusief woongebieden.	4

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
188	Natuurbranden	Bewustwording brandgevaar bij de bevolking, bezoekers van natuurgebieden en zeker bij de bevolking die woont in brandgevoelige woonzones (WUI).	In de meeste gevallen ontstaat een natuurbrand door menselijk toedoen		4
189	Natuurbranden	Implementatie van brandpreventie in brandgevoelige gebieden, ongeacht of dit natuurgebieden zijn of woonzones of…	Preventie door beschermingsinfrastructuur, monitoringsnetwerken, watervoorzieningen, opleidingen hulpdiensten. Alsook preventie door aangepast beheer van natuurgebied, openbaar terrein en privétuin/omgeving woning. Bv. in beheerde bossen wordt (sinds lang) gewerkt aan een geleidelijke omvorming van naaldhout naar gemengde bossen met een groot aandeel loofhout, waardoor bossen qua vegetatie minder brandgevaarlijk worden. De bewoners en openbare besturen in brandgevoelige gebieden, zeg maar gelegen in bossen met een groot aandeel naaldhout zouden geadviseerd moeten worden om evengoed een vergelijkbare omvorming door te voeren op voorwaarde dat het aandeel bos niet verminderd.		4
190	Natuurbranden	Aandeel Vlaams grondgebied met hoog brandrisicogevaar	Er bestaat een statische kaart met "brandgevoelige gebieden" voor het Belgische grondgebied (Jan Baetens -UGent- in opdracht van Federaal Kenniscentrum voor de Civiele Veiligheid)	Jaarlijkse update op basis van waargenomen bodem en vegetatie droogte? Haalbaarheid moet bestudeerd worden.	3
191	Hitte	Aantal hittegolfgraaddagen	Het gaat om de som van de overschrijdingen van de dagelijkse maximumtemperatuur boven de drempel van 29,6 °C, samen met de som van de overschrijdingen van de dagelijkse minimumtemperatuur boven de drempel van 18,2 °C.	Wordt ook gebruikt in het VMM-klimaatportaal	4,5
192	Hitte	Aantal verkeersongevallen tijdens hittegolven	Het risico op auto-ongevallen is verhoogd tijdens hittegolven. Dit wordt veroorzaakt door enerzijds verminderde concentratie en slaperigheid bij de chauffeur maar anderzijds ook door meer voertuigproblemen tijdens hittegolven (oververhitting, bandenpech, klapband)	Basagaña X, Escalera-Antezana JP, Dadvand P, Llatje Ò, Barrera-Gómez J, Cunillera J, Medina-Ramón M, Pérez K. 2015. High ambient temperatures and risk of motor vehicle crashes in Catalonia, Spain (2000–2011): a time-series analysis. Environ Health Perspect 123:1309–1316; http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1409223	4

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
193	Overstromingen	Tijd tussen een overstromingsevenement met impact op woonhuizen en het moment waarop mensen terug kunnen keren naar hun huizen.	Mentale gevolgen van de lengte van de periode dat mensen niet terug naar huis kunnen.		4
194	Overstromingen	Aantal huizen zonder water of elektriciteit na een overstroming, en duur van de onderbreking.	Mentale gevolgen van het niet kunnen beschikken over basisvoorzieningen.		4
195	Overstromingen	% van personen met woning in overstroombaar gebied die tot een socio-economisch zwakke of mentaal kwetsbare groep behoren	Bij deze groepen kunnen de mentale gevolgen sterker zijn.		4
196	Overstromingen	Mate waarin de schade en sterfte als gevolg van overstromingen voorzienbaar en te vermijden of milderen waren (o.a. door early warning).	Mentale gevolgen kunnen beperkter zijn als impact vooraf te verwachten was en de impact ervan in te schatten viel.		2,5
197	Overstromingen	Aantal woningen dat definitief verlaten moet worden als gevolg van een overstroming.	Mentale gevolgen van het definitief moeten verlaten van zijn woning kunnen aanzienlijk zijn.		4
198	Overstromingen	Aantal personen dat waarschuwings-apps voor calamiteiten gebruikt.	Gebruik van een dergelijk app biedt een zekere mate van houvast en kan helpen de mentale gevolgen te milderen.	1) Ook van toepassing op andere calamiteiten dan overstromingen. 2) Voorwaarde is dat de waarschuwingen betrouwbaar zijn, anders kan een omgekeerd effect bereikt worden.	3
199	Natuurbranden	Mate van opvolging slachtoffers natuurbranden			3
200	Hitte	Mate van zelfmoord detectie en preventie tijdens hittegolven	Extra aandacht voor zelfmoorddetectie/preventie tijdens periodes van hittegolven		4,5
201	Hitte	Mate van geweld detectie en preventie tijdens hittegolven	Extra aandacht voor gewelddetectie/preventie tijdens hittegolven		4,5
202	Droogte	Aantal schadegevallen aan gebouwen als gevolg van zwel-krimpfenomenen in bodems	Schade aan woningen kan een sterke mentale impact hebben op eigenaars of bewoners.	Eventueel ook gevaar- of blootstellingsindicatoren, bv. opp. woongebied gelegen op krimpgevoelige bodems.	3
203	Droogte	Toename in droogvallen van vijvers en recreatiegebieden als gevolg van droogte.	Het visueel waarneembare effect van droogte kan mentaal negatieve gevolgen hebben bij de gebruikers.		3

ID	Stressor	Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan-score
204	Droogte	Veranderingen in het landschap (bv. afsterven van vegetatie, uitdrogen van waterlichamen) als gevolg van droogte.	Het visueel waarneembare effect van droogte kan mentaal negatieve gevolgen hebben voor de gebruikers en waarnemers van het landschap.		2
205	Schade aan teelten en niet-binnengehaalde oogsten	Aantal getroffen landbouwbedrijven door extreem weer	Meer frequent extreem weer kan leiden tot meer frequent mislukte oogsten	Landbouwareaal is beter dan aantal landbouwers (aantal actieve bedrijven zakt, areaal niet)	3
206	Schade aan teelten en niet-binnengehaalde oogsten	Verzekeringsgraad landbouwers	Het al of niet verzekerd zijn kan een invloed hebben op het mentaal welzijn van getroffen landbouwers	Brede weersverzekering voor landbouwteelten. Voorwaarde voor vergoeding Vlaams rampenfonds tijdens overgangsperiode tot eind 2024.	2,5
207	Schade aan teelten en niet-binnengehaalde oogsten	Aantal ontvangen dossiers "brede weersverzekering voor landbouwteelten"	Een indicator voor het aantal getroffen verzekerde landbouwers		2
208	Aanwezigheid van groen	Aanwezigheid van groen in of in de onmiddellijke nabijheid van woon- en werkomgevingen	Groen heeft een positieve impact op de menselijke fysische, mentale en cognitieve gezondheid. In de mate dat meer groen het gevolg is van klimaatbeleid is er een relatie tussen klimaatverandering en het positieve gezondheidseffect.		5
209	Sociale ongelijkheid	Mate van sociale ongelijkheid (inkomensongelijkheid?) in de maatschappij	Sociale achteruitstelling heeft een grote impact op de kwetsbaarheid aan de (gezondheids)gevolgen van klimaatverandering.		4,5

BIJLAGE B

Bijlage B geeft een overzicht van de omgevingsindicatoren i.v.m. allergieën door pollen.
De klimaatverandering heeft een invloed gehad op verschillende aërobiologische processen (emissie, verspreiding en/of transport en afzetting) van aëroallergenen. Deze mechanismen verlopen op complexe wijze, maar de meeste aërobiologische methoden zijn gebaseerd op de meting van pollenkorrels en schimmelsporen in de lucht. Deze methoden kunnen direct of indirect als milieu-indicatoren worden gebruikt (Galán et al., 2017). In Vlaanderen wordt de aanwezigheid van aeroallergenen in de buitenlucht continu gemeten door het Belgisch aerobiologisch meetnet van Sciensano.

Pollen van planten bestoven door de wind: hoeveelheid pollenkorrels

Naam indicator

Gemiddelde dagelijkse (24h) pollenconcentratie.
Een gemiddelde resolutie van 2 uur is technisch mogelijk, maar wordt in België niet toegepast vanwege de daaruit voortvloeiende aanzienlijk grotere onzekerheden.

Omschrijving

Het stuifmeel uit de lucht wordt verzameld door middel van de zogenaamde Hirst-methode (HIRST, 1952), met behulp van een volumetrische sensor (7-D volumetric spore trap, Burkard Manufacturing co.). Deze techniek is gestandaardiseerd ("CEN 16868:2019 - Ambient air - Sampling and analysis of airborne pollen grains and fungal spores for," n.d.) en wordt al 40 jaar gebruikt door alle nationale aerobiologische netwerken in Europa. De sensor wordt op het dak van een gebouw geïnstalleerd, bij voorkeur op een hoogte van 10-20 meter boven de grond om de lokale invloeden zo veel mogelijk te beperken. De lucht wordt continu, met een gecontroleerd debiet (10 liters per minuut, d.w.z. een debiet dat dicht bij het gemiddelde menselijke ventilatiedebiet ligt), in de richting van de overheersende windrichting aangezogen. Het stuifmeel heeft een enorme morfologische diversiteit, waardoor het mogelijk is om onder een microscoop de belangrijkste allergieverwekkende stuifmeelsoorten te herkennen en te kwantificeren, tot de botanische familie (grassen) of tot het genus (berken).

Eenheid

Pollenkorrels/m^3 lucht

Databron

Sciensano, dienst Mycologie en Aerobiologie (www.airallergy.be)

Referentie literatuur

Bruffaerts et al., 2018; de Weger et al., 2021; Hoebeke et al., 2018

Gezondheidsrisico waarmee de indicator gerelateerd is (of kan worden)

Morbiditeit (en mortaliteit in veel zeldzamere gevallen) bij patiënten met inflammatoire luchtwegaandoeningen (IAD) zoals allergische rhinitis (AR), chronische rhinosinusitis (CRS), astma en chronische obstructieve longziekte (COPD).

Aard van de indicator (gevaar, blootstelling, kwetsbaarheid, aanpassingsvermogen)

In België zijn de routinematig gemeten allergieverwekkende taxa: Pinaceae, *Larix*, *Taxus &* Cupressaceae, *Platanus*, *Ulmus*, *Juglans*, *Fagus*, *Quercus*, *Castanea*, *Alnus*, *Betula*, *Corylus*, *Carpinus*, *Tilia*, *Populus*, *Salix*, Ericaceae, *Hippophae*, *Acer*, *Fraxinus*, *Ligustrum*, *Sambucus*, Juncaceae, Cyperaceae, Poaceae, Cannabaceae, Urticaceae, Amaranthaceae, *Rumex*, Apiaceae, *Plantago*, *Artemisia*, *Ambrosia*, Asteraceae, *Filipendula*.
Een van de zwakke punten van de Hirst-methode is de tijd, die verstrijkt tussen de bemonstering, de analyse en de uiteindelijke berichtgeving van de resultaten aan de bevolking en de gezondheidszorg. Voor bemonstering volgens het Hirst-type is ten minste één volledige dag voordat het apparaat kan worden gereset en het monster kan worden verwerkt, hoewel deze periode om logistieke en financiële redenen vaak tot zeven dagen wordt verlengd.
De daaropvolgende analyse d.m.v. lichtmicroscopie van de met pollen bedekte tape vereist een hoog niveau van expertise om de verzamelde deeltjes nauwkeurig te tellen en correct te identificeren. Dit is een traag proces met als gevolg dat de totale telling als een extrapolatie van de telling gezien moet worden (Galán et al., 2014). Dit impliceert een onvermijdelijk onzekerheid op niveau van het betrouwbaarheidsintreval (Adamov et al., 2021; Oteros et al., 2017).

Gewenste of te verwachten trend i.f.v. klimaatverandering (toename/afname/stabiel)

Analyse van langetermijntendensen op basis van dagelijkse gegevens is betrekkelijk moeilijk omdat de pollenconcentraties van dag tot dag sterk kunnen variëren als gevolg van kortetermijnfactoren zoals meteorologische omstandigheden.
Een studie op basis van dagelijkse pollenconcentratiegegevens gemeten in Brussel toonde een algemene trend van de toename van de dagelijkse gemeten pollen van bomen in de lucht (namelijk voor de els, de hazelaar, de berk, de es en de plataan) en een algemene trend voor de afname van het dagelijkse aantal pollen van kruidachtige planten in de lucht (voor de grassen en de bijvoet, maar niet voor de brandnetelfamilie) (Bruffaerts et al., 2018).

Horizontaal bereik (ruimtelijke resolutie of evt. aandachtsgebieden)

De representativiteit van de Hirst-bemonstering strekt zich uit tot ongeveer 30 km rond de sensor (Katelaris et al., 2004), hoewel dit gebied kan variëren naar gelang de topografische en klimatologische factoren. De sensoren van het Belgisch aërobiologisch meetnet bevinden zich op de volgende geografische punten:

- Brussel: 50°49'27.5"N 4°22'60.0"E (50.824309, 4.383329)
- De Haan: 51°16'24.7"N 3°01'17.1"E (51.273540, 3.021406)
- Genk: 50°57'56.1"N 5°29'37.0"E (50.965569, 5.493620)
- Antwerpen: 51°12'44.0"N 4°23'54.0"E (51.212213, 4.398334)
- Gent: 51°01'33.3"N 3°43'30.3"E (51.025916, 3.725084)

In theorie kan een Hirst sensor op grondniveau worden geplaatst, maar dit kan de metingen aanzienlijk beïnvloeden, met een grotere gevoeligheid voor het opsporen van pollen in de lucht en in het bijzonder pollen die door plaatselijke kruidachtige planten worden vrijgesteld (Jetschni and Jochner-Oette, 2021; Rojo et al., 2019).

Tijdbereik (voor welk jaar meest recente data)

Dagelijkse gegevens zijn beschikbaar tijdens het pollenseizoen, d.w.z. van 1 januari tot 30 september, en over verschillende jaren:

- Brussel: van 1982 tot nu
- De Haan: van 1984 tot nu
- Genk: van 2001 tot 2004, en van 2011 tot nu

- Antwerp: van 2005 tot 2010
- Gent: van 1997 tot 1999

Update frequentie

Dagelijkse update voor Brussel
Wekelijkse update voor De Haan en Genk

Motivatie voor selectie

Deze indicator is gebaseerd op een gestandaardiseerde methode in Europa. Er een sterke wetenschappelijke basis, die de causale correlatie met de waarneming van allergiesymptomen ondersteunt zowel bij experimenten in het buitenmilieu als bij gecontroleerde blootstellingsexperimenten.

Bijkomende aandachtspunten

- Deze methode maakt het mogelijk het monster op lange termijn op te slaan voor verdere analyse (b.v. 2 uur resolutie) of voor laboratoriumanalyse (genomica).
- Er bestaan draagbare apparaten (Personal Volumetric Sampler, Burkard Manufacturing co.), waarmee een soortgelijke analyse van de pollenconcentratie in buiten- of binnenmilieus mogelijk is.
- Deze indicator kan ook worden gemeten door next-generation automatische real-time monitors. Sciensano heeft onlangs een Poleno Jupiter (Swisens AG) aangekocht, die gebaseerd is op LED-geïnduceerde fluorescentie (excitatie bij 280 en 365 nm) en digitale holografie om beelden van afzonderlijke deeltjes uit de buitenlucht te reconstrueren (Sauvageat et al., 2020). Hoewel de nadruk ligt op de identificatie en kwantificering van pollen in de lucht, kan het vermogen van de Poleno om andere bioaerosols (schimmelsporen, enz.) te meten eveneens worden getest en dit dankzij de mogelijke uitbreiding van de classificatie-algoritmen. Deze monitor zou tegen 2022 operationeel moeten zijn in Brussel en zal gedurende een aantal jaren gevalideerd worden, gebruik maken van de resultaten verkregen via de standaard Hirst-methode.

Deze indicator van blootstelling aan pollen kan in modellen worden uitgedrukt. Tegenwoordig zijn er veel studies gewijd aan het ontwikkelen van modellen om de aanwezigheid en het transport van pollen, schimmelsporen en andere bioaerosolen in onze atmosfeer te voorspellen. Ze kunnen ruwweg als volgt worden ingedeeld: waarnemingsgeoriënteerde modellen, bron-georiënteerde modellen, regressieanalyse, tijdreeksanalyse, en process gebaseerde fenologische modellen (Maya-Manzano et al., 2020). In België heeft het Koninklijk Meteorologisch Instituut een numeriek model ontwikkeld voor de emissie en het atmosferisch transport van berkenstuifmeel (Verstraeten et al., 2019) en graspollen (Verstraeten et al., 2021), in het kader van het Belspo project RetroPollen. Dit model is afgeleid van de SILAM-module (System for Integrated modeLling of Atmospheric composition)[18] ; http://silam.fmi.fi ; (Sofiev et al., 2013) een aangepast chemisch transportmodel dat de geregistreerde data van fenologische fasen bepaalt als functie van omgevingsfactoren (bv. afkoeltemperatuur, broeitemperatuur, fotoperiode en waterbeschikbaarheid). Dit model is grotendeels afhankelijk van gegevens in verband met de emissiebronnen, die opgenomen dienen te worden, en van waarnemingsgegevens van stuifmeel (verstrekt door Sciensano) die gevalideerd dienen te worden. Het maakt gebruik van historische klimaatparameters, die worden gecombineerd met de huidige meteorologische gegevens, om pollenniveaus te simuleren in voorbije, huidige of toekomstige perioden, met een ruimtelijke resolutie van 10 x 10 km.

[18] http://silam.fmi.fi

De betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de voorspellingen bereiken nog niet het kwaliteitsniveau dat nodig is om in een operationeel voorspellingssysteem toegepast te kunnen worden. Verwacht wordt echter dat de ontwikkeling en standaardisatie van real-time pollenmonitoring in de toekomst de assimilatie van observatiegegevens in numerieke voorspellingsmodellen mogelijk zal maken en, net als voor weersvoorspellingen, de kwaliteit van pollenvoorspellingen waarschijnlijk sterk zal verbeteren.

Pollen van planten bestoven door de wind: pollencyclus

- **Naam indicator**

Annual Pollen Integral (API or APIn): jaarlijks pollenintegraal
Seasonal Pollen Integral (SPI or SPIn): seizoensgebonden pollenintegraal

- **Omschrijving**

Het is bekend dat de jaarlijkse stuifmeelproductie van bomen sterk varieert. *Mast seeding* (of *masting*) is een fenomeen op populatieniveau, dat zijn oorsprong vindt op individueel niveau door een combinatie van twee processen: interjaarlijkse variatie in de zaadproductie en synchronisatie tussen individuen. In Europa planten alle belangrijke bosvormende soorten zich voort. Stuifmeelcycli van planten bestoven door de wind kunnen worden gevolgd aan de hand van twee aerobiologische parameters, namelijk API en SPI. Deze worden gedefinieerd als de integraal over de tijd of de som van de gemiddelde dagelijkse pollenconcentraties, respectievelijk over een kalenderjaar (API) of over een pollenseizoen (SPI) (Galán et al., 2017). Er zijn verschillende methoden beschreven om een pollenseizoen te definiëren, hetzij op basis van pollenconcentraties, hetzij op basis van een percentage van de API (Bastl et al., 2018).

- **Eenheid**

Pollenkorrels/m^3*dagen

- **Databron**

Sciensano, dienst Mycologie en Aerobiologie (www.airallergy.be)

- **Referentie literatuur**

de Weger et al., 2021; Hoebeke et al., 2018

- **Gezondheidsrisico waarmee de indicator gerelateerd is (of kan worden)**

Net als de dagelijkse concentratie zijn de API/SPI-parameters indicatief voor de intensiteit van de blootstelling aan aeroallergenen en houden zij dus rechtstreeks verband met de intensiteit en frequentie van de allergiesymptomen in een tijdsresolutie van één jaar.

- **Aard van de indicator (gevaar, blootstelling, kwetsbaarheid, aanpassingsvermogen)**

Als indicator, die afgeleid is van de meting van de dagelijkse pollenconcentraties gedurende een jaar/seizoen, heeft de API/SPI dezelfde beperkingen en onzekerheden als deze waargenomen voor de Hirst-methode. Al impliceert de API/SPI indicator toevallige onzekerheden die, ook al zijn ze groot, op seizoensniveau uitgemiddeld kunnen worden en dus geen significante invloed hebben op de gebruikelijke inter-seizoensvariatie (bv. bemonsteringsfout, telfout, representativiteitsfout, enz.). De systematische onzekerheden worden weliswaar niet opgemerkt, maar zijn stabieler en kleiner in absolute waarden.

- **Gewenste of te verwachten trend i.f.v. klimaatverandering (toename/afname/stabiel)**

De met de klimaatverandering samenhangende trends in *masting* zijn divers en omvatten afnames, toenames of stabilisatie in zowel de interjaarlijkse variatie als de synchronie en dit afhankelijk van de boomsoort (Bogdziewicz, 2021). Zo werd bijvoorbeeld gemeld dat de gemiddelde zaadproductie van beuken (*Fagus* spp.) en eiken (*Quercus* spp.) op lange termijn toenam, terwijl de interjaarlijkse variatie en synchronie afnamen, met een verkort interval van een cyclus van 3 of 4 jaar naar één die naar 2 jaar neigt.
Onafhankelijk van de productiecyclus is de API/SPI een veelgebruikte indicator in de aërobiologie om de nauwe verbanden tussen de pollenniveaus en de klimaatschommelingen te analyseren (Paudel et al., 2021; Ziska et al., 2019). Langetermijntendensen in België nemen toe voor een reeks allergieverwekkende boomtaxa (de Weger et al., 2021; Hoebeke et al., 2018).

- **Horizontaal bereik (ruimtelijke resolutie o**f evt. aandachtsgebieden)

Zie het beschreven horizontaal bereik voor de gemiddelde dagelijkse pollenconcentratie.

- **Tijdbereik (voor welk jaar meest recente data)**

Zie het beschreven tijdbereik voor de gemiddelde dagelijkse pollenconcentratie.

- **Update frequentie**

Jaarlijkse update.

- **Motivatie voor selectie**

In de context van een klimaatveranderingsstudie is deze indicator waarschijnlijk de meest relevante om te gebruiken voor statistische analyses op lange termijn, waarbij de invloed van meteorologische microverschijnselen zo gering mogelijk moet zijn.

- **Bijkomende aandachtspunten**

Er moet rekening gehouden worden met het feit dat het seizoen voor sommige boomtaxa, bijvoorbeeld de els (*Alnus* spp.), over twee kalenderjaren gespreid (van december tot januari) kan worden en dus onherroepelijk een impact kan hebben op de berekening van de API.

Pollen van planten bestoven door de wind: timing van pollenseizoen

- **Naam indicator**

Begin, einde en duur van het stuifmeelseizoen

- **Omschrijving**

Er zijn verschillende methoden beschreven om een pollenseizoen te definiëren, hetzij op basis van pollenconcentraties, hetzij op basis van een percentage van de API (Bastl et al., 2018).
De "percentage"-methode wordt gewoonlijk gebruikt om het pollenseizoen af te bakenen op basis van de eliminatie van een bepaald percentage in het begin en op het einde van het pollenseizoen (Andersen, 1991; Nilsson and Persson, 1981). Wanneer het pollenseizoen bijvoorbeeld gebaseerd is op 95% van het totale jaarlijkse pollen, wordt de begindatum van het pollenseizoen aangeduid als de dag waarop 2,5% van het totale pollen wordt geregistreerd en de einddatum van het pollenseizoen als de dag waarop 97,5% van het totale pollen wordt geregistreerd.
De "logistiche"-methode is ontwikkeld door Ribeiro et al. (2007) en gewijzigd door Cunha et al. (2015). Zij is gebaseerd op de jaarlijkse aanpassing van een niet-lineair logistisch regressiemodel van de dagelijkse gecumuleerde pollencurve.

Deze logistische functie en de verschillende afgeleiden ervan werden in aanmerking genomen om de begindatum en de einddatum van het pollenseizoen te berekenen, gebaseerd op de asymptoten wanneer de pollenhoeveelheden gestabiliseerd zijn op het begin en het einde van de gecumuleerde curve. Deze methode kan worden aangevuld met een optionele methode om de piekwaarden te reduceren, zodat het effect van de grote invloed van extreme pieken wordt vermeden. In die zin worden de piekwaarden onder een bepaald niveau, d.w.z. een percentiel van de pieken, gebracht.
De "concentratie"-methode, oorspronkelijk voorgesteld door Galán et al. (2001), definieert de seizoensafhankelijkheid eenvoudigweg als een bepaald aantal dagen dat een bepaalde drempelwaarde voor de pollenconcentratie overschrijdt.
Een voortschrijdend gemiddelde kan vooraf worden toegepast op de data van de pollenconcentratie om de algemene seizoensgebondenheid van de pollencurve te verkrijgen en zo de grote variabiliteit van de dagelijkse schommelingen te vermijden.
De "klinische" of "EAACI"-methode, oorspronkelijk voorgesteld door (Pfaar et al. (2017) en recentelijk herzien door (Bastl et al. (2022)is gebaseerd op de consensus van de EAACI-deskundigen (*European Academy of Allergy and Clinical Immunology*) met betrekking tot de blootstelling aan pollen in relatie met het symptomatische risico van allergische patiënten. De begin- en einddata van een seizoen worden gedefinieerd als een bepaald aantal opeenvolgende dagen binnen een periode waarbij een bepaalde pollendrempel overschreden wordt en waarvan de som boven een bepaalde som ligt. Deze definitie is bedoeld om de cumulatieve blootstellingsdagen weer te geven, die nodig zijn om de ontstekingsreactie bij allergische patiënten op gang te brengen, dit is bijzonder nuttig voor een patiëntgerichte aanpak.

- **Eenheid**

Kalenderdagen of aantal dagen

- **Databron**

Sciensano, dienst Mycologie en Aerobiologie (www.airallergy.be)

- **Referentie literatuur**

Zie de referenties in de omschrijving van de indicatoren.

- **Gezondheidsrisico waarmee de indicator gerelateerd is (of kan worden)**

Terwijl de intensiteitsparameters van de blootstelling aan aeroallergenen kunnen worden beïnvloed door de nabijheid van de omringende vegetatie in de buurt van het meetpunt, hangen de tijdsparameters van de pollenseizoenen ook nauw samen met het klimaat en zijn uit klinisch oogpunt even relevant. Deze parameters zijn heel belangrijk voor zowel de allergische patiënten als de gezondheidswerkers. Een doeltreffende monitoring van de aanwezigheid van symptomen en aeroallergenen kunnen voor een optimale en aangepaste behandeling zorgen. De kosten voor de behandeling van een ademhalingsallergie zijn meer afhankelijk van de duur van de blootstelling aan de aeroallergenen dan aan de intensiteit ervan.

- **Aard van de indicator (gevaar, blootstelling, kwetsbaarheid, aanpassingsvermogen)**

Voor een standaard seizoensdefinitie vormt de variabele, regionale situatie vaak een belemmering. Klimaatverandering heeft een bijzondere invloed op de pollenseizoenen en uit een recente langlopende aërobiologische studie is gebleken dat de definities die voor de seizoensparameters worden gebruikt, een cruciale invloed hebben op de trendresultaten. Retrospectieve studies, waarbij een verband wordt gelegd tussen klimaatveranderingen en de stuifmeelconcentraties, neigen er veeleer toe de “percentage" methode te gebruiken.

Recente klinische studies maken echter meer en meer gebruik van de "EAACI" methode, vooral omdat voor de klinische monitoring in real time niet tot het einde van het seizoen behoeft te worden gewacht om de API te kennen.
De pollenconcentraties bereiken echter niet in alle regio's hetzelfde niveau en hebben een verschillend effect op de allergische bevolkingsgroepen. Daarom lijkt de poging van Bastl et al. (2022) om de EAACI-seizoensdefinitie om te zetten in een meer uitgewerkte en verfijnde percentage-definitie veelbelovend voor de toepassing van zowel voorspellingen als retrospectieve analyses. Dit kan van groot belang zijn bij studies naar gezondheidseffecten in verband met klimaatverandering.

- **Gewenste of te verwachten trend i.f.v. klimaatverandering (toename/afname/stabiel)**

Uit een recente studie van pollenmonitoring op lange termijn, uitgevoerd in de Benelux (de Weger et al., 2021), bleek dat de meeste boomsoorten een algemene tendens vertoonden naar een vroeger begin- en eindpunt van het pollenseizoen. De bloeitijd van grassen (Poaceae) vertoonde ook een tendens naar een vroeger en significant langer seizoen.

- **Horizontaal bereik (ruimtelijke resolutie of evt. aandachtsgebieden)**

Zie het beschreven horizontaal bereik voor de gemiddelde dagelijkse pollenconcentratie.

- **Tijdbereik (voor welk jaar meest recente data)**

Zie het beschreven tijdbereik voor de gemiddelde dagelijkse pollenconcentratie.

- **Update frequentie**

Dagelijkse, wekelijkse of jaarlijkse updates en dit afhankelijk van de gekozen methode.

Motivatie voor selectie

Zoals de API/SPI indicator zijn deze tijdsindicatoren waarschijnlijk de meest relevante om te gebruiken voor statistische analyses op lange termijn in de context van een klimaatveranderingsstudie.

➔ Pollen van planten bestoven door de wind: allergeniciteit

- **Naam indicator**

Concentratie van allergenen in de lucht
Allergeenpotentie van het stuifmeel

- **Omschrijving**

Allergeenmoleculen in de lucht worden aangetroffen in submicronische druppeltjes of gesuspendeerd in stofdeeltjes. Detectie, hoofdzakelijk met immunologische methoden, omvat zowel de studie van de allergeendragers (stuifmeelkorrels, schimmelsporen, orbiculen, enz.) als van de vrije allergenen. Bovendien maakt pollenkwantificering het mogelijk de hoeveelheid allergenen te evalueren die door elke pollenkorrel geproduceerd wordt, met andere woorden de "allergeenpotentie" (niet te verwarren met allergeniciteit, die ook door andere componenten beïnvloed kan worden). Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) bleek in staat te zijn de allergeenbelasting van luchtmonsters met hoge gevoeligheid (van pg tot ng/m³) te kwantificeren. Bemonstering kan worden uitgevoerd in droge omstandigheden met *high-volume samplers* (Chemvol impactor) of met *low-volume samplers* (cyclone van Burkard Manufacturing co.), of in natte omstandigheden (Coriolis van Bertin Instruments), of zelfs volgens de Hirst-methode.

De detectie is beperkt tot de moleculaire allergenen waarvoor monoklonale antilichamen beschikbaar zijn, d.w.z. Amb a 1&2, Art v 1, Bet v 1, Lol p 1, Ole e 1, Par j 1&2, Phl p 1&5 en Pla a 1. Het allergeengehalte van de lucht kan worden gemeten in hele luchtmonsters of in afzonderlijke fracties PM_{10}, $PM_{2.5-10}$ of $PM_{0.1-2.5}$, afhankelijk van de bemonsteringsmethode.

- **Eenheid**

Allergenenconcentratie: µg/m³ lucht
Allergeenpotentie: µg/pollenkorrel

- **Databron**

De gegevens voor deze indicator kunnen worden gegenereerd door de dienst Mycologie in Aerobiologie van Sciensano.

- **Referentie literatuur**

Buters et al., 2015; Cabrera et al., 2021; Tegart et al., 2021

- **Gezondheidsrisico waarmee de indicator gerelateerd is (of kan worden)**

Het is bekend dat de pollenconcentratie in de lucht goed gecorreleerd is met het risico op symptomatische allergie. Het grootste deel van het moleculaire allergeengehalte in de lucht wordt namelijk aangetroffen in de >PM_{10}-luchtfractie, wat overeenkomt met de grootte van stuifmeelkorrels (Buters et al., 2015). Ongeveer 10% van de allergeeninhoud wordt slechts waargenomen in de kleinere $PM_{2.5-10}$ fractie. Stuifmeelkorrels produceren echter geen moleculaire allergenen in hetzelfde tempo, wat een vertekening kan veroorzaken in de relatie tussen de pollenconcentratie en het allergierisico.

De allergeenpotentie van het stuifmeel in de lucht kan variëren afhankelijk van de regio's, de periode van het seizoen, de atmosferische verontreinigende stoffen, de luchtvochtigheid en de stormperioden (Tegart et al., 2021). Kortom, de meting van moleculaire allergenen in de lucht vormt een aanvulling op de kwantificering van stuifmeelkorrels en kan nuttig zijn om de algemene allergeniciteit van pollen te begrijpen. Deze indicator kan ook helpen bij het verklaren van het optreden van voorseizoengebonden allergiesymptomen, vooral wanneer dit optreedt wanneer de blootstelling aan pollen bijna nihil is en de blootstelling aan verontreinigende stoffen hoog (Cabrera et al., 2021).

- **Aard van de indicator (gevaar, blootstelling, kwetsbaarheid, aanpassingsvermogen)**

Deze indicator moet tot dusver met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden. Ondanks de verschillende waarnemingsstudies op korte termijn die reeds gepubliceerd werden, werd geen duidelijke relatie gevonden tussen de omgevingsvariabele en de allergeenpotentie. Verschillende studies vertonen inconsistente resultaten.
Het is eveneens belangrijk op te merken dat de allergeniciteit van het stuifmeel niet alleen afhangt van de allergeenpotentie. Een vertekend gezondheidsrespons kan waargenomen worden door interacties met afgeleide verbindingen van pollen zoals plantenvezels, PALM's, adenosine, residente bacteriën op pollenkorrels, enz.

- **Gewenste of te verwachten trend i.f.v. klimaatverandering (toename/afname/stabiel)**

Gezien het gebrek aan langetermijndata over moleculaire allergenen in de lucht en de waargenomen niet-systematische geospatiale variatie in de allergeenpotentie van pollen, is het tot dusver niet mogelijk om het effect van klimaatverandering op de allergeniciteit van pollen met een dergelijke

indicator formeel te extrapoleren. Talrijke studies hebben echter aangetoond dat meteorologische factoren, waaronder temperatuur en vochtigheid, van invloed kunnen zijn op de temporele en/of geografische variatie in de potentie van allergenen. Het is daarom waarschijnlijker dat de langetermijneffecten van klimaatverandering een effect kunnen hebben op de gemiddelde allergeenpotentie van het stuifmeel in de lucht.

- **Horizontaal bereik (ruimtelijke resolutie of evt. aandachtsgebieden)**

Een sensor van het Belgisch aërobiologisch meetnet bevindt zich in Brussel (50°49'27.5"N 4°22'60.0"E (50.824309, 4.383329)), maar kan eventueel naar een andere locatie worden overgebracht aangezien het apparaat volledig draagbaar is.

- **Tijdbereik (voor welk jaar meest recente data)**

Tot dusver is er geen historische databank beschikbaar.

- **Update frequentie**

Afhankelijk van de tijd die nodig is voor de bemonstering (dagelijks of wekelijks) en voor de analyse (1-2 dagen). Gezien de kosten, praktische beperkingen en reproduceerbaarheid van de analyses worden dagelijkse monsters in het algemeen bij -80°C opgeslagen en aan het eind van het pollenseizoen in één keer geanalyseerd.

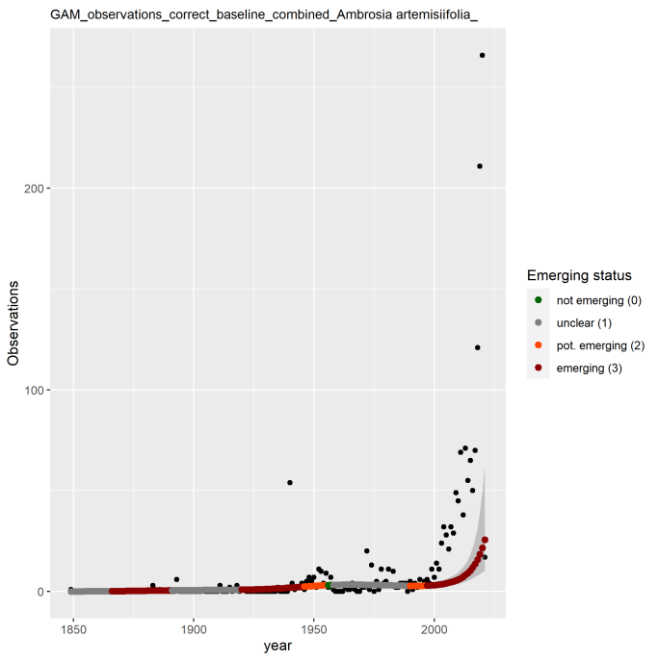
- **Motivatie voor selectie**

Hoewel de moleculaire allergeenconcentraties over het algemeen de gezondheidsuitkomsten beter kunnen voorspellen dan pollenconcentraties, brengen dergelijke analyses aanzienlijk hogere kosten met zich mee die waarschijnlijk niet gecorreleerd zullen kunnen worden aan de winst aan klinische gegevens voor de behandeling van de patiënt. De frequentie van de update van de resultaten van een dergelijke indicator is ook lager dan voor de monitoring van de pollenconcentratie, die dagelijks (Hirst-methode) of in real-time (next-gen automatische monitors) weergegeven kan worden.

➔ Surveillance van voorkomen en verspreiding van Ambrosia

Ambrosia is één van de soorten die in de 'Global Register of Introduced and Invasive Species' (GRIIS) voor België is opgenomen. Dit register bevat informatie over 3.000+ gevalideerde niet-inheemse taxa in België en dient als nationale referentie voor het Global Register of Introduced and Invasive Species (Pagad et al., 2018). Binnen het Belspo-BRAIN TrIAS-project[19] zijn verspreidingskaarten afgeleid voor verschillende invasieve uitheemse soorten, waaronder ambrosia-soorten. Het TrIAS-project is opgezet in het kader van hat Nationaal Adaptatie Plan om klimaatverandering mee te nemen in de risicoanalyse voor invasieve uitheemse soorten. Het linkerpaneel van Figuur B-1 toont een tijdreeks van (niet-systematische) waarnemingen in België.

[19] https://trias-project.github.io/risk-maps/



Figuur B-1: Voorkomen van ambrosia: tijdsreeks van observaties in België (TrIAS). Bron : INBO.

OMGEVINGSINDICATOREN I.V.M. GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN SCHIMMELS

➔ Schimmels in buitenmilieu

- **Naam indicator**

Gemiddelde dagelijkse (24h) sporenconcentratie.
Een gemiddelde resolutie van 2 uur is technisch mogelijk, maar wordt in België niet toegepast vanwege de daaruit voortvloeiende onzekerheden.

- **Omschrijving**

Voor de monitoring van schimmelsporen in de lucht wordt, zoals voor stuifmeelconcentraties, de standaard Hirst-methode (Hirst, 1952) ("CEN 16868:2019 - Ambient air - Sampling and analysis of airborne pollen grains and fungal spores for," n.d.) aangewend, die gebaseerd is op het gebruik van een volumetrische sensor (7-D volumetrische sporenval, Burkard Manufacturing co.). Deze bemonsteringstechniek lijkt meer aangepast aan het buiten- dan aan het binnenmilieu. Analyse van dergelijke schimmelsporen is echter een tijdrovende activiteit door enerzijds de hoge concentratie waarvoor ze meegevoerd worden in de lucht en anderzijds hun variabele morfologie. Bijgevolg zijn door de lucht verspreide schimmelsporen veel moeilijker te monitoren dan pollen en wordt hun aanwezigheid in de buitenlucht daarom routinematig minder bepaald.

- **Eenheid**

Sporen/m³ lucht

- **Databron**

Sciensano, dienst Mycologie en Aerobiologie (www.airallergy.be)

- **Referentie literatuur**

Grinn-Gofroń et al., 2019; Olsen et al., 2020

- **Gezondheidsrisico waarmee de indicator gerelateerd is (of kan worden)**

Zoals het geval is voor het stuifmeel: morbiditeit (en mortaliteit in veel zeldzamere gevallen) bij patiënten met inflammatoire luchtwegaandoeningen (IAD) zoals allergische rhinitis (AR), chronische rhinosinusitis (CRS), astma en chronische obstructieve longziekte (COPD).

- **Aard van de indicator (gevaar, blootstelling, kwetsbaarheid, aanpassingsvermogen)**

In België zijn de routinematig gemeten allergieverwekkende taxa: *Cladosporium* spp., *Alternaria* spp., *Botrytis* spp., *Stemphylium* spp., *Epicoccum* spp., Basidiospora (deze laatste enkel in het station van Brussel).
In tegenstelling tot het tellen van pollen brengt de extrapolatie die wordt toegepast op de analyse van de met sporen bedekte tape minder onzekerheden met zich mee (Galán et al., 2021). Dit kan verklaard worden door de grote hoeveelheden sporen in de lucht, waarvan aangetoond is dat er een directe correlatie bestaat met een geringere meetonzekerheid (Adamov et al., 2021).

- **Gewenste of te verwachten trend i.f.v. klimaatverandering (toename/afname/stabiel)**

Net als pollen in de lucht, hebben schimmelsporen sterke relaties met weer- en klimaatvariabelen, zoals blijkt uit verschillende studies op basis van de analyse van dagelijkse concentratiegegevens (Pace et al., 2019) of jaarlijkse/seizoensgebonden parameters (Paudel et al., 2021). Temperatuur lijkt een van de belangrijkste van deze variabelen te zijn (Grinn-Gofroń et al., 2019; Olsen et al., 2020). Ook de groei van *Alternaria* en de productie van sporen moeten uitgebreid onderzocht worden in het kader van toekomstige klimaatveranderingen. Er werd reeds gerapporteerd dat deze in toekomstige klimaatscenario's drastisch zullen veranderen, waarbij *Alternaria* sneller zal groeien maar waarschijnlijk minder sporen zal produceren, hetgeen wijst op een verandering in de levensloop van deze schimmel (Damialis et al., 2015).
Uit gegevens van de langst beschikbare tijdreeks van resultaten van het telstation van Brussel werden trends van afname voor *Alternaria* en *Cladosporium* en van toename voor Basidiospora waargenomen (Bruffaerts et al., 2020). In termen van seizoensgebonden verschuivingen werd, behalve voor Basidiospora in Brussel, geen significante trend van toename van de dagelijkse concentraties waargenomen. Omdat de temporele veranderingen minder snel verlopen dan bij pollen, is het een uitdaging om op basis van tijdreeksen van minder dan twee decennia de specifieke rol van klimaatverandering te evalueren in vergelijking met overlappende factoren zoals landgebruik en landbouwpraktijken.

- **Horizontaal bereik (ruimtelijke resolutie o**f evt. aandachtsgebieden)

De sensoren van het Belgisch aërobiologisch meetnet bevinden zich op de volgende geografische punten:

- Brussel: 50°49'27.5"N 4°22'60.0"E (50.824309, 4.383329)
- De Haan: 51°16'24.7"N 3°01'17.1"E (51.273540, 3.021406)
- Genk: 50°57'56.1"N 5°29'37.0"E (50.965569, 5.493620)

- **Tijdbereik (voor welk jaar meest recente data)**

Dagelijkse gegevens zijn beschikbaar tijdens het sporenseizoen, d.w.z. van 1 januari tot 30 november, en over verschillende jaren:

- Brussel: van 1982 tot op heden
- De Haan: van 2001 tot op heden
- Genk: van 2014 tot op heden

- **Update frequentie**

Dagelijkse update voor Brussel
Wekelijkse update voor De Haan en Genk

- **Motivatie voor selectie**

Zoals voor het stuifmeel is deze indicator gebaseerd op een gestandaardiseerde methode in Europa. Er een sterke wetenschappelijke basis, die de causale correlatie met de waarneming van allergiesymptomen ondersteunt.

- **Bijkomende aandachtspunten**

De stuifmeelgerelateerde methoden om jaarlijkse/seizoensgebonden parameters te genereren, zoals hierboven beschreven, kunnen worden toegepast op schimmelsporen, b.v. ASI/SSI (*Annual Spore Integral*/*Seasonal Spore Integral*). De parameters voor seizoentiming zijn echter in het algemeen beperkt tot de "percentage"-methode.

➔ Schimmels en biocontaminanten in binnenmilieu

- **Naam indicator**

Schimmelgehalte in de lucht en aan de oppervlakte
Aanwezigheid van biocontaminanten

- **Omschrijving**

De aanwezigheid van schimmels kan zowel nagegaan worden in woningen, maar ook in andere types van gebouwen waaronder kantoren, scholen en kinderdagverblijven. Verder worden er eveneens analyses uitgevoerd in specifieke sectoren zoals de landbouwsector of in afvalverwerkingsbedrijven. In tegenstelling tot de bewaking van bioaërosolen in het buitenmilieu, bestaat er nog steeds geen eenvoudige of standaard detectiemethode voor de routinematige bewaking van de luchtkwaliteit in het binnenmilieu. De aanwezigheid van schimmels in het binnenmilieu wordt beoordeeld met behulp van specifieke technieken waarbij de bemonsteringsapparatuur, de kweekmedia en de incubatieparameters van cruciaal belang zijn. In België heeft Sciensano een protocol ontwikkeld voor microbiologische onderzoeken binnenshuis (Packeu et al., 2012). Luchtbemonstering wordt uitgevoerd met een RCS+ impactor (Biotest, 80L) en worden gedurende 5 dagen bij 25°C geïncubeerd op HS-medium (met rozenbengaals chlooramfenicol en oligo-elementen) voor opsporing van mesofiele-hygrofiele schimmels en op M40Y (Moutextract gistextract 40% sucrose agar chlooramfenicol) voor xerofiele schimmels. Voor de monitoring van mesofiele bacteriën binnenshuis worden strips met TSA gebruikt en geïncubeerd bij 25°C.
Wat de opsporing van oppervlakteverontreiniging betreft, wordt neergeslagen stof rechtstreeks bemonsterd op RODAC (Replicating Organisms Direct Agar Contact) MC (malt agar met chlooramfenicol en oligo-elementen) plaatjes.
Het gebruik van verschillende bemonsteringstechnieken en het ontbreken van een gestandaardiseerd protocol maken het erg moeilijk om drempelwaarden vast te stellen voor het niveau van specifieke schimmelpartikels in de lucht die in het binnenmilieu aanwezig zijn. Men mag ook niet vergeten dat elke methode waarbij agar wordt gebruikt, alleen geldt voor levensvatbare kiemen. Schimmels kunnen dan worden geïdentificeerd met traditionele fenotypische identificatie, een moeilijk, moeizaam en tijdrovend proces.

- **Eenheid**

CFU/m³ lucht
CFU/25.5cm² RODAC-oppervlak

- **Databron**

De dienst Mycologie en Aerobiologie van Sciensano (https://indoorpol.wiv-isp.be/nl/default.aspx) beschikt over een grote expertise om de oorzaken van gezondheidsproblemen (potentieel gelinkt aan de aanwezigheid van micro-organismen, in dit geval voornamelijk schimmels) te achterhalen. De dienst Chemische en fysische gezondheidsrisico's van Sciensano evalueert het voorkomen van natuurlijke toxins in de voedselketen en de bijbehorende risico's voor de volksgezondheid. De potentiële gezondheidsrisico's worden binnen de wetenschappelijke dienst beoordeeld door de gevaren, geassocieerd met specifieke stoffen en blootstelling van verschillende consumentengroepen, te karakteriseren volgens de principes van risicobeoordelingsstrategieën.

- **Gezondheidsrisico waarmee de indicator gerelateerd is (of kan worden)**

Morbiditeit (en mortaliteit in veel zeldzamere gevallen) bij patiënten met inflammatoire luchtwegaandoeningen (IAD) zoals allergische rhinitis (AR), chronische rhinosinusitis (CRS), astma en chronische obstructieve longziekte (COPD).

- **Aard van de indicator (gevaar, blootstelling, kwetsbaarheid, aanpassingsvermogen)**

Zoals voor de buitenlucht worden de routinematig allergieverwekkende taxa geanalyseerd: *Cladosporium* spp., *Alternaria* spp., *Botrytis* spp., *Stemphylium* spp. and *Epicoccum* spp. Bovendien worden schimmels van de Aspergillaceae-familie (*Aspergillus* spp., *Penicillium* spp.) meestal in binnenmilieus gemonitord. Sporen van deze specifieke schimmels worden niet in de buitenlucht gemonitord vanwege hun lage concentratie en seizoensgebondenheid. De concentraties in binnenmilieus kunnen echter relatief hoog zijn. Er moet rekening worden gehouden met interferentie van de buitenlucht en schommelingen van de schimmelconcentraties in de tijd. Bijkomend kan de aanwezigheid van andere micro-organismen zoals bacteriën, thermos-actinomyceten, mijten en metabolieten zoals allergenen (Der p 1, Fel d 1), mycotoxines, microbiële vluchtige organische stiffen en endotoxins getraceerd worden.

- **Gewenste of te verwachten trend i.f.v. klimaatverandering (toename/afname/stabiel)**

Er bestaat bezorgdheid over schimmelgroei binnenshuis die verband houdt met de door de klimaatverandering veroorzaakte stijging van de luchtvochtigheid, vooral na extreme stormen en overstromingen. Er is inderdaad aangetoond dat atopisch astma en ademhalingsproblemen 30-50% vaker voorkomen in vochtige huizen (Mendell et al., 2011). Bovendien is het bij de huidige prognoses mogelijk dat mensen meer tijd binnenshuis zullen doorbrengen omdat extreme weersomstandigheden als gevolg van de klimaatverandering frequenter zullen voorkomen.

- **Horizontaal bereik (ruimtelijke resolutie o**f evt. aandachtsgebieden)

De controle op de aanwezigheid van schimmels en aanverwante verontreinigingen in binnenmilieus wordt uitgevoerd op basis van onderzoeken in werkplaatsen, kantoren en privéwoningen. Afhankelijk van de specifieke verzoeken, is de dienst gevestigd in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, Wallonië of in Vlaanderen.

- **Tijdbereik (voor welk jaar meest recente data)**

Sinds tientallen jaren worden monitoringstudies door Sciensano uitgevoerd. Sinds 2005 is er een databank met de resultaten van de surveys in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

- **Update frequentie**

De frequentie van de bijwerking van de gegevensbank is niet regelmatig, aangezien zij volledig afhangt van de geplande enquêtes.

- **Motivatie voor selectie**

De luchtkwaliteit binnenshuis wordt gewoonlijk beïnvloed door zowel verontreinigende stoffen uit de buitenlucht (O_3, NO_x, $PM_{2.5}$, enz.) als door extra verontreinigende stoffen uit bronnen binnenshuis (b.v. formaldehyde en andere organische verbindingen). Gezien we een groot deel van de tijd binnenshuis doorbrengen, vooral tijdens de koudste seizoenen, is het belangrijk rekening te houden met de totale blootstelling aan microbiologische verontreinigingen, die zich vooral thuis en op het werk voordoet.

- **Bijkomende aandachtspunten**

Binnen de dienst Mycologie & Aerobiologie van Sciensano is het eveneens mogelijk om specifiek materiaal voor omgevingsstudies te huren en worden er opleidingen gegeven over microbiële verontreinigende stoffen en gezondheid.

BIJLAGE C

Bijlage C geeft een overzicht van de omgevingsindicatoren i.v.m. infecties en voedseloverdraagbare ziekten. Citizen Science (CS), de samenwerking tussen traditionele wetenschap en burgerwetenschap, kan kunnen helpen de verspreiding van vectoren zoals muggen en teken beter in kaart te brengen (Eritja et al., 2021; Lewis et al., 2018). Citizen science maakt het immers mogelijk om gegevens over de temporele en ruimtelijke context te verbreden, wat resulteert in een meer flexibele en meer kosteneffectieve bemonsteringsstrategie voor invasieve muggensoorten (Eritja et al., 2021). CS-programma's zoals "Mosquito Alert" en "Muckenatlas" in Spanje en Duitsland zijn effectieve manieren voor wetenschappers om de dichtheid van muggen in verband te brengen met de verspreiding van ziekten (Eritja et al., 2021; Pernat et al., 2021). In België kan via de websites www.muggensurveillance.be en TekenNet, nu reeds elke burger, respectievelijk, een gespotte tijgermug of een opgelopen tekenbeet, melden. Via HBM-campagnes zou de bewustwording voor deze CS-projecten bij deelnemers vergroot worden.

BIJLAGE D

Bijlage D geeft een overzicht van beleidsrelevante niet-omgevingsindicatoren.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Respiratoire en cardiovasculaire aandoeningen - luchtkwaliteit - rook van natuurbranden; Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen - natuurbranden				
Bewustwording brandgevaar bij de bevolking, bezoekers van natuurgebieden en zeker bij de bevolking die woont in brandgevoelige woonzones (WUI).	In de meeste gevallen ontstaat een natuurbrand door menselijk toedoen		**4**	Niet-omgevingsindicator; Dit is een belangrijke verklarend parameter in het begrijpen van de evolutie van blootgestelde bevolking aan rookpluim natuurbranden
Hittegerelateerde aandoeningen				
Bewustwording gevolgen hittestress en persoonlijke maatregelen	Hitte-actieplannen zijn heel effectief in het milderen van de gevolgen van hittestress		**4**	Niet-omgevingsindicator; Sterk beleidsrelevant.
UV-gerelateerde ziekte en sterfte - kanker, staar, zonnebrand				
Tijd die mensen buiten doorbrengen tijdens UV-index "moderate" en hogere waarden.	Enkel buitenshuis verhoogt het risico op negatieve gevolgen door UV-straling	Onderscheid maken tussen locaties in de zon (strand, buitensport) en locaties in de schaduw (bos, park, terrasjes :-))	**4**	Niet-omgevingsindicator; Belangrijke verklarende indicator maar databeschikbaarheid heel onzeker.
Bewustwording effecten van onbeschermde blootstelling aan UV-straling (korte en lange-termijn effecten). Aandacht voor "verstandig zongedrag"	Een goede bewustwording verhoogt de intrinsieke motivatie voor het gebruik van zonnecrème en het vermijden van blootstelling gedurende de zonnigste uren van de dag		**4**	Niet-omgevingsindicator; Belangrijke preventieindicator. Eventueel te integreren met indicator "gebruik van zonnecrème/hoed"
Tijd die kinderen onbeschermd buiten doorbrengen tijdens UV-index "moderate" en hogere waarden	Kinderen hebben een extra gevoelige huid en huidverbranding in de jeugd kan op latere leeftijd aanleiding geven tot huidkankers		**4**	Niet-omgevingsindicator; Belangrijke verklarende indicator maar databeschikbaarheid heel onzeker. Te integreren met bovenstaande.
Hittegerelateerde aandoeningen, verminderde arbeidsproductiviteit - hitte				
Aandeel ouderen en personen met onderliggende gezondheidsproblemen aan het werk tijdens periodes met hoge WBGT-waarden (buiten en binnen) volgens type werk (licht, halfzwaar, zwaar, zeer zwaar)	Oudere personen hebben over het algemeen een mindere fysieke conditie	Voorzien in Klimaatportaal in najaar 2022 (Vlaanderen dekkend, huidige situatie op een warmste dag in een gemiddeld jaar + op de warmste dag in 20 jaar). Resolutie 1m.	**4,5**	Niet-omgevingsindicator; Te integreren tot één arbeids blootstellingsindicator

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Mediaan	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Aantal bedrijven die adaptatiemaatregelen zoals aanpassing van werkuren, extra rustpauzes, watervoorziening, installatie verkoeling, aangepaste kledij toepassen tijdens hittegolven	Tijdens dagen met extreme hittestress moeten de arbeidsomstandigheden worden aangepast		**4**	Niet-omgevingsindicator; Te integreren tot één arbeids hitte-adaptatie-indicator.
Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen - hitte				
Aantal verkeersongevallen tijdens hittegolven	Het risico op auto-ongevallen is verhoogd tijdens hittegolven. Dit wordt veroorzaakt door enerzijds verminderde concentratie en slaperigheid bij de chauffeur maar anderzijds ook door meer voertuigproblemen tijdens hittegolven (oververhitting, bandenpech, klapband)	Basagaña X, Escalera-Antezana JP, Dadvand P, Llatje Ò, Barrera-Gómez J, Cunillera J, Medina-Ramón M, Pérez K. 2015. High ambient temperatures and risk of motor vehicle crashes in Catalonia, Spain (2000–2011): a time-series analysis. Environ Health Perspect 123:1309–1316; http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1409223	**4**	Niet-omgevingsindicator; Belangrijke verklarende indirecte indicator

BIJLAGE E

Bijlage E geeft een overzicht van beleidsrelevante optionele omgevings- en niet-omgevingsindicatoren.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Vectoroverdraagbare ziekten - teken			
Voorkomen van teken (Ixodes ricinus of andere soorten)	Voorkomen van teken is een noodzakelijke voorwaarde voor ziekte van Lyme of andere tekengerelateerde ziektes. Er is een relatie tussen temperatuur en tekenactiviteit.	1) Hoewel een voldoende hoge temperatuur een voorwaarde is voor het voorkomen van teken, en de populaties hierdoor van jaar tot jaar kunnen verschillen, is de impact van klimaatverandering op de prevalentie van de ziekte van Lyme niet eenvoudig lineair gerelateerd aan alleen de temperatuur, waardoor het moeilijk te voorspellen is of het voorkomen van de ziekte zal toenemen als gevolg van klimaatverandering, en in welke mate. 2) Vaststelling van ziektebeelden is proxy voor de aanwezigheid van teken maar is geen omgevingsindicator. Indicator moet focussen op vastgestelde aanwezigheid van teken in hun habitat.	Aanwezigheid van teken (I. Ricinus) is een noodzakelijke maar geen voldoende voorwaarde. Slechts relevant in de mate dat de teken ook besmet zijn (bv. Borrelia burgdorferi en/of TBE). Bovendien komen teken nu al voor in alle geschikte habitats, dus voorkomen ervan is geen geschikte indicator voor een evolutie. Kan wel nuttig zijn voor teken die nog niet (veel) voorkomen maar wel zouden kunnen toenemen als gevolg van klimaatverandering (bv. Hyalomma marginatum) of naar dierspecifieke teken die normaal geen mensen bijten maar wel de ziekte cyclus binnen gastheerpopulaties in stand houden (bv egelteek Pholeoixodes hexagonus).
Mate waarin teken drager zijn van Borrelia burgdorferi (incl. verdeling van de genosp.), TBE en /of andere zoöonotische ziekteverwekkers.	Besmetting van teken met Borrelia is een noodzakelijke voorwaarde voor het ontstaan van de ziekte van Lyme bij gebeten individuen. In de literatuur zijn er weinig duidelijke indicaties dat het % besmette teken zou toenemen bij klimaatverandering.	1) In de huidige situatie is slechts een beperkt deel van de teken drager, en niet elke beet door een geïnfecteerde teek leidt tot besmetting. 2) Nadruk ligt op ziekte van Lyme. Tekenencefalitis komt op dit moment humaan slechts sporadisch voor in België, maar wordt wel in toenemende mate gedetecteerd bij de wilde fauna. Er wordt wel verwacht dat TBE gaat toenemen, net zoals andere ziekteverwekkers die door teken worden overgedragen.	Het gevaar wordt in hoge mate bepaald door de mate waarin de teken ook besmet zijn. Naast Lyme ook TBE op te volgen. Is zeker een waardevolle omgevingsindicator met relevantie voor gezondheid, maar de relatie met klimaatverandering zou beter onderbouwd moeten worden.
Vectoroverdraagbare ziekten - muggen			
Mate waarin inheemse muggen besmet zijn met ziekteverwekkers (bv. Westnijlvirus in Culex spp.)	Besmetting van inheemse muggen met 'nieuwe' ziekteverwekkers waarvan het voorkomen klimaatgerelateerd is kan zorgen voor de verspreiding van die ziekten.	Screenen naar virussen (vb. WNV) in inheemse muggen (Culex) is nuttiger dan in de invasieve muggen. In tegenstelling tot virussen overgedragen dr invasieve muggen, kan WNV al circuleren in België in trekvogels en inheemse Culex muggen en gezien de opkomst van het virus in buurlanden lijkt de kans groot dat het ook al in ons land circuleert.	Is relevant, maar screenen van potentiële gastheren (bv. vogels) geeft ook informatie en is eenvoudiger (zie indicator 24).

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Mate waarin exotische muggen (bv. Aedes spp) besmet zijn met ziekteverwekkers (bv. denguevirus, chikungunyavirus)	Besmetting van tropische muggen is een noodzakelijke voorwaarde voor het overdragen van tropische ziektes. Op zich niet direct gerelateerd aan klimaatverandering maar wel belangrijke contextvariabele.	De kans dat de invasieve muggen besmet zijn als ze België binnenkomen is klein. De virussen komen enkel België binnen via reizigers. Een goede epidemiologische opvolging moet gelinkt worden met de monitoring van invasieve muggen. Deze muggen worden enkel besmet door geïnfecteerde reizigers te steken.	Zolang de ziekte niet endemisch is is het eenvoudiger en belangrijker om de eventuele vestiging van exotische muggen op te volgen (zie indicator 21). Besmettingen gebeuren meestal via reizigers dus besmetting van muggen die hier worden aangetroffen is op dit moment geen goede indicator.
Gemiddelde wintertemperatuur	Heeft invloed op overleving tijdens winter en dus vestigingskans van tropische muggen. Neemt toe bij klimaatverandering.	Gemiddelde wintertemperatuur in steden mogelijk interessant als aparte variabele. Hier zullen immers snelle geschikte omstandigheden voor overleving van exemplaren voorkomen.	Extreme koude waarschijnlijk betere indicator voor het niet-overleveren. Ook beter focus op steden dan algemeen. Aangepaste indicator zou kunnen zijn "aantal extreme vorstdagen in stedelijke omgeving". Hoe minder vorstdagen, hoe groter kans op overleven (= hypothese die via de monitoring kan getest worden).
Aantal toepassingen van larvicides door de overheid op gekende broedplaatsen om invasieve muggen te bestrijden.	Gerichte bestrijding door de overheid kan voorplanting van invasieve muggen helpen tegengaan.		Is enerzijds een maat voor het voorkomen van invasieve muggen, anderzijds ook een variabele die helpt evoluties in incidentie van muggengerelateerde ziekten te verklaren. Contextvariabele, maar sterk gecorreleerd met ID25 en daardoor minder relevant in termen van bijkomende informatie.
Wateroverdraagbare ziekten			
Aantal dagen per jaar die geschikt zijn voor infectie met Vibrio	Gerelateerd aan saliniteit en temperatuur. Temperatuur wordt bepaald door klimaatverandering.	Gerelateerd aan indicator "Aandeel kustlijn geschikt voor transmissie van Vibrio-bacterie".	Geschiktheid' nader te definiëren. Toe te passen op zowel kust als estuaria.
Saliniteit van het kustwater	Saliniteit van kustwater waarschijnlijk weinig beïnvloed door klimaatverandering, kan in estuaria wel relevant zijn. Contextvariabele.	Gerelateerd aan indicatoren "Aandeel kustlijn geschikt voor transmissie van Vibrio-bacterie" en "aantal dagen per jaar die geschikt zijn voor infectie met Vibrio".	Saliniteit van kustwater weinig variabel, maar saliniteit van estuaria (m.n. Schelde) kan wel beïnvloed worden en daardoor geschiktheid wijzigen (niet noodzakelijk in positieve zin). Contextvariabele.
Frequentie van water-op-straat-events.	Klimaatverandering kan leiden tot intensere neerslag en dus (in afwezigheid van maatregelen) tot het overstromen van de rioleringen op de straat (bij verzadiging). Dit kan leiden tot contact van mensen met vervuild rioolwater.	Gerichte technische maatregelen (bv. gescheiden rioleringen) kunnen belang en frequentie van dit soort gebeurtenissen helpen reduceren.	Klimaat- en gezondheidsgerelateerd.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Klimaatgerelateerde beperkingen in levering van drinkbaar water	Klimaatverandering kan beperkingen opleggen aan zowel kwaliteit als kwantiteit van ruwwaterbronnen. Dit kan leiden tot een verminderde beschikbaarheid van drinkwater van goede kwaliteit, wat gezondheidseffecten kan veroorzaken.	Zie ook indicator "Contaminatie van de ruwwaterbronnen gebruikt voor drinkwaterproductie"	Impact op levering (beschikbaarheid) zal vermoedelijk weinig voorkomen gezien de maatregelen die de drinkwatermaatschappijen (kunnen) nemen. Het aantal malen dat aan de gebruikers een gebruiksbeperking wordt opgelegd vanuit de overheid is mogelijk een interessantere indicator.
Toxische effecten - blauwalg			
Waterkwaliteit (voedselrijkheid)	Verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties. Bij (klimaatgerelateerde) droogte kan waterkwaliteit ook achteruitgaan.	Voedselrijkheid van het water is proxy voor het mogelijk voorkomen (gevaar) van blauwalgen.	Noodzakelijke voorwaarde voor bloei van blauwalg maar waterkwaliteit hangt lang alleen niet van klimaatverandering af.
Gebrek aan stroming	Droogte (als gevolg van klimaatverandering) kan leiden tot lagere debieten op met name kanalen, waar schutbeperkingen van toepassing kunnen zijn. Dit schept mee de nodige voorwaarden voor ontwikkeling van blauwalgen.	Gebrek aan stroming is proxy voor het mogelijk voorkomen (gevaar) van blauwalgen; in de eerste plaats relevant voor kanalen.	Belangrijke voorwaarde voor ontwikkeling; kan met name op kanalen relevant zijn.
Recreatief gebruik van waterplassen (zwemmen, vissen, watersporten)	Recreatief gebruik van oppervlaktewater kan toenemen bij een warmer klimaat. In omstandigheden waarbij blauwalgen aanwezig (kunnen) zijn, verhoogt dit de blootstelling.		Kan beïnvloed worden door klimaatverandering en kan potentiële blootstelling aan o.m. blauwalg vergroten.
Allergieën - aeroallergenen - pollen			
Lengte van pollenseizoen	Lengte van pollenseizoen wordt meebepaald door temperatuur en dus klimaatverandering. Voor de meeste species is voorjaarstemperatuur relevant. Pollenseizoen van Ambrosia valt samen met nazomer.	Bruikbaar voor monitoring op langere termijn (vermits slechts ex-post gekend). Als de monitoring ook als early warning moet dienen is de <u>start van het pollenseizoen</u> geschikter. In beide gevallen definiëren wat met “pollenseizoen” bedoeld wordt (welke species bv: els, berk, plataan, …). Aerts et al.: “*wijzigingen in de lengte van het pollenseizoen tot een toename met 44% van het pollenrisico zou kunnen leiden, terwijl een (klimaatgestuurde) toename van de allergeniciteit van bomen als plataan, es, beuk, eik en haagbeuk tot een toename van 11 tot 27% zou kunnen leiden. In dergelijke scenario’s zou het allergierisico kunnen verdubbelen*”.	Zit reeds vervat in pollencyclus en pollenmetingen. Communicatief gezien wel een interessante indicator.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Aantal huizen met een chronisch vochtprobleem als gevolg van overstromingen of van gestegen grondwaterstanden in poldergebieden.	Variabele heeft niet noodzakelijk een relatie met klimaatverandering, kan wel het gevolg zijn als huizen vochtiger worden door overstromingen of stijgende grondwatertafel (als gevolg van bv. zeespiegelstijging).	1) Vaststellen van "chronisch vochtprobleem" allicht niet evident op schaal Vlaanderen. Alternatieve indicator zou kunnen zijn "aantal huizen in recent overstroomde gebieden en in polders die te kampen hebben met stijgende grondwaterstanden". 2) Indicator heeft betrekking op huizen die ondanks vochtprobleem of recente overstroming niet onbewoonbaar worden verklaard of worden gesloopt.	Relatie met gezondheid en met klimaatverandering, maar moeilijk te definiëren/identificeren
Cardiovasculaire aandoeningen - hitte			
aantal hittegolfgraaddagen	Het gaat om de som van de overschrijdingen van de dagelijkse maximumtemperatuur boven de drempel van 29,6 °C, samen met de som van de overschrijdingen van de dagelijkse minimumtemperatuur boven de drempel van 18,2 °C.	Wordt ook gebruikt in het VMM-klimaatportaal	Beschikbare dataset met geïntegreerde bijdrage van dagelijkse en nachtelijke hittestress.
Afstand tot koelte-locatie (gebouwen met airco, voldoende groot park)			Sterk beleidsrelevant. Evaluatie of dit samengenomen worden tot één hitte omgevingsindicator
Installatie van schaduwdoeken en nevelinstallaties in wachtrijen (pretparken, toeristische attracties, …)	Voorkomen van oververhitting		Verder te onderzoeken of dit kan uitgebreid worden tot een meer algemene toeristische hitte adaptatiemaatregel inclusief andere maatregelen (waterbedeling, …)
Aandacht voor zomer absenteïsme in arbeidsplanning, arbeidsreglement en welzijn werknemers			Niet-omgevingsindicator; Misschien te integreren tot één indicator "Vermogen tot adaptatie" m.b.t. arbeid tijdens warme periodes
Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen - overstromingen			
Aantal industriële bedrijven met potentieel gezondheidsrisico in overstromingsgebied.	Maat voor de kans dat chemicaliën e.d. in het water aanleiding geven tot acute of chronische gezondheidseffecten, eventueel ook na terugtrekken van het water (via slib en bodem).	Potentieel overstromingsgebied dan wel daadwerkelijk overstroomd debiet. Hangt af van de doelstelling van de monitoring.	Twijfel over relevantie. Zie nochtans problemen die ontstaan zijn bij de overstromingen van de Vesder in 2021.
Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen - droogte			
Aantal huizen dat bij droogte verzakkingen kan ondergaan door krimp of inklinking van de bodems.	Droogte bij klimaatverandering kan aanleiding geven tot inklinking van bodems, met mogelijk verwondingen of sterfte tot gevolg.	Zie studie "gedrag van plastische gronden" -> kan op termijn doorwerken in kaartmateriaal Klimaatportaal (Jan van Roo). Te koppelen met VMM-studie over GW-standen?	Beter: aantal huizen dat verzakkingen 'ondergaat' ipv 'kan ondergaan'?

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Mentale gezondheid - extreem weer			
Mate van opvolging slachtoffers natuurbranden			Niet-omgevingsindicator; Een natuurbrand kan een trauma veroorzaken. Opvolging noodzakelijk.
Mate van zelfmoord detectie en preventie tijdens hittegolven	Extra aandacht voor zelfmoorddetectie/preventie tijdens periodes van hittegolven		Niet-omgevingsindicator; Mix van gezondheids- en welzijnsindicator. P.S. Opnames bij spoedeisende hulp voor psychiatrische aandoeningen is ook interessant
Mate van geweld detectie en preventie tijdens hittegolven	Extra aandacht voor gewelddetectie/preventie tijdens hittegolven		Niet-omgevingsindicator; blootstellingsindicator
Aantal schadegevallen aan gebouwen als gevolg van zwel-krimpfenomenen in bodems	Schade aan woningen kan een sterke mentale impact hebben op eigenaars of bewoners.	Eventueel ook gevaar- of blootstellingsindicatoren, bv. opp. woongebied gelegen op krimpgevoelige bodems.	Verder te onderzoeken of aantal getroffen landbouwers of getroffen areaal moet genomen worden. Voor de link met gezondheid is waarschijnlijk aantal landbouwers beter geschikt. Over het algemeen wel slechts heel indirecte link met gezondheid omwille van al of niet tussenkomst verzekering en verkoopsprijzen.
Aantal getroffen landbouwbedrijven door extreem weer	Meer frequent extreem weer kan leiden tot meer frequent mislukte oogsten	Landbouwareaal is beter dan aantal landbouwers (aantal actieve bedrijven zakt, areaal niet)	Verder te onderzoeken of aantal getroffen landbouwers of getroffen areaal moet genomen worden. Voor de link met gezondheid is waarschijnlijk aantal landbouwers beter geschikt. Over het algemeen wel slechts heel indirecte link met gezondheid omwille van al of niet tussenkomst verzekering en verkoopsprijzen.

BIJLAGE F

Bijlage F geeft een overzicht van (niet-) omgevingsindicatoren niet weerhouden in shortlist.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Vectoroverdraagbare ziekten - teken			
Oppervlakte loofbos (met ondergroei)	Bos met ondergroei is typisch tekenhabitat. Arealen zouden kunnen evolueren als gevolg van klimaatverandering (al dan niet beleidsgestuurd).	Na te gaan of 'bos met ondergroei' bruikbaar is als een aparte landgebruikscategorie bij inventarisatie (al dan niet op het terrein).	Aanwezigheid van bos is slechts een van de vele voorwaarden die moeten vervuld zijn om tot besmetting en ziekte te komen: mate van besmetting teken, blootstelling, aanwezigheid van gastheersoorten, … zijn minstens zo belangrijk. Bovendien is (uitgestrekt) loofbos zeker niet het enige geschikte habitat. Besmetting kan (onder de 'juiste' omstandigheden' net zo goed gebeuren in parken en tuinen.
Vegetatiedichtheid (NDVI)	Maat voor de geschiktheid van vegetatie als habitat voor teken (in functie van dichtheid en dus micro-klimatologische vochtigheid). Vegetatiedichtheid zou kunnen evolueren als gevolg van klimaatverandering (al dan niet beleidsgestuurd)	Vraag is in hoeverre NDVI een voldoende nauwkeurige maar is voor micro-klimatologische vochtigheid in de struik- en kruidlaag van de vegetatie.	Andere voorwaarden (gastheren, teken, tekenbeten en pathogenen) zijn minstens zo belangrijk als vegetatiedichtheid. Bovendien is NDVI niet voldoende specifiek (zegt weinig of niets over de dichtheid van bv de ondergroei in een bos) en is de bereikte resolutie onvoldoende.
Winterneerslag	Er bestaat een correlatie tussen natte winters en abundantie van teken in het voorjaar. Winterneerslag kan beïnvloed worden door klimaatverandering.	Algemene contextindicator die ook in relatie tot andere 'Gevaars' relevant kan zijn.	Vochtigheid in de leefomgeving van de teek is een belangrijk element van overleving en vitaliteit, maar winterneerslag is hier een onvoldoende betrouwbare proxy voor.
Lengte van de periode waarbij de laagste omgevingstemperatuur gemiddeld boven de 4°C ligt.	Maat voor de lengte van het tekenseizoen. Bij klimaatverandering zou die lengte kunnen toenemen.	Gerelateerd aan de indicator 'gemiddelde voorjaarstemperatuur'	Gerelateerd aan indicator 5 "gemiddelde t° in de maanden JFM" (geselecteerd mits aanpassingen), maar heeft weinig voorspellende waarde vermits de waarde van deze indicator slechts op het einde van het seizoen bekend is. Zou dan wel gebruikt kunnen worden om achteraf (over langere tijd gemeten) verbanden te kunnen vastleggen. Indicatoren 5 en 7 gaan beiden in op het temperatuureffect op tekenpopulaties, indicator 5 lijkt daarbij geschikter. Grens eerder op 7°C leggen i.p.v. op 4°C /uitdrukken als Growing Degree Days (GDD)

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Voorkomen van extreme weersomstandigheden (hitte, overstromingen, …) met impact op tekenhabitats	Naast gemiddelde temperatuur- en neerslagwaarden is ook het voorkomen van extreme weersomstandigheden (gerelateerd aan klimaatverandering) belangrijk voor het overleven van teken; bv. hitteperiodes en overstromingen hebben een negatieve impact op die overleving.		"Extreme weersomstandigheden" te onduidelijk gedefinieerd. Het zou waarschijnlijk vooral over droogte gaan, maar dat aspect wordt al afgedekt door indicator 8 (eventueel mits verhogen van temporele resolutie).
Voorkomen van kleine zoogdieren in stedelijk gebied	Kleine zoogdieren kunnen de rol van reeën deels vervullen in omgevingen waar geen reeën voorkomen. Relatie met klimaatverandering *an sich* is minder duidelijk, maar ruimtelijk klimaatbeleid (bv. vergroening, groenblauwe netwerken) kan hier wel een invloed op hebben.	Zie ook indicator 'Voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten (reeën, …)'.	Voorkomen op zich is niet zo relevant, want dat kan als een gegeven beschouwd worden. Aanwezigheid van bepaalde ziekteverwekkers bij dieren (gewervelden) kan eventueel wel relevant zijn, zeker als men dit uitbreidt tot zoönoses in het algemeen; in dat geval echter niet te beperken tot zoogdieren. Vermoedelijk weinig relatie met klimaatverandering als het om soorten als ratten of konijnen gaat.
Connectiviteit van stedelijk groen	In geïsoleerde groengebieden in stedelijke omgevingen komen minder teken voor; verbinding met andere groengebieden verhoogt de kans op behoud en verspreiding van populaties.	Betekenis van score zal verschillend zijn naargelang hij geïnterpreteerd wordt in termen van tekendichtheid dan wel van biodiversiteit. Relatie met voorkomen van gastheer- en reservoirsoorten.	Literatuur toont aan dat me name in dicht bebouwde gebieden dit een factor is die de verspreiding van gastheersoorten en dus van taken vergemakkelijkt. Infectiegraad van teken (en gastheren) is echter een meer directe indicator. Bovendien betere definitie van 'connectiviteit' en 'stedelijk groen' nodig.
Tijd die mensen recreatief doorbrengen in (potentieel) tekenhabitat	Tijd doorbrengen in tekenhabitat verhoogt de blootstelling. Bij een warmer klimaat bestaat de kans dat meer mensen meer tijd buitenshuis doorbrengen.		Hoewel blootstelling een van de belangrijkste factoren is voor besmetting valt deze indicator waarschijnlijk moeilijk te operationaliseren. Heldere definitie nodig van (potentieel) tekenhabitat. In de praktijk blijken veel mensen besmet te worden in parken en tuinen, wat mogelijk niet gepercipieerd wordt als potentieel tekenhabitat. Er kan aangenomen worden dat bij beter weer mensen meer tijd doorbrengen buitenshuis, zonder dat hiervoor een aparte indicator nodig is. Bovendien weinig voorspellende waarde; mogelijk wel bruikbaar om ex post verbanden duidelijk te maken.
Aantal mensen die beroepshalve tijd doorbrengen in tekenhabitat (natuurbeheerders, boswachters, groenwerkers, …)	Tijd doorbrengen in tekenhabitat verhoogt de blootstelling. Bij een warmer klimaat kan meer belang gehecht worden aan natuurontwikkeling en -beheer waardoor ook meer beroepsactiviteiten in die sector nodig zijn.		Dekt slechts een klein deel van de populatie, die ook nu reeds tot een risicogroep behoort. Het ligt voor de hand dat gevallen van bv. Lyme kunnen toenemen als deze groep groter zou worden, maar dit zeg niets over de risico's voor de grotere bevolking.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Densiteit aan groen in woonomgevingen (tuinen, parken, spoorbermen, …)	Beleidsmaatregelen in kader van klimaatadaptatie kunnen aanleiding geven tot meer groen in de bebouwde omgeving en dus tot een potentieel grotere kans op blootstelling.	Manier waarop het groen beheerd wordt (o.a. "natuurlijkheid" van het groen) is een belangrijke factor.	Densiteit van groen kan een rol spelen, maar de toegankelijkheid van dat groen en de manier waarop het beheerd wordt zijn belangrijker.
Toegankelijkheid van groen (bossen, natuurgebieden, …)	Toegankelijkheid is een belangrijk element voor blootstelling. Op zich weinig relatie met klimaatverandering, maar wel relevant als verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties.		Het meeste groen is sowieso toegankelijk. De manier waarop het toegankelijk groen beheerd wordt is belangrijker.
Communicatie rond de problematiek (ook in stedelijke omgevingen)	Op zich weinig relatie met klimaatverandering, maar wel relevant als verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties.		Niet-omgevingsindicator; Onder de aanname dat (besmette) teken op veel plaatsen te vinden zijn en dat tekenhabitat grotendeels toegankelijk is communicatie rond de problematiek (vooral op plaatsen waar die minder voor de hand lijkt te liggen, zoals in stedelijk groen) een belangrijke rol bij het verkleinen van de kans op een infectie. Geen directe relatie met klimaatverandering, maar wel belangrijk als verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties.
Mate waarin mensen hun gedrag aanpassen: aangepaste kleding, zelfcontrole, vermijden van bepaalde omgevingen, …	Op zich weinig relatie met klimaatverandering, maar wel relevant als verklarende co-variabele voor vastgestelde evoluties.		Niet-omgevingsindicator; Bepaalt mee de kans dat infecties zich voordoen, maar indicator zou preciezer omschreven moeten worden en valt waarschijnlijk moeilijk te meten.
Gemiddelde jaartemperatuur	Heeft invloed op zowel geschiktheid voor vestiging van tropische muggen als op vectorcompetentie van endemische muggen. Gemiddelde temperatuur neemt toe bij klimaatverandering	o.a. WNV maar ook andere virussen hebben ook een ontwikkelingsfase in de mug. Deze is bij uitstek temperatuur/tijd gerelateerd. Bij hogere temperaturen gaat het veel sneller en kan de mug ook voor een langere periode vector zijn. Dat is van belang omdat muggen een relatief korte levenscyclus hebben met ongeveer 3 bloedmaaltijden met telkens ongeveer 10 dagen tussen.	Verklarende variabele voor tal van fenomenen, in dit geval o.m. voor de kans op voorkomen/vestigen van tropische muggen. Is echter sowieso beschikbaar uit klimatologische gegevens, aparte monitoring niet nodig.
Vectoroverdraagbare ziekten - muggen			
Voorkomen van extreme weersomstandigheden (hitteperiodes, extreem natte periodes, …)	Er is een correlatie tussen (uitzonderlijke) neerslaghoeveelheden (en de resulterende wateroverlast/ overstromingen) en abundantie van muggen. Ook hittefenomenen kunnen een impact hebben.		"Extreme weersomstandigheden" niet voldoende duidelijk gedefinieerd en relatie met voorkomen van muggen niet ondubbelzinnig.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Voorkomen van geschikte broedplaatsen voor inheemse muggen (kunstmatige micro-habitats cfr. invasieve muggen) maar ook wetlands, ondiep open water, kleine waterlichamen, stilstaand, veel begroeiing, fluctuerend waterpeil, slechte waterkwaliteit, weinig predatoren) in of nabij woonomgevingen.	Uitbreiding van groenblauwe netwerken of natte natuur in kader van klimaatadaptatie kan bij afwezigheid van de juiste maatregelen geschikte broedomstandigheden creëren.	1) Het bestaan en gebruik van richtlijnen voor inrichting van natte gebieden zou een bruikbare proxy kunnen zijn. 2) Ook relevant: aandeel/aantal platte daken met stagnerend water, voorkomen van microhabitats als bloempotten, banden, depressies in verharde oppervlakten, ...Gezien de veelheid aan mogelijke locaties en de kleine afmetingen ervan waarschijnlijk moeilijk te inventariseren	Probleem is dat verschillende muggensoorten verschillende soorten broedplaatsen nodig hebben, waarvan vele (kleine recipiënten met water bv.) niet te identificeren vallen. Ook de term 'afstand tot bewoning' is niet voldoende duidelijk gedefinieerd. Een mogelijke proxy zou kunnen zijn: "mate waarin bij het realiseren van groenblauwe dooradering of groenblauwe ruimtes in woongebieden rekening gehouden wordt met maatregelen die de ontwikkeling van muggenpopulaties tegengaan" (zie ook ID 30).
Voorkomen van geschikte broedplaatsen voor invasieve (Aedes) muggen (kleine hoeveelheden stilstaand water zoals boomholtes, emmers, plantenpotten, riolen, vooral kunstmatige broedplaatsen) in of nabij woonomgevingen.	Microhabitats vormen geschikte broedplaatsen voor o.a. Aedes-muggen.	Gezien de veelheid aan mogelijke locaties en de kleine afmetingen ervan waarschijnlijk moeilijk te inventariseren	Nagenoeg niet te inventariseren, een volledig beeld zal nooit verkregen worden. Sensibilisatie rond dit thema wel belangrijk (maar staat los van monitoring)
Mate van (groen)blauwe dooradering van woongebieden	Uitbreiding van (groen)blauwe netwerken in kader van klimaatadaptatie kan stilstaand open water tot in de woonomgeving brengen.	Veel hangt af van de inrichting. Het bestaan en gebruik van richtlijnen voor inrichting van natte gebieden kan het potentieel effect aanzienlijk verkleinen. Te interpreteren in combinatie met vorige indicator (geschikte broedplaatsen).	Lage score, hoewel toch relatie. Eventueel te vervangen door (nieuwe) indicator "Mate waarin bij het realiseren van groenblauwe dooradering of groenblauwe ruimtes in woongebieden rekening gehouden wordt met maatregelen die de ontwikkeling van muggenpopulaties tegengaan" (zie ook ID28)
Gebruik van "muggenwaarschuwingen”	Kunnen de potentiële blootstelling verminderen. Niet direct klimaatgerelateerd, maar contextvariabele.		Niet-omgevingsindicator; Als indicator waarschijnlijk niet zeer representatief voor het gezondheidseffect. Veel hangt af van het gevolg dat eraan gegeven wordt. Anders gezegd: meer muggenwaarschuwingen kan betekenen "meer muggen" maar niet noodzakelijk mee beter/infecties.
Sensibilisering van burgers om larvale habitats (kleine hoeveelheden stilstaand water in de woonomgeving) te verwijderen.	Sensibilisering kan de hoeveelheid micro-habitats voor voortplanting van invasieve muggen helpen verminderen.		Niet-omgevingsindicator; Kan belangrijke beleidsmaatregel zijn, maar is op zich geen indicatie van een gezondheidseffect.
Gedrag: Gebruik van muskietennetten, aangepaste kleding, muggenspray, …	Kunnen de potentiële blootstelling verminderen. Zijn tegelijk een indicatie van het voorkomen van muggen. Niet direct klimaatgerelateerd, maar contextvariabele.		Niet-omgevingsindicator; Onrechtstreekse indicator voor het voorkomen van muggen en voor het bewustzijn van de bevolking.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Gedrag: vermijden van bepaalde omgevingen op bepaalde momenten van de dag	Kan de potentiële blootstelling verminderen. Niet direct klimaatgerelateerd, maar contextvariabele.		Niet-omgevingsindicator; Kan op zich een relevante verklarende variabele zijn, maar moeilijk op te volgen + 'bepaalde omgevingen' en 'bepaalde momenten van de dag' te vaag geformuleerd.
Wateroverdraagbare ziekten			
Aandeel kustlijn geschikt voor transmissie van Vibrio-bacterie.	Gerelateerd aan saliniteit en temperatuur. Temperatuur wordt bepaald door klimaatverandering.	Gerelateerd aan indicator "aantal dagen per jaar die geschikt zijn voor infectie met Vibrio".	Door sterke stroming aan kust is geschiktheid a priori eerder laag.
Consumptie van zeevruchten	Relatie met klimaatverandering eerder beperkt; contextparameter. Zomerse omstandigheden kunnen consumptie van bv. mosselen wel bevorderen.		Niet-omgevingsindicator; Indicator 40 is geschikter; niet alle consumptie leidt tot ziekte en voorspellende waarde is klein.
Belang van kusttoerisme	Klimaatverandering leidt tot warmer weer en meer hitte en zo een grotere aantrekkingskracht voor de kust. Kans op contact met ziekteverwekkers in het kustwater neemt daarbij ook toe.		Niet-omgevingsindicator; Relatie met ziekte te onrechtstreeks om bruikbaar te zijn.
Aantal zwemverboden of -beperkingen en lengte van het zwemverbod als gevolg van een slechte waterkwaliteit met kans op besmetting.	Niet rechtstreeks beïnvloed door klimaat, is proxy voor voorkomen van ziekteverwekkers.		Niet-omgevingsindicator; Proxy voor het voorkomen van ziekteverwekkers. Als indicator 46 wordt opgevolgd geeft deze waarschijnlijk weinig bijkomende informatie. Heeft wel als voordeel dat er korter op de bal wordt gespeeld. Eventueel lengte van het zwemverbod mee integreren in de indicator.
Jaarlijks neerslagoverschot	Jaarlijks neerslagoverschot heeft een relatie met afstroming en met vervuiling van het oppervlaktewater. Zal vermoedelijk afnemen bij klimaatverandering.	Impact van (zomerse) piekneerslag op afstroming is belangrijk in termen van intensiteit, maar minder in termen van duur en frequentie.	Link met gezondheidsimpact minder duidelijk te leggen.
Frequentie en intensiteit van extreme piekneerslag.	Klimaatverandering kan leiden tot intensere neerslag waarbij de kans groter is dat afvalwater in het oppervlaktewater terecht komt.	Ook de relatie tot (voorafgaande) droogteperiodes, gedurende dewelke vervuiling zich heeft kunnen concentreren op het land, is belangrijk. Zie ook indicator "frequentie van overstortevents".	Kan relevant zijn, maar sterke overlap met indicatoren 33 en 34, die een duidelijkere relatie hebben met de gezondheidseffecten
Droogte	Droogte (neerslagtekort) kan leiden tot lagere peilen/debieten op het oppervlaktewater, met negatieve impact op de waterkwaliteit, met mogelijk toegenomen gezondheidsrisico's als gevolg. Droogte zal waarschijnlijk toenemen als gevolg van klimaatverandering.	Zie ook indicator "neerslagoverschot". Gezondheidseffecten van een gemiddeld slechtere waterkwaliteit spelen vooral bij rechtstreeks contact bij professioneel of recreatief gebruik.	Link met gezondheidsimpact minder duidelijk te leggen, wordt beter afgedekt door indicatoren 45 en 46

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Contaminatie van de ruwwaterbronnen gebruikt voor drinkwaterproductie	Klimaatverandering kan aanleiding geven tot zowel droogte als tot overstromingen. Beide kunnen een negatieve impact hebben op oppervlaktewaterkwaliteit. In de mate dat dit gebruikt wordt voor drinkwaterproductie kan dit leiden tot een reductie van de beschikbare bronnen.	Verminderde kwaliteit van het geproduceerde drinkwater is weinig waarschijnlijk gezien de van toepassing zijnde normen; de beschikbare hoeveelheden water van goede kwaliteit kunnen er wel door verminderd worden. Een verminderde beschikbaarheid aan drinkwater van goede kwaliteit kan gevolgen hebben voor de gezondheid.	Wordt voldoende afgedekt door indicator 45, voor zover ruwwaterbronnen voor drinkwaterproductie uit oppervlaktewater ook mee opgevolgd worden (wat voor de hand ligt). Klimaatverandering is ook maar één determinant van de kwaliteit.
Belang van waterrecreatie/sport in oppervlaktewater	Bij gemiddeld hogere temperaturen zal het belang van watersport waarschijnlijk toenemen. Watersporters zijn bij uitstek een groep die in contact komen met (potentieel vervuild) oppervlaktewater.		Relatie met ziekte te onrechtstreeks om bruikbaar te zijn. Beter waterkwaliteit opvolgen.
Gebruik van overstromingsgebieden na overstromingen	Als gevolg van klimaatverandering zullen overstromingen toenemen. Gebruik van overstromingsgebieden waar het water is weggetrokken (bv. om te spelen) blijken een relevante besmettingsroute voor watergebonden ziektes te zijn.	Allicht moeilijk te monitoren. Eerder inzetten op verbodsbepalingen en toezicht?	Moeilijk te monitoren. Eerder inzetten op verbodsbepalingen en toezicht.
Toxische effecten - blauwalg			
(Tijdelijke) sluiting van plassen bij vaststelling blauwalgen (captatie- of recreatieverbod)	Niet rechtstreeks beïnvloed door klimaat, is proxy voor voorkomen van blauwalgen.		Niet-omgevingsindicator; Is een proxy voor indicator 56 en in die zin overbodig als die wordt opgevolgd.
Gebruik van waarschuwingsborden en andere communicatievormen m.b.t. het gevaar van blauwalgen.	Niet rechtstreeks beïnvloed door klimaat, is proxy voor voorkomen van blauwalgen.		Niet-omgevingsindicator; Als enkel bij voorkomen van blauwalgen: proxy voor indicator 56. Als meer algemeen toegepast kan het een indicator zijn voor de 'Vermogen tot adaptatie' en onrechtstreeks voor het algemeen belang van het fenomeen.
Voedseloverdraagbare ziekten			
Klimaatgerelateerde stroomonderbrekingen	Stroomonderbrekingen kunnen de koudeketen onderbreken. Klimaatverandering kan aan de basis liggen van stroomonderbrekingen (overstromen van installaties, tekort aan koelwater, …).	Er is een (seizoenale) correlatie tussen Salmonella-cases en temperatuur, maar onduidelijk of dit ook zou gelden bij stijging van gemiddelde temperatuur als gevolg van CC. Gezondheidssysteem en basishygiëne (koudeketen) vormt in elk geval een aanzienlijke 'buffer'. Listeria wordt niet beïnvloed door hogere temperaturen.	Niet-omgevingsindicator; Kan relevante impact hebben op gezondheid, hoewel niet in de eerste plaats via salmonella-infectie.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Aantal dagen met temperaturen geschikt vooor BBQ's.	Temperaturen en lengte van BBQ-seizoen worden beïnvloed door klimaatverandering		Indicator zit sowieso in stijgende lijn.
Consumptie van vlees en eieren	Contextvariabele om vastgestelde evoluties te helpen interpreteren		Niet-omgevingsindicator; Eerder ex-post verklarende indicator voor specifieke ziektegevallen. Weinig bruikbaar als voorspeller voor food borne diseases als de normale hygiënemaatregelen genomen worden.
Kwantiteit voedsel			
Verlies aan landbouwopbrengsten wereldwijd door natuurrampen	Grote variabiliteit in landbouwproductie wereldwijd door meer extreem weer kan lijden tot voedseltekorten in Vlaanderen		In tegenstelling tot "verlies aan landbouwopbrengsten in Vlaanderen door natuurrampen" is hier de indirecte link groter.
Respiratoire en cardiovasculaire aandoeningen - luchtkwaliteit - fijn stof			
Aandeel gezinnen met verwarmingsinstallatie op houtverbranding			De link met klimaatadaptatie wordt als te licht beschouwd.
Aandeel bevolking blootgesteld aan dagen met een PM2.5 daggemiddelde > 15 microgram per m3	De grootste PM gezondheidseffecten worden door PM2.5 veroorzaakt	Cfr. de grenswaarden van de Wereldgezondheidsorganisatie (WGO).	Niet weerhouden wegens focus op korte termijn blootstelling. De grootste gezondheidseffecten van fijn stof worden veroorzaakt door een chronische blootstelling. De fijn stof problematiek wordt voldoende afgedekt door de 2 andere indicatoren.
Aantal luchtzuiveringsinstallaties (naar fijn stof en NO2) in bepaalde type gebouwen (scholen, ziekenhuizen, woon -en verzorgingscentra, werkplaatsen, huizen, …)			Het gebruik van luchtzuiveringsinstallaties wordt niet beschouwd als een adaptatiemaatregel.
Respiratoire en cardiovasculaire aandoeningen - luchtkwaliteit - ozon			
Aandeel bevolking blootgesteld aan dagen met hoogste 8-uurgemiddelde voor ozon > 100 microgram per m3	WGO-advieswaarde (2005)	Momenteel wordt de hele bevolking in Vlaanderen op te veel dagen blootgesteld aan hoge ozonconcentraties.	Is een maat voor blootstelling aan piekconcentraties. Alhoewel de impact van kortetermijnblootstelling aan piekconcentraties luchtvervuiling minder groot is dan de chronische impact (aan lagere concentraties), kan kortetermijnblootstelling toch aanleiding geven tot oversterfte (zie oversterfte piek zomer 2020, los van covid-19)
Respiratoire en cardiovasculaire aandoeningen - luchtkwaliteit - natuurbranden			

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Aandeel bevolking in omgeving van brandgevoelige gebieden (afstand te bepalen)	Grootste gezondheidsimpacten zijn te verwachten dicht bij de brandhaarden	Niet enkel natuurgebieden ook groene woongebieden kunnen brandgevoelig zijn.	Niet weerhouden omwille van het ontbreken van een beleidsdoel m.b.t. bevolking in omgeving van brandgevoelige gebieden.
Aantal woonzorgcentra, kinderopvang, ziekenhuizen in of nabij brandgevoelig gebied	Focus op de gevoeligste bevolkingsgroepen	Ruime definitie van brandgevoelig gebied gebruiken, inclusief woongebieden.	Niet weerhouden omwille van het ontbreken van een beleidsdoel m.b.t. bevolking in omgeving van brandgevoelige gebieden.
Aantal natuurbranden in Europa met impact in Vlaanderen	Natuurbranden kunnen een impact hebben over grote afstanden (+ 1000 km)		Grote onzekerheid over de grote van de impact van buitenlandse natuurbranden.
Implementatie van brandpreventie in brandgevoelige gebieden, ongeacht of dit natuurgebieden zijn of woonzones of…	Preventie door beschermingsinfrastructuur, monitoringsnetwerken, watervoorzieningen, opleidingen hulpdiensten. Alsook preventie door aangepast beheer van natuurgebied, openbaar terrein en privétuin/omgeving woning. Bv. in beheerde bossen wordt (sinds lang) gewerkt aan een geleidelijke omvorming van naaldhout naar gemengde bossen met een groot aandeel loofhout, waardoor bossen qua vegetatie minder brandgevaarlijk worden. De bewoners en openbare besturen in brandgevoelige gebieden, zeg maar gelegen in bossen met een groot aandeel naaldhout zouden geadviseerd moeten worden om evengoed een vergelijkbare omvorming door te voeren op voorwaarde dat het aandeel bos niet verminderd.		Niet-omgevingsindicator; Kan deels meegenomen worden in de indicator "bewustwording brandgevaar bij de bevolking, bezoekers van natuurgebieden en zeker bij de bevolking die woont in brandgevoelige woonzones"
Aandeel Vlaams grondgebied met hoog brandrisicogevaar	Er bestaat een statische kaart met "brandgevoelige gebieden" voor het Belgische grondgebied (Jan Baetens - UGent- in opdracht van Federaal Kenniscentrum voor de Civiele Veiligheid)	Jaarlijkse update op basis van waargenomen bodem en vegetatie droogte? Haalbaarheid moet bestudeerd worden.	Update van de bestaande kaart kan mogelijks overwogen worden om rekening te houden met de veranderende omgeving/natuur/groen veroorzaakt door de klimaatverandering maar jaarlijkse update is te frequent.
Allergieën - aeroallergenen - pollen			

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Allergeniciteit van pollen	Allergeniciteit van pollen wordt beïnvloed door hogere temperaturen. Meting van moleculaire allergenen in de lucht vormt een aanvulling op de kwantificering van stuifmeelkorrels en kan nuttig zijn om de algemene allergeniciteit van pollen te begrijpen	Deze indicator moet tot dusver met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden. Ondanks de verschillende waarnemingsstudies op korte termijn die reeds gepubliceerd werden, werd geen duidelijke relatie gevonden tussen de omgevingsvariabele en de allergeenpotentie. Verschillende studies vertonen inconsistente resultaten. Het is eveneens belangrijk op te merken dat de allergeniciteit van het stuifmeel niet alleen afhangt van de allergeenpotentie.	Moeilijk op een representatieve wijze te meten, relatie met klimaatverandering niet ondubbelzinnig vastgelegd, en afhankelijk van tal van andere factoren.
Allergeniciteitsindex van groene zones	Enkel gerelateerd aan klimaatverandering in de mate dat die de soortenkeuze en de keuze voor het vegetatietype beïnvloedt. Contextvariabele om waargenomen evoluties te helpen duiden.	Invloed van wijzigingen in samenstelling van bomenbestand is waarschijnlijk veel kleiner dan die van wijzigingen in lengte van pollenseizoen of van wijzigingen in allergeniciteit.	Contextvariabele, speelt een rol, maar niet determinerend in het bepalen van de gezondheidsimpact. Bovendien ontwikkeld voor (kleinere) afgebakende groengebieden, dus weinig bruikbaar op schaal van Vlaanderen.
Voorjaarstemperatuur	Verklarende factor voor het gevaar “start pollenseizoen" of "lengte pollenseizoen".	Klimatologische parameters als temperatuur, droogte, neerslag, … zijn omgevingsfactoren die moeten gemonitord worden als verklarende factoren voor tal van afgeleide omgevingskenmerken en ervan afgeleide gezondheidseffecten. Worden niet steeds hernomen in deze lijst.	Wordt al in andere contexten gemeten. Als indicator 91 wordt gemeten levert deze indicator niet veel bijkomende informatie op.
Frequentie van hevige onweders tijdens het pollenseizoen	Frequentie van hevige onweders kan toenemen bij klimaatverandering. Pollen kunnen opgewaaid worden en opbreken in kleinere deeltjes met astmapieken als gevolg.		Het fenomeen is gedocumenteerd in de literatuur en kan een belangrijke impact hebben, maar impact allicht vooral lokaal, dus minder relevant op niveau Vlaanderen.
CO_2-concentraties	CO_2-concentratie zou op zich (los van effect op klimaat) allergeniciteit van pollen beïnvloeden.		Onvoldoende zekerheid/duidelijkheid over het belang van dit fenomeen. Zou om concentraties op grondniveau eerder dan om atmosferische concentraties kunnen gaan.
Luchtkwaliteit (in steden)	Slechte luchtkwaliteit verhoogt de gevoeligheid voor pollen.	In combinatie met de vaak allergene keuze van plantensoorten in stadsparken leidt dit tot een nog hogere gevoeligheid/kwetsbaarheid van de stedelijke bevolking.	Luchtkwaliteit' beter te definiëren. Luchtvervuiling kan op zich ook tot allergische reacties leiden, los van de invloed op de gevoeligheid aan pollen. Relatie met klimaatverandering ook niet geheel duidelijk.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Aandeel van de bevolking dat in steden woont.	Stedelijke bevolking is gevoeliger/kwetsbaarder voor allergieën (o.a. als gevolg van slechtere luchtkwaliteit), dus grotere stedelijke bevolking leidt tot hogere impact. Contextfactor.		Relatie met pollengerelateerde aandoeningen is te onrechtstreeks.
Mate van verweving van groen en woonomgevingen.	Allergeen groen in of in de omgeving van of in woonomgevingen kan de kans op blootstelling verhogen. Verweving van groen en bewoning kan toenemen als gevolg van klimaatadaptatiebeleid.	Zie bv. rol van nabijheid van grasland (Aerts et al., 2020). Uit Stas et aL (2021) en andere onderzoeken blijkt echter dat landgebruik tot op een afstand van meerdere kilometers een effect kan hebben op lokale pollenconcentraties. Bij adaptatieplannning kan sowieso proactief rekening gehouden worden met deze factoren. Ook effecten op microniveau (bv. aanwezigheid van water, afstand tussen bomen, …) spelen een rol, maar bruikbaarheid hiervan als indicator op niveau Vlaanderen is beperkter.	Houdt geen rekening met transport van pollen over langere afstand, wat een belangrijke factor is.
Communicatie, waarschuwingen	Kan leiden tot verminderde blootstelling en dus kleinere impact. Verklarende variabele.		Niet-omgevingsindicator; Aantal pollenwaarschuwingen kan een maat zijn voor de problematiek, maar acute waarschuwingen hebben meer te maken met specifieke weersomstandigheden dan met evoluties in het klimaat. Pollenmetingen zijn in die context waarschijnlijk nuttiger.
Allergieën - aeroallergenen - schimmels			
Schimmelconcentratie in buitenmilieu	Causale correlatie schimmelconcentratie met waarnemingen van allergiesymptomen	Enkel jaarlijkse/seizoensgebonden parameters mogelijk	Relatie met klimaatverandering onvoldoende onderbouwd.
Voorkomen van huissstofmijt.	Waarschijnlijk weinig relatie met klimaatverandering, kan wel meegenomen worden als contextvariabele, hoewel weinig onderscheidend.	Huisstofmijt komt overal voor in Vlaanderen. Klimaatverandering kan leiden tot introductie ervan in regio's met strenge winters waar ze eerst niet voorkomen, maar dat is hier niet het geval. Warme en vochtige omstandigheden kunnen ontwikkeling bevorderen, maar attributie aan klimaatverandering is moeilijk.	Huisstofmijt komt overal voor in Vlaanderen. Klimaatverandering kan leiden tot introductie ervan in regio's met strenge winters waar ze eerst niet voorkomen, maar dat is hier niet het geval. Warme en vochtige omstandigheden kunnen ontwikkeling bevorderen, maar attributie aan klimaatverandering is moeilijk.
Cardiovasculaire aandoeningen - hitte			
Aantal dagen met een meteorologische hittegolf	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		Minder relevant wat betreft de link met gezondheidsaspecten. Aantal hittegolfgraaddagen en WBGT beter geschikt.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Aantal dagen met een waarschuwingsfase	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		Minder relevant wat betreft de link met gezondheidsaspecten.
Aantal dagen met een alarmfase	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		Minder relevant wat betreft de link met gezondheidsaspecten.
Aantal zomerse dagen	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		Minder relevant wat betreft de link met gezondheidsaspecten.
Aantal tropische dagen	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		Minder relevant wat betreft de link met gezondheidsaspecten.
Aantal nachten boven 18°C en 20°C	Indicator is gecorreleerd met voorkomen van cardiovasculaire aandoeningen.		Sterk gelinkt aan slaapverstoring en hieraan gerelateerde gezondheidseffecten.
Blootstelling aan hittestress uitgedrukt in hittegolfgraaddagen, focus op kwetsbare bevolkingsgroep	Met de kwetsbare bevolking worden de leeftijdsgroepen van 0 tot 4 jaar en van 65 jaar en ouder bedoeld. Men spreekt van zware hittestress bij blootstelling aan 60 of meer hittegolfgraaddagen per jaar.		Toegevoegde waarde indien de link met kwetsbare groepen kan gemaakt worden.
Blootstelling aan hittestress uitgedrukt in WBGT	Sterk gelinked met schaduw creërende omgevingselementen (o.a. bomen, constructies)	Voorzien in Klimaatportaal in najaar 2022 (Vlaanderen dekkend, huidige situatie op een warmste dag in een gemiddeld jaar + op de warmste dag in 20 jaar). Resolutie 1m.	Toegevoegde waarde indien de link met kwetsbare groepen kan gemaakt worden.
Aantal kwetsbare instellingen (ziekenhuizen, WVC, crèches, scholen) op locaties met grote hittestress	Personen in deze instellingen zijn extra gevoelig aan hittestress		Grote overlap met de 2 weerhouden blootstellingsindicatoren.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Aandeel hittebestendige gebouwen	Thermisch comfort in gebouwen heeft impact op gezondheid.	Er bestaat een ISO-norm (ISO 7730, https://www.iso.org/standard/39155.html) en een Belgische implementatie NBN EN 15251 (https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-15251-2007_12248/). Preventieve maatregelen bij "Hittebestendig bouwen" moeten meer aandacht krijgen. Hittebestendig bouwen is een belangrijk aandachtspunt voor de toekomst (opgenomen in VAP) - zie ook Green Deal klimaatbestendig bouwen en plannen /Map "bouw gezond", momenteel vooral ventilatie- en verluchtinggebruik, gebruik van materialen, in toekomst nog meer aandacht voor “hittebestendig bouwen”; technische innovaties.	Erg relevant en stuurbaar door beleid maar verder te onderzoek wat betreft haalbaarheid.
Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als bomen in de omgeving van gebouwen en op het publiek domein (straten, parken, pleinen)	Bomen zijn heel effectief in afkoeling (door verdamping) en schaduwcreatie).		Samen te nemen met andere adaptatiemaatregelen in één gewogen hitte omgevingsadaptatie-indicator
Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als groendaken en muurbegroeiing (klimplanten, geveltuinen)	Een groendak kan een bufferende werking hebben naar de opwarming van gebouwen, en in mindere mate de ruimere omgeving.	Vooral extensieve groendaken zijn effectief. Aandacht voor irrigatie tijdens droogteperiodes.	Samen te nemen met andere adaptatiemaatregelen in één gewogen hitte omgevingsadaptatie-indicator
Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als zonnescreens	Voorkomen van oververhitting in gebouwen	Zie ook opmerking bij ID 102.	Samen te nemen met andere adaptatiemaatregelen in één gewogen hitte omgevingsadaptatie-indicator
Gebruik van schaduw creërende en hittewerende maatregelen als witte daken/muren	Voorkomen van oververhitting in gebouwen		Samen te nemen met andere adaptatiemaatregelen in één gewogen hitte omgevingsadaptatie-indicator
Gebruik van passieve koeling door nachtelijke ventilatie	Belangrijke maatregel bij ontwerp van nieuwe gebouwen en bij renovatie	Aandacht voor veiligheid.	Eenvoudige maatregel voor koeling binnenklimaat gebouwen. Kan geïntegreerd worden in indicator "aandeel hittebestendige gebouwen".
Aanwezigheid van bomen op publiek en privédomein	Bomen zijn heel effectief in schaduwcreatie en verkoeling door verdamping van water		Sterk beleidsrelevant. Evaluatie of dit samengenomen worden tot één hitte omgevingsindicator

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Aanwezigheid van verharde oppervlakten	Verharde oppervlakten dragen bij tot het hitte-eilandeffect en hoger thermisch comfort		Sterk beleidsrelevant. Evaluatie of dit samengenomen worden tot één hitte omgevingsindicator
Aantal stroomonderbrekingen door hittestress (falen kritische infrastructuur, ontbreken koelwater voor elektriciteitscentrales)	Kan grote impact hebben op kritische infrastructuur (ziekenhuizen, WVC, …)		Interessante verklarende indicator maar indirecte link met gezondheid. Niet weerhouden.
UV-gerelateerde ziekte en sterfte - kanker, staar, zonnebrand			
Type huid (donkere vs lichte huid)	Een donkere huid zal over het algemeen minder snel verbranden dan een lichte huid.		Niet-omgevingsindicator;
Gebruik van zonnecrème/zonnehoed en het vermijden van de zonnigste uren tijdens dagen met hoge UV-index waarden	Er zijn talrijke wetenschappelijke publicaties beschikbaar die het gebruik van zonnecrème onderbouwen		Niet-omgevingsindicator;
Gebruik van zonnebril tijdens dagen met hoge UV-index	Een goede zonnebril beschermt de ogen tegen UV-straling		Niet-omgevingsindicator;
Gezonde blootstellling aan zonnestraling	Blootstelling aan UV-straling heeft ook positieve effecten zoals de vorming van Vitamine D (minder darmkanker, verhoogt immuunsysteem)	RIVM-rapport "UV-straling en gezondheid"	Niet-omgevingsindicator;
Inname van extra Vitamine D tijdens wintermaanden	Via voedingssupplementen kan extra Vitamine D worden opgenomen.		Niet-omgevingsindicator;
Gebruik van zonnehoed en zonnecrème tijdens dagen met hoge UV-index	Een zonnehoed en goed aangebrachte kwalitatieve zonnecrème beschermt de huid tegen overdadige UV-straling	Bepaalde types zonnecrème kunnen ook negatieve (gezondheids)effecten hebben (neveneffect). Er wordt aangenomen dat de voordelen opwegen tegen de nadelen.	Niet-omgevingsindicator;
Verminderde arbeidsproductiviteit - hitte & koude			
Aandeel personen aan het werk tijdens periodes met hoge WBGT-waarden (buiten en binnen) volgens type werk (licht, halfzwaar, zwaar, zeer zwaar)	Aanpassen type werk in functie van mate van hittestress	Voorzien in Klimaatportaal in najaar 2022 (Vlaanderen dekkend, huidige situatie op een warmste dag in een gemiddeld jaar + op de warmste dag in 20 jaar). Resolutie 1m.	Te integreren tot één arbeids blootstellingsindicator
Aantal koude dagen (vorstdagen, ijsdagen)	In functie van het type werk zijn er wettelijke minimumtemperaturen vastgelegd. Door de klimaatverandering dalen het aantal koude dagen met minder negatieve gezondheidseffecten door koude	https://werk.belgie.be/nl/themas/welzijn-op-het-werk/omgevingsfactoren-en-fysische-agentia/thermische-omgevingsfactoren	Geeft aanvullende inzichten maar minder relevant naar de toekomst toe.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Aandeel personen aan het werk in de buitenlucht tijdens periodes met koude dagen (vorstdagen, ijsdagen)	Deze indicator geeft een inschatting naar het maximaal aantal getroffen werknemers		Geeft aanvullende inzichten maar minder relevant naar de toekomst toe.
Aantal bedrijven dat adaptatiemaatregelen voorziet tijdens koudegolven (persoonlijke beschermingsmiddelen, warmtebron, warme dranken tijdens pauzes, gereedschap dat is voorzien van isolerend materiaal, afwisselend werk, warme opwarmruimte, aanpassing werkuren, ...)	Extra aandacht voor welzijn op het werk tijdens koudegolven. Koudegolven komen minder vaak voor waardoor de paraatheid van de bevolking en de bedrijfswereld om om te gaan met koude minder groot is.		Geeft aanvullende inzichten maar minder relevant naar de toekomst toe.
Absenteïsme - hitte & koude			
Aantal wegen met schade aan wegdek wegens extreme hitte	Hoge temperaturen kunnen het wegdek beschadigen met absenteïsme tot gevolg		Indirecte link met gezondheid
Aantal sporen met schade wegen extreme hitte	Hoge temperaturen kunnen de treinsporen beschadigen met absenteïsme tot gevolg		Indirecte link met gezondheid
Aantal koude dagen (vorstdagen, ijsdagen)	Koude maakt onze slijmvliezen mogelijk kwetsbaarder voor virussen, waardoor we sneller een infectie (verkoudheid/griep) oppikken met mogelijke afwezigheid op het werk tot gevolg.		Minder relevant naar de toekomst toe.
Aandacht voor minimale viruscirculatie op het werk (thuiswerk, mondmaskers, handhygiëne, maximale bezetting kantoren, ventilatie, CO2 concentratie monitoring in burelen en vergaderzalen)			Niet-omgevingsindicator; Indirecte link met klimaatverandering (meer algemeen infectieziektebeleid dan klimaatbeleid)
Absenteïsme - overstromingen			
Aantal wegen in overstroombaar gebied	Maat voor de kans dat wegtransport met auto, openbaar vervoer of fiets niet mogelijk is. Kans op overstromingen neemt toe bij klimaatverandering		Indirecte link met gezondheid
Aantal periodes met overstromingen	Kans op overstromingen neemt toe bij klimaatverandering maar kan door aangepast ruimtelijke maatregelen en investeringen worden teruggedrongen		Indirecte link met gezondheid

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Aantal industriegebieden die moeilijk bereikbaar zijn tijdens periodes van extreme neerslag			Indirecte link met gezondheid en effect minimaal
Aantal werknemers met woning in overstroombaar gebied			Indirecte link met gezondheid en effect minimaal
Aantal werknemers die dichtbij werk wonen	Korte woon-werk afstanden zijn minder gevoelig voor overstromingen		Indirecte link met gezondheid en effect minimaal
Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen - overstromingen			
Aantal kwetsbare instellingen met risico op een gevaarlijke overstroming (70 cm of meer) bij een hoog-impactscenario in het jaar 2100.	Aanwezigheid van deze instellingen verhoogt de kan op verwondingen en sterfte.	1) Daarnaast best ook indicator voor reële impact, bv. "jaarlijks aantal kwetsbare instellingen die blootgesteld werden aan een gevaarlijke overstroming". 2) Effect van reductie in risico als gevolg van maatregelen tegen overstromingen en wateroverlast wordt hier ook door gevat. 3) Piste van "gevaarlijk overstroombare" (70 cm) wordt in klimaatportaal verlaten -> finale formulering van de indicator af te stemmen op terminologie klimaatportaal.	Kwetsbare instellingen zijn mogelijk net beter gewapend tegen de gevolgen van onder meer overstromingen (via evacuatieplannen e.d..
Aantal kwetsbare instellingen met risico op een gevaarlijke overstroming (70 cm of meer) bij een 1000-jarige stormvloed.	Aanwezigheid van deze instellingen verhoogt de kan op verwondingen en sterfte.	1) Enkel voor kuststreek. 2) Daarnaast best ook indicator voor reële impact, bv. "jaarlijks aantal kwetsbare instellingen die blootgesteld werden aan een gevaarlijke overstroming". 3) Effect van maatregelen voor overstromingsbeveiliging wordt hier mee door gevat.	Kwetsbare instellingen zijn mogelijk net beter gewapend tegen de gevolgen van onder meer overstromingen (via evacuatieplannen e.d..
Aantal elektriciteitscabines gelegen in overstroombaar gebied	Indicator voor de mate waarin overstromingen kunnen leiden tot tijdelijk verlies van elektriciteitsvoorziening. Dit kan gevolgen hebben op het vlak van veiligheid en gezondheid.		Er bestaan meestal voldoende alternatieven, en gezondheid kritische instellingen (ziekenhuizen bv.) beschikken over generatoren om eventuele stroomuitval op te vangen.
Gecumuleerde jaarlijkse duur van het onbeschikbaar zijn van elektriciteit als gevolg van overstromingen.	Indicator voor de mate waarin overstromingen hebben geleid tot tijdelijk verlies van elektriciteitsvoorziening, wat gevolgen kan hebben op het vlak van veiligheid en gezondheid.	Ook van toepassing op andere calamiteiten	Niet-omgevingsindicator; Zwakke correlatie tussen duur van de onderbreking en gezondheidsimpact. Bovendien lokaal fenomeen.

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Gecumuleerde jaarlijkse duur van het onbeschikbaar zijn van elektriciteit als gevolg van extreme droogte.	Indicator voor de mate waarin extreme droogte heeft geleid tot tijdelijk verlies van elektriciteitsvoorziening. Dit kan gevolgen hebben op het vlak van veiligheid en gezondheid.	Bij kernuitstap wordt koelwater veel minder cruciaal	Indicator zal aan belang verliezen naarmate de energietransitie zich doorzet. Relatie tussen duur van onderbreking en belang van impact ook niet zeker. Bij gezondheidsinstellingen kan stroomuitval opgevangen worden door generatoren.
Verwondingen en sterfte door rampen en ongevallen - natuurbranden			
Aandeel bevolking in omgeving van brandgevoelige gebieden (afstand te bepalen)	Grootste gezondheidsimpacten zijn te verwachten dicht bij de brandhaarden	Niet enkel natuurgebieden ook groene woongebieden kunnen brandgevoelig zijn.	Niet weerhouden omwille van het ontbreken van een beleidsdoel m.b.t. bevolking in omgeving van brandgevoelige gebieden.
Aantal woonzorgcentra, kinderopvang, ziekenhuizen in of nabij brandgevoelig gebied	Focus op de gevoeligste bevolkingsgroepen	Ruime definitie van brandgevoelig gebied gebruiken, inclusief woongebieden.	Niet weerhouden omwille van het ontbreken van een beleidsdoel m.b.t. bevolking in omgeving van brandgevoelige gebieden.
Implementatie van brandpreventie in brandgevoelige gebieden, ongeacht of dit natuurgebieden zijn of woonzones of…	Preventie door beschermingsinfrastructuur, monitoringsnetwerken, watervoorzieningen, opleidingen hulpdiensten. Alsook preventie door aangepast beheer van natuurgebied, openbaar terrein en privétuin/omgeving woning. Bv. in beheerde bossen wordt (sinds lang) gewerkt aan een geleidelijke omvorming van naaldhout naar gemengde bossen met een groot aandeel loofhout, waardoor bossen qua vegetatie minder brandgevaarlijk worden. De bewoners en openbare besturen in brandgevoelige gebieden, zeg maar gelegen in bossen met een groot aandeel naaldhout zouden geadviseerd moeten worden om evengoed een vergelijkbare omvorming door te voeren op voorwaarde dat het aandeel bos niet verminderd.		Niet-omgevingsindicator; Kan deels meegenomen worden in de indicator "bewustwording brandgevaar bij de bevolking, bezoekers van natuurgebieden en zeker bij de bevolking die woont in brandgevoelige woonzones"
Aandeel Vlaams grondgebied met hoog brandrisicogevaar	Er bestaat een statische kaart met "brandgevoelige gebieden" voor het Belgische grondgebied (Jan Baetens -UGent- in opdracht van Federaal Kenniscentrum voor de Civiele Veiligheid)	Jaarlijkse update op basis van waargenomen bodem en vegetatie droogte? Haalbaarheid moet bestudeerd worden.	Update van de bestaande kaart kan mogelijks overwogen worden om rekening te houden met de veranderende omgeving/natuur/groen veroorzaakt door de klimaatverandering maar jaarlijkse update is te frequent.
Mentale gezondheid - extreem weer			

Omschrijving omgevingsindicator	Motivatie voor selectie in longlist	Opmerkingen en aandachtspunten	Motivatie voor niet-selectie in shortlist
Tijd tussen een overstromingsevenement met impact op woonhuizen en het moment waarop mensen terug kunnen keren naar hun huizen.	Mentale gevolgen van de lengte van de periode dat mensen niet terug naar huis kunnen.		Niet-omgevingsindicator; Aan te passen tot "Frequentie van wateroverlast ter hoogte van individuele woningen"?
Mate waarin de schade en sterfte als gevolg van overstromingen voorzienbaar en te vermijden of milderen waren (o.a. door early warning).	Mentale gevolgen kunnen beperkter zijn als impact vooraf te verwachten was en de impact ervan in te schatten viel.		Niet-omgevingsindicator; Moeilijk te kwantificeren. Twijfelachtig of de mentale impact inderdaad kleiner zou zijn.
Aantal woningen dat definitief verlaten moet worden als gevolg van een overstroming.	Mentale gevolgen van het definitief moeten verlaten van zijn woning kunnen aanzienlijk zijn.		Op zich relevant voor mentale gezondheid, maar aantal zal klein zijn en geleidelijk afnemen in de mate dat alle relevante woningen vroeg of laat getroffen worden.
Aantal personen dat waarschuwings-apps voor calamiteiten gebruikt.	Gebruik van een dergelijk app biedt een zekere mate van houvast en kan helpen de mentale gevolgen te milderen.	1) Ook van toepassing op andere calamiteiten dan overstromingen. 2) Voorwaarde is dat de waarschuwingen betrouwbaar zijn, anders kan een omgekeerd effect bereikt worden.	Niet-omgevingsindicator; Moeilijk te linken aan gezondheidseffecten ex post.
Toename in droogvallen van vijvers en recreatiegebieden als gevolg van droogte.	Het visueel waarneembare effect van droogte kan mentaal negatieve gevolgen hebben bij de gebruikers.		Te indirecte link met gezondheid
Veranderingen in het landschap (bv. afsterven van vegetatie, uitdrogen van waterlichamen) als gevolg van droogte.	Het visueel waarneembare effect van droogte kan mentaal negatieve gevolgen hebben voor de gebruikers en waarnemers van het landschap.		Te indirecte link met gezondheid
Verzekeringsgraad landbouwers	Het al of niet verzekerd zijn kan een invloed hebben op het mentaal welzijn van getroffen landbouwers	Bredeweersverzekering voor landbouwteelten. Voorwaarde voor vergoeding Vlaams rampenfonds tijdens overgangsperiode tot eind 2024.	Niet-omgevingsindicator; Te indirecte link met gezondheid
Aantal ontvangen dossiers "bredeweersverzekering voor landbouwteelten"	Een indicator voor het aantal getroffen verzekerde landbouwers		Niet-omgevingsindicator; Te indirecte link met gezondheid
Mate van sociale ongelijkheid (inkomensongelijheid?) in de maatschappij	Sociale achteruitstelling heeft een grote impact op de kwetsbaarheid aan de (gezondheids)gevolgen van klimaatverandering.		Niet-omgevingsindicator; Geen rechtstreeks verband met klimaatverandering, (wel verklarende co-variabele bij een aantal fenomenen; geen omgevingsindicator s.s..

BIJLAGE G

De longlist van biomerkers van blootstelling en effect is opgesplitst in verschillende tabellen om de leesbaarheid te bevorderen.

Tabellen G-1 en G-3 bevatten volgende velden voor de merkers van blootstelling en van effect, respectievelijk:

- Groepsnaam: stofgroep voor biomerkers van blootstelling, gezondheidssignaal voor biomerkers van effect;
- Biomerker: vermelding van de specifieke biomerkers;
- Rapport: verwijzing naar sectie in dit rapport waar de biomerker beschreven wordt;
- Matrix: matrix waarin de biomerker gemeten wordt (serum, volbloed, urine, haar, huid);
- Methode: analysemethode om biomerker te bepalen, indien reeds eerder toegepast in Vlaamse HBM, wordt het analyserend labo vermeld;
- HBM: geeft aan of/ in welke humane biomonitoring studie de analyse reeds toegepast werd;
- Aard van link met klimaatverandering: korte beschrijving van het mogelijk verband tussen de biomerker en klimaatverandering;
- Mogelijke impact op de mens: korte omschrijving van het gezondheidsrisico waar de biomerker betrekking op heeft;
- Opmerkingen en aandachtspunten: extra duiding bij de biomerker en het mogelijk verband met klimaatverandering;

Tabellen G-2 en G-4 bevatten volgende velden voor de merkers van blootstelling en van effect, respectievelijk:

- Groepsnaam: stofgroep voor biomerkers van blootstelling, gezondheidssignaal voor biomerkers van effect;
- Biomerker: vermelding van de specifieke biomerkers;
- Aanzet contextvariabelen: eerste inschatting van welke factoren belangrijk zijn om het verband tussen de biomerker en klimaatverandering goed in kaart te kunnen brengen;
- Referentie link met klimaat: verwijzing naar relevante literatuur om de link biomerker-klimaat te onderbouwen
- Relevantie HBM: score die aangeeft of het verband tussen biomerker en klimaatverandering beschouwd wordt als zwak (1) tot sterk (5) o.b.v. bevraging van stuurgroepleden.

De longlist is opgesplitst in verschillende tabellen om de leesbaarheid te bevorderen.

Tabellen G-1 en G-3 bevatten volgende velden voor de merkers van blootstelling en van effect, respectievelijk:

- Groepsnaam: stofgroep voor biomerkers van blootstelling, gezondheidssignaal voor biomerkers van effect;
- Biomerker: vermelding van de specifieke biomerkers;
- Rapport: verwijzing naar sectie in dit rapport waar de biomerker beschreven wordt;
- Matrix: matrix waarin de biomerker gemeten wordt (serum, volbloed, urine, haar, huid);
- Methode: analysemethode om biomerker te bepalen, indien reeds eerder toegepast in Vlaamse HBM, wordt het analyserend labo vermeld;
- HBM: geeft aan of/ in welke humane biomonitoring studie de analyse reeds toegepast werd;

- Aard van link met klimaatverandering: korte beschrijving van het mogelijk verband tussen de biomerker en klimaatverandering;
- Mogelijke impact op de mens: korte omschrijving van het gezondheidsrisico waar de biomerker betrekking op heeft;
- Opmerkingen en aandachtspunten: extra duiding bij de biomerker en het mogelijk verband met klimaatverandering;

Tabellen G-2 en G-4 bevatten volgende velden voor de merkers van blootstelling en van effect, respectievelijk:

- Groepsnaam: stofgroep voor biomerkers van blootstelling, gezondheidssignaal voor biomerkers van effect;
- Biomerker: vermelding van de specifieke biomerkers;
- Aanzet contextvariabelen: eerste inschatting van welke factoren belangrijk zijn om het verband tussen de biomerker en klimaatverandering goed in kaart te kunnen brengen;
- Referentie link met klimaat: verwijzing naar relevante literatuur om de link biomerker-klimaat te onderbouwen
- Relevantie HBM: score die aangeeft of het verband tussen biomerker en klimaatverandering beschouwd wordt als zwak (1) tot sterk (5) o.b.v. bevraging van stuurgroepleden.

Tabel G-1: Longlist van biomerkers van blootstelling (deel 1).

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Matrix	Methode	HBM (elders, FLEHS-1/2/3, FLEHS-4)	Aard van link met klimaat	Mogelijke impact op mens
Vluchtige organische stoffen (VOC's) - antropogene VOC's	Breed spectrum VOC-meting cfr. NHANES	3.3.1	Urine/ bloed	Gas chromatography (GC) -mass spectrometry (MS)	Elders (NHANES)	↑ Temperatuur: ↑ blootstelling aan antropogene VOC's binnenhuis, risico op bosbranden en vrijstelling VOC's	Carcinogeen, immunotoxisch
Vluchtige organische stoffen (VOC's) - antropogene VOC's - trihalomethanen THM's)	Desinfectiebijproducten drink- en zwembadwater: broomdichloormethaan, dibroomchloormethaan, bromoform en chloroform	3.3.1	Urine	Gas chromatography - triple quadrupole mass spectrometry (GC-QqQ-MS/MS)	Universiteit Cyprus	Hitte, droogte, overstromingen: ↑nood aan desinfectie drinkwater, hitte: ↑ gebruik zwembaden, VOC's worden gevormd wanneer chloor in wisselwerking treedt met natuurlijke organische materialen in water	Mogelijk carcinogeen, groter risico op miskraam, aangeboren afwijkingen
Vluchtige organische stoffen (VOC's) - natuurlijke VOC's	Terpenen	3.3.1	Urine/ bloed	Solid-phase microextraction (SPME) - gas chromatography-tandem mass spectrometry	Elders	↑ Vervluchtiging VOC's door ↑ temp, natuurbranden	Contacteczeem, anti-inflammatoir
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)	Metabolieten (OH-PAK's): hydroxy-pyrene, 1-hydroxy-naphtalene, 2-hydroxy-naphtalene, 2,3-hydroxy-fluorene, 9-hydroxy-fluorene, 1,2,3,4,9-hydroxy-phenanthrene, 3-hydroxy-benzopyrene)	3.3.2	Urine	Ultra-performance liquid chromatography - tandem mass spectrometer (UPLC-MS/MS) (VITO GOAL)	FLEHS-4	↑ Blootstelling door bosbranden, levensstijl: voeding (BBQ) en ↑ toxiciteit van PAK's in combinatie met UV-straling	Carcinogeen, immunotoxisch, fototoxisch
Luchtvervuiling	Urinaire koolstof lading	3.3.2	Urine	Femtosecond pulsed laser microscopy (UHasselt)	MG 2021	↑ Luchtvervuiling	Biomerker voor roetpartikels in luchtvervuiling: carcinogeen, immunotoxisch
UV-filters (zonnebrandproducten)	Benzofenon-3	3.3.3	Urine, bloed	Liquid chromatography - triple-quadrupole mass spectrometry (LC-QqQ MS) (RIC)	FLEHS-1/2/3	↑UV-blootstelling: ↑ persoonlijk gebruik & ↑blootstelling via milieu + bioaccumulatie in voeding (vis)	Hormoonverstorend, contactallergie

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Matrix	Methode	HBM (elders, FLEHS-1/2/3, FLEHS-4)	Aard van link met klimaat	Mogelijke impact op mens
UV-filters (zonnebrandproducten)	Benzofenon-3 + 8 metabolieten (HMS, DABI, 4-MBC, IMZ, DHMB, 3-BC, THB, DHB, BP-3)	3.3.3	Urine, bloed	Liquid chromatography - triple-quadrupole mass spectrometry (LC-QqQ MS) (RIC)	FLEHS-1/2/3	↑UV-blootstelling: ↑ persoonlijk gebruik & ↑ blootstelling via milieu & bioaccumulatie in voeding (vis)	Hormoonverstorend, contactallergie
Perfluor-verbindingen (zonnebrandproducten)	Perfluorderivaten (PFOS, PFOA) + andere PFAS	3.3.3	Serum	Ultraperformance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS) (VITO-GOAL)	FLEHS-4	↑ bestrijding (natuur)branden, ↑ gebruik zon- en verzorgingsproducten	Lever-, schildklier-, hormoon-, immuun toxiciteit
Bewaarmiddelen (zonnebrandproducten)	Parabenen (pHBA)	3.3.3	Urine	Liquid chromatography - triple-quadrupole mass spectrometry (LC-QqQ MS) (RIC)	FLEHS-1/2/3	↑UV-blootstelling: ↑ persoonlijk gebruik & bioaccumulatie	Hormoonverstorend, contactallergie
Geurversterkers (zonnebrandproducten)	Musks (Tonalide, Musk xyleen, galaxolide, musk ketone)	3.3.3	Bloed	Gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS) (RIC)	FLEHS-1/2/3	↑UV-blootstelling: ↑ persoonlijk gebruik & bioaccumulatie	Hormoonverstorend
Pesticiden	3-PBA (pyrethroiden - pesticiden), 2,4-D (2,4-dichloorfenoxyazijnzuur - herbicide), TCPγ (Chlorpyrifos), Glyfosaat, AMPA	3.3.4	Urine	Liquid chromatography - triple-quadrupole mass spectrometry (LC-QqQ MS) (SDU)	FLEHS-4	↑ Nood aan gewasbescherming door klimaatverandering (droogte, natte periodes)	Hormoonverstorend, afbraakproduct 2,4-dichlorofenol mogelijk endocriene verstoorder en mogelijk carcinogeen), neurotoxisch en teratogeen in proefdieren, haematoxisch
Persistente organische polluenten (POP's)	Merker PCB's, DDT en metaboliet DDE, HCB, g-HCH (lindaan), chlordaan groep, gebromeerde vlamvertragers (PBDEs)	3.3.4	Serum	Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) (UA-Tox)	FLEHS-4	↑ temp, ↑ vrijstelling meer vluchtige POP's (vb. binnenmilieu), vrijstelling uit milieu: depots sneeuw en ijs	Neurotoxisch, hormoonverstorend, immunosuppressief, carcinogeen

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Matrix	Methode	HBM (elders, FLEHS-1/2/3, FLEHS-4)	Aard van link met klimaat	Mogelijke impact op mens
Zware metalen	As-metabolieten	3.3.5	Urine	Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) (AML)	FLEHS-4	↑ Concentratie in voeding (rijst) door ↑irrigatie rijst en granen met grondwater (voorn. Azië), lokaal verhoogd in grondwater in Vlaanderen	Gastro-intestinale effecten, perifere neuropathie, huidproblemen, kankerverwekkend, bij proefdieren teratogeen
Zware metalen (Cd, Cu, Zn)	Cd, Zn, Cu	3.3.5	Urine	High Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (HR-ICP-MS) (VUB)	FLEHS-4	↑ Gebruik meststoffen door klimaatverandering (droogte) (bevatten zware metalen), ↑ circulatie bodemstof bij droogte	Verstoorde nierwerking, verstoorde botvorming, verhoogde bloeddruk, kankerverwekkend, immuunverstorend.
Organofosfaat vlamvertragers (PFR's)	Metabolieten van PFR's	3.3.6	Urine	LC-MS/MS (UA-Tox)	FLEHS-4	↑ Temperatuur, ↑ vrijstelling uit materiaal	Mogelijk hormoonverstorend, carcinogeen, neurotoxisch, teratogeen
Plastic component	Metabolieten van ftalaten + DINCH + alternatieven	3.3.6	Urine	Triple Quadrupole mass spectrometer (LC-MS/MS) (UA-Tox)	FLEHS-4	↑ Temperatuur, ↑ vrijstelling uit materiaal	Hormoonverstorend, oxidatieve stress
Plastic component	BPA, BPS + mogelijk andere bisfenolen	3.3.6	Urine	Gas chromatography - triple quadrupole mass spectrometer (UATox)	FLEHS-4	/	Hormoonverstorend
Natuurlijke toxines	Mycotoxines	3.4.1	Urine, bloed	Liquid chromatography - mass spectrometry (LC-MS) (UGent)	Elders Biomyco	↑ In voorkomen van schimmels en verschuiving soorten schimmels in voeding en omgeving.	Immunosuppressief, mutageen, carcinogeen, lever-, niertoxisch, hormoonverstorend, …
Natuurlijke toxines	Cyanotoxines : Microcystine-LR (MC-LR), Microcystine-RR (MC-RR) en Microcystine-LR (MC-YR)	3.4.2	Bloed	ELISA immunoassay	Elders (Argentinië)	↑ temp, ↑ algenbloei	Levertoxisch

** naast geslacht, leeftijd, roken, SES*

Tabel G-2: Longlist van biomerkers van blootstelling (deel 2).

Groepsnaam	Biomerker	Opmerkingen en aandachtspunten	Aanzet specifieke contextvariabelen *	Referentie link met klimaat	Relevantie HBM - klimaatverandering in VL (score van 1 zwak-5 sterk)
Vluchtige organische stoffen (VOC's) - antropogene VOC's	Breed spectrum VOC-meting cfr. NHANES	Indirecte link met klimaatverandering in VL. Nog geen breedspectrum HBM in VL. Meting indoor via Sensorbox mogelijk.	Gemiddelde temperatuur, tijd in het verkeer, optreden bosbranden, binnenhuis renovatiewerken, tijd doorgebracht binnenhuis, ventilatie en verluchten	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132317301737	2
Vluchtige organische stoffen (VOC's) - antropogene VOC's - trihalomethanen THM's)	Desinfectiebijproducten drink- en zwembadwater: broomdichloormethaan, dibroomchloormethaan, bromoform en chloroform	Indirect beïnvloed door klimaat in VL , opvolging EU-normen door VMM in drinkwater, geen HBM in VL, methode voor monitoring gevalideerd elders: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570023217307195?via%3Dihub	Hittegolf, temperatuur, meting in drinkwater, gedrag	https://www.nature.com/articles/s41598-019-46238-0	2.67
Vluchtige organische stoffen (VOC's) - natuurlijke VOC's	Terpenen	Indirecte link met klimaatverandering in VL. Humane blootstelling vanuit natuur maar voornamelijk via huishoudproducten, voeding, roken (smaakstoffen)	Verblijf in natuur, nabijheid natuur, gedrag, gebruik producten en voeding	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32929965/	1.67
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)	Metabolieten (OH-PAK's): hydroxy-pyrene, 1-hydroxy-naphtalene, 2-hydroxy-naphtalene, 2,3-hydroxy-fluorene, 9-hydroxy-fluorene, 1,2,3,4,9-hydroxy-phenanthrene, 3-hydroxy-benzopyrene)	HBM4EU prioriteit, opvolging belangrijk. Indirecte link blootstelling met klimaatverandering in Vlaanderen. Bijkomend gezondheidsrisico door fototoxiciteit van PAK's. Meting gevalideerd, meting in milieu	Levensstijl: voeding, kachelgebruik	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3812823/	3
Luchtvervuiling	Urinaire koolstof lading	Indirecte link met klimaatverandering in VL, meting gevalideerd, biomerker voor interne blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtvervuiling	Luchtkwaliteit, nabijheid verkeer	https://www.atsjournals.org/doi/full/10.1164/rccm.201704-0797OC	3

Groepsnaam	Biomerker	Opmerkingen en aandachtspunten	Aanzet specifieke contextvariabelen *	Referentie link met klimaat	Relevantie HBM - klimaatverandering in VL (score van 1 zwak-5 sterk)
UV-filters (zonnebrandproducten)	Benzofenon-3	HBM4EU prioriteit, opvolging belangrijk. Indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen, meting te hervalideren.	Levensstijl: gebruik zonnebrandmiddelen, voeding	https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2020.08.008	4
UV-filters (zonnebrandproducten)	Benzofenon-3 + 8 metabolieten (HMS, DABI, 4-MBC, IMZ, DHMB, 3-BC, THB, DHB, BP-3)	HBM4EU prioriteit, opvolging belangrijk. Indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen, meting te hervalideren.	Levensstijl: gebruik zonnebrandmiddelen, voeding	https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2020.08.009	4
Perfluor-verbindingen (zonnebrandproducten)	Perfluorderivaten (PFOS, PFOA) + andere PFAS	HBM4EU prioriteit, opvolging belangrijk. Eerder zwakke indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen	Voeding, productgebruik, binnenmilieu, meting in milieu	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33524335/	2.33
Bewaarmiddelen (zonnebrandproducten)	Parabenen (pHBA)	Eerder zwakke indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen, meting te hervalideren	Voeding, productgebruik	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32845562/	2
Geurversterkers (zonnebrandproducten)	Musks (Tonalide, Musk xyleen, galaxolide, musk ketone)	Eerder zwakke indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen, meting te valideren	Voeding, productgebruik	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15788171/	2
Pesticiden	3-PBA (pyrethroiden - pesticiden), 2,4-D (2,4-dichloorfenoxyazijnzuur - herbicide), TCPγ (Chlorpyrifos), Glyfosaat, AMPA	HBM4EU prioriteit, opvolging belangrijk. Indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen. Meting gevalideerd	Levensstijl: voeding, productgebruik, nabijheid landbouw	https://ehp.niehs.nih.gov/doi/full/10.1289/ehp.0800084	3.67
Persistente organische polluenten (POP's)	Merker PCB's, DDT en metaboliet DDE, HCB, g-HCH (lindaan), chlordaan groep, gebromeerde vlamvertragers (PBDE's)	Historische vervuiling, opvolging belangrijk. Indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen, meting gevalideerd, meting in milieu	Voeding, binnenhuisfactoren,	https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/etc.2046	2.33

Groepsnaam	Biomerker	Opmerkingen en aandachtspunten	Aanzet specifieke contextvariabelen *	Referentie link met klimaat	Relevantie HBM - klimaatverandering in VL (score van 1 zwak-5 sterk)
Zware metalen	As-metabolieten	HBM4EU prioriteit, opvolging belangrijk. Indirecte link met klimaatverandering elders (Azië), meting gevalideerd, meting in milieu	Voeding, luchtkwaliteit,	https://www.nature.com/articles/s41467-019-12946-4	2.33
Zware metalen (Cd, Cu, Zn)	Cd, Zn, Cu	HBM4EU prioriteit, opvolging belangrijk. Indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen. Meting gevalideerd, meting in milieu mogelijk	Levensstijl: voeding, leefomgeving	https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.588335/full	2.33
Organofosfaat vlamvertragers (PFR's)	Metabolieten van PFR's	HBM4EU prioriteit, opvolging belangrijk. Eerder zwakke indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen. Meting gevalideerd.	Binnenmilieu luchtkwaliteit, meting in milieu	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020323229?via%3Dihub	2.67
Plastic component	Metabolieten van ftalaten + DINCH + alternatieven	HBM4EU prioriteit, opvolging belangrijk. Mogelijk zwakke indirecte link met klimaatverandering in Vlaanderen, meting gevalideerd	Levensstijl: gebruik voeding- en drankverpakking, temperatuur	https://www.favv-afsca.be/wetenschappelijkcomite/adviezen/2014/_documents/ADVIES03-2014_DOSSIER2011-03_Bijlage2_phthalates.pdf	2.33
Plastic component	BPA, BPS + mogelijk andere bisfenolen	HBM4EU prioriteit, opvolging belangrijk. Geen link met klimaatverandering in literatuur	Voeding, productgebruik	/	1
Natuurlijke toxines	Mycotoxines	Opvolging belangrijk. Indirecte link met klimaatverandering in VL, Mycotoxines in bloed meetbaar via microsampling (VAMS)	Levensstijl: voeding, binnenhuisfactoren	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26233555/	
Natuurlijke toxines	Cyanotoxines : Microcystine-LR (MC-LR), Microcystine-RR (MC-RR) en Microcystine-LR (MC-YR)	Moeilijk meetbaar en enkel acute blootstelling (uren). Toxine-specifieke IgE, IGM alternatieve proxy voor chronische blootstelling aan MC, meting in milieu	Temperatuur, gedrag (recreatie), algenbloei	https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/1354750X.2013.841756?journalCode=ibmk20	

** naast geslacht, leeftijd, roken, SES*

Tabel G-3: Longlist van biomerkers van gezondheidseffect (deel 1).

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Matrix	Methode (labo)	HBM (elders, FLEHS-1/2/3, FLEHS-4)	Aard van link met klimaat	Mogelijke impact op mens
Dehydratatie	Serum/plasma osmolaliteit	3.5	Serum	Vriespuntverlaging (AML)		Occasioneel: hitte	Dehydratatie, verhoogde cardiovasculaire belasting
Dehydratatie	Soortelijk gewicht /creatinine	3.5	Urine	Refractometrie (AML)	FLEHS-4	Occasioneel: hitte	Dehydratatie, verhoogde cardiovasculaire belasting
Nierparameters	Cystatine-C	3.5	Serum	Immunoassay (AML)	Jongerenstudie PFAS	Hitte, luchtvervuiling, chemische blootstelling, mycotoxines	Glomerulaire nierschade
Nierparameters	α1-microglobuline	3.5	Urine	Immunoassay (AML)	Jongerenstudie PFAS	Hitte, luchtvervuiling, chemische blootstelling, mycotoxines	Tubulaire nierschade
DNA-schade	Komeettest	3.7	Bloed	Single cell electroforesis & fluorescence microscopy (VITO Health)	FLEHS-4	Hitte, luchtvervuiling, chemische blootstelling, UV-blootstelling	DNA-schade kan bijdragen aan celveroudering, mutagenese en carcinogenese
DNA-schade, oxidatieve stress	8-OXOdG	3.7	Urine	ELISA (VITO Health)	FLEHS-4	↑Temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling	Kan bijdragen aan chronische aandoeningen, immuunverstoring
Cellulaire veroudering	Telomeerlengte	3.7	Bloed	Quantitative real-time polymerase chain reaction (qPCR)(UHasselt)	FLEHS-4	↑Temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling	Kan bijdragen aan chronische aandoeningen
Immuunparameters	IgE, IgA, IgG	3.8	Serum, mucus	Immunoassay (AML)	Jongerenstudie PFAS	↑Temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling	Allergie, chronische aandoeningen

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Matrix	Methode (labo)	HBM (elders, FLEHS-1/2/3, FLEHS-4)	Aard van link met klimaat	Mogelijke impact op mens
Luchtweginflammatie	Exhaled NO	3.8	Meting	NIOX (VITO Health)	FLEHS-4	Hitte, chemische blootstelling, luchtvervuiling	Inflammatie van de longen kan bijdragen aan chronische aandoeningen en immuunverstoring
Immuunparameters	WBC-bloedformule	3.8	Bloed	Flow cytometry-fluorescence (AML)	MG2021	↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling	↑Vatbaarheid infecties, allergie, chronische aandoeningen
Immuunparameters	Cytokines (IL-6, TNF-alfa, IL-8, IFN-gamma)	3.8	Serum	Immunoassay (VITO Health)	MG2021	↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling	↑Vatbaarheid infecties, allergie, chronische aandoeningen
Immuunparameters	Ultra sensitief C-reactief Proteïne	3.8	Serum	Turbidimetry (AML)	MG2021	↑Temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling	↑Vatbaarheid infecties, allergie, chronische aandoeningen
Moleculaire veranderingen	Omics-technieken o. a. proteomics Olink Target 96 Immune Response, Cardiovascular Response, DNA-adductomics, metabolomics	3.7 - 3.8	Serum, faeces, urine	Olink: Proximity Extension Assay (PEA) (VITO Health), Metabolomics & adductomics (UGent)	Gloria	Hitte, luchtvervuiling, chemische blootstelling, UV-blootstelling	Onderliggend aan vele ≠ gezondheidseffecten: DNA-schade (DNA-adductoom), metaboloom in feces, urine, speeksel en/of plasma
Cardiovasculaire parameters	Cholesterolgehalte, triglyceridengehalte	3.9	Serum	Spectrofotometrie (AML)	FLEHS-4	Hitte, luchtvervuiling, chemische blootstelling, UV-blootstelling	Cardiometabole parameters onderliggend aan vele ≠ gezondheidseffecten

Groepsnaam	Biomerker	Rapport	Matrix	Methode (labo)	HBM (elders, FLEHS-1/2/3, FLEHS-4)	Aard van link met klimaat	Mogelijke impact op mens
Cardiovasculaire parameters	Bloeddruk en hartslag, BMI	3.9	Meting	Veldwerk	FLEHS-4	Hitte, luchtvervuiling, chemische blootstelling, UV-blootstelling	Cardiovasculaire aandoeningen
Cardiometabole parameters	Insuline, leptine, glucagon	3.9	Serum	Immunoassay MSD (VITO Health)		Hitte, luchtvervuiling, chemische blootstelling	Hormoonverstoring, onderliggend aan cardiometabole aandoeningen
Huidschade	Cytokines, groeifactoren	3.10	Huidstrip	Immunoassay MSD MESO QuickPlex SQ 120 (VITO Health)	Proefpersonen, Amsterdam University	UV-blootstelling	Maat voor chronische blootstelling aan UV, kan tot huidveroudering, huidkanker leiden
Endocriene parameters voor oxidatieve en fysiologische stress	Cortisolconcentratie	3.11	Haar	LC-MS/MS (VITO Health, SDU)	FLEHS-4	↑temperatuur, ↓luchtkwaliteit, chemische blootstelling, natuurrampen	Biologische en mentale stress ↑, ↑ chronische mentale en fysieke aandoeningen
Endocriene parameters voor oxidatieve en fysiologische stress	Geglycosyleerd hemoglobine (HbA1c)	3.11	Bloed	High-pressure chromatography - spectrometry	FLEHS-3	Chemische blootstelling, temperatuur, luchtkwaliteit	Biomerker voor diabetes
Endocriene parameters	Geslachtshormonen	3.11	Serum	Immunoassay (AML)	FLEHS, Jongerenstudie PFAS	Chemische blootstelling	Hormoonverstoring
Endocriene parameters	Thyroïdstimulerend hormoon (TSH), vrij trijodothyronine (fT3), vrij thyroxine (fT4)	3.11	Serum	Immunoassay (AML)	FLEHS, Jongerenstudie PFAS	Chemische blootstelling, temperatuur	Hormoonverstoring
Cognitieve functie	NES test, Stroop test, Continuous Performance test	3.12	Batterijtest	Veldwerk	FLEHS-4	Hitte, chemische blootstelling, luchtvervuiling	Negatieve impact op cognitie

Tabel G-4: Longlist van biomerkers van gezondheidseffect (deel 2).

Groepsnaam	Biomerker	Opmerkingen en aandachtspunten	Aanzet contextvariabelen*	Referentie link met klimaat	Relevantie HBM - klimaatverandering in VL (score van 1 zwak-5 sterk)
Dehydratatie	Serum/plasma osmolaliteit	Beinvloed door hitte (niet relevant bij ouderen)	Omgevingstemperatuur, WGBT: binnenhuis, hitteperceptie en gedrag, invloed gedrag, SES, leeftijd, groen	Physiological factors characterizing heat-vulnerable older adults: A narrative review - PubMed (nih.gov)	3.33
Dehydratatie	Soortelijk gewicht /creatinine	Beinvloed door hitte (niet relevant bij ouderen)	Omgevingstemp, WGBT: binnenhuis, hitteperceptie en gedrag, invloed gedrag, SES, leeftijd, groen	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32919284/	3.33
Nierparameters	Cystatine-C	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in VL. In ontwikkeling	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26066476/	3
Nierparameters	α1-microglobuline	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in VL.	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid	https://www.milieu-en-gezondheid.be/sites/default/files/atoms/files/Alfa-1-microglobuline_nierfunctie%20%282015%29.pdf	3
DNA-schade	Komeettest	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in VL	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32745535/	3
DNA-schade, oxidatieve stress	8-OXOdG	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in VL	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32745535/	3.5
Cellulaire veroudering	Telomeerlengte	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in VL	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31691586/	3.33
Immuunparameters	IgE, IgA, IgG	Indirect beïnvloed door klimaatverandering. Totaal IgE weerspiegelt een allergisch profiel, IgE kan ook specifiek voor allergenen bepaald worden. Meting mogelijk te combineren met metingen in huisstof van een panel vaak voorkomende aeroallergenen/modellering pollen	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, woonomgeving (groen), gezondheid	Prevalence of allergic sensitization in the United States: results from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2005-2006 - PubMed (nih.gov)	3.67

Groepsnaam	Biomerker	Opmerkingen en aandachtspunten	Aanzet contextvariabelen*	Referentie link met klimaat	Relevantie HBM - klimaatverandering in VL (score van 1 zwak-5 sterk)
		in omgeving, schimmelsporen. Rol van types groen?			
Luchtweginflammatie	Exhaled NO	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in Vlaanderen.	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid, groen	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20077297/	3.5
Immuunparameters	WBC-bloedformule	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in Vlaanderen.	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, Gezondheid, groen	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20653951/	3.33
Immuunparameters	Cytokines (IL-6, TNF-alfa, IL-8, IFN-gamma)	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in Vlaanderen	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, groen	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20653951/	3.33
Immuunparameters	Ultra sensitief C-reactief Proteïne	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in Vlaanderen	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid, groen	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20653951/AML	2
Moleculaire veranderingen	Omics-technieken o. a. proteomics Olink Target 96 Immune Response, Cardiovascular Response, DNA-adductomics, metabolomics	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in Vlaanderen. In ontwikkeling, vroege moleculaire veranderingen als onderdeel van exposoom-benadering	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34934888/	2
Cardiovasculaire parameters	Cholesterolgehalte, triglyceridengehalte	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in Vlaanderen.	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid, groen	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4437587/	3.25
Cardiovasculaire parameters	Bloeddruk en hartslag, BMI	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in Vlaanderen	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid. Combinatie met wearable (IMEC)	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29108929/	3.25

Groepsnaam	Biomerker	Opmerkingen en aandachtspunten	Aanzet contextvariabelen*	Referentie link met klimaat	Relevantie HBM - klimaatverandering in VL (score van 1 zwak-5 sterk)
Cardiometabole parameters	Insuline, leptine, glucagon	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in Vlaanderen	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid. Combinatie met wearable (IMEC)	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33039261/	
Huidschade	Cytokines, groeifactoren	Directe impact van UV, niet invasieve techniek, nog niet in HBM, onderzoek bij proefpersonen na meervoudige gecontroleerde blootstelling aan UV	UV-blootstelling, gezondheid, productgebruik (zonnecrèmes)	https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1354750X.2020.1792551	3
Endocriene parameters voor oxidatieve en fysiologische stress	Cortisolconcentratie	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in VL	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, extreme events, gezondheid, groen	Assessing cortisol from hair samples in a large observational cohort: The Whitehall II study - PubMed (nih.gov)	3.67
Endocriene parameters voor oxidatieve en fysiologische stress	Geglycosyleerd hemoglobine (HbA1c)	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in VL	Levensstijl, gezondheid	-	2
Endocriene parameters	Geslachtshormonen	Mogelijk zwak indirect beïnvloed door klimaatverandering in VL	Levensstijl, gezondheid	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015300222	3
Endocriene parameters	Thyroïdstimulerend hormoon (TSH), vrij trijodothyronine (fT3), vrij thyroxine (fT4)	Mogelijk zwak indirect beïnvloed door klimaatverandering in VL	Levensstijl, gezondheid	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33535823/	3
Cognitieve functie	NES test, Stroop test, Continuous Performance test	Indirect beïnvloed door ≠ aspecten van klimaatverandering in VL.	Temperatuur, luchtkwaliteit, levensstijl, gezondheid, groen	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34896669/	2.33

** naast geslacht, leeftijd, roken, SES*

BIJLAGE H

Bijlage H geeft een overzicht van meetbare mycotoxines en metabolieten (UGent, CEMPH).

Centre of Excellence in Mycotoxicology and Public Health, Ghent University

1st July 2022 List of mycotoxins and metabolites

Multi-mycotoxin analysis by targeted LC-MS/MS

Matrices: human serum and urine

		Comments
15-Acetyldeoxynivalenol	15ADON	
3-Acetyldeoxynivalenol	3ADON	
Aflatoxin B1	AFB1	
Aflatoxin B2	AFB2	
Aflatoxin G1	AFG1	
Aflatoxin G2	AFG2	
Aflatoxin M1	AFM1	
Alternariol monomethyl ether	AME	
Alternariol	AOH	
Beauvericin	BEAU	Semiquantitative analysis
Citrinin	CIT	
Cyclopiazonic acid	CPA	
Diacetoxyscirpenol	DAS	
Deepoxy-deoxynivalenol	DOM	
Deoxynivalenol	DON	
Deoxynivalenol-3-glucoside	DON-3-G	
Enniatin A	ENN A	Semiquantitative analysis
Enniatin A1	ENN A1	Semiquantitative analysis
Enniatin B	ENN B	Semiquantitative analysis
Enniatin B1	ENN B1	Semiquantitative analysis
Fumonisin B1	FB1	
Fumonisin B2	FB2	
Fumonisin B3	FB3	
Fusarenon X	FUS-X	
Hydrolyzed Fumonisin B1	H-FB1	
HT-2 toxin	HT2	
Neosolaniol	NEO	
Nivalenol	NIV	
Ochratoxin alpha	OTα	
Ochratoxin A	OTA	
Roquefortine C	ROQ-C	
Sterigmatocystin	STERIG	
T-2 toxin	T2	
Zearalanone	ZAN	
Zearalenone	ZEN	
α-Zearalanol	Alfa-ZAL	
α-Zearalenol	Alfa-ZEL	
B-Zearalanol	Beta-ZAL	
B-Zearalenol	Beta-ZEL	
Tenuazonic acid	TA	Only in urine

Not included to date

Patulin	PAT	Serum sample pretreatment → Inadequate recoveries Urine → Presence of interferent due to the complex sample matrix

Library for multi-mycotoxin screening by LC-HRMS/MS -> >130 different mycotoxins for screening purposes.

Matrices: human serum and urine

BIJLAGE I

Bijlage I bevat de vragenlijst i.v.m. eco-anxiety (Hickman et al., 2021).

1. ***I am worried that climate change threatens people and the planet.***

0 not worried - 1 a little - 2 moderately - 3 very - 4 extremely – 5 Prefer not to say

2. ***Does climate change make you feel any of the following?*** yes / no / prefer not to say
   - Sad
   - Helpless
   - Anxious
   - Afraid
   - Optimistic
   - Angry
   - Guilty
   - Ashamed
   - Hurt
   - Depressed
   - Despair
   - Grief
   - Powerless
   - Indifferent

3. ***My feelings about climate change negatively affect my daily life (at least one of the following: Eating, concentrating, work, school, sleeping, spending time in nature, playing, having fun, relationships).***
   Yes / no / prefer not to say

4. ***Does climate change make you think any of the following?*** Yes / no / prefer not to say
   - I'm hesitant to have children
   - Humanity is doomed
   - The future is frightening
   - I won't have access to the same opportunities that my parents had
   - My family's security will be threatened (e.g. economic, social, physical security)
   - The things I most value will be destroyed
   - People have failed to take care of the planet

5. ***When I try to talk about climate change other people have ignored or dismissed me.***

Yes / no / I don't talk to other people about climate change

6. ***I am reassured by governments' action on climate change.***

0 not at all - 1 a little - 2 moderately - 3 very - 4 completely reassured. Prefer not to say

7. ***In relation to climate change I believe that my government is / other governments are...*** yes / no / prefer not to say
   - Taking my concerns seriously
   - Doing enough to avoid a climate catastrophe
   - Dismissing people's distress
   - Acting in line with climate science
   - Protecting me, the planet and/or future generations
   - Can be trusted
   - Lying about the effectiveness of the actions they're taking
   - Failing young people across the world
   - Betraying me and/or future generations

8. ***When I think about how my government is / other governments are responding to climate change I feel:*** Options: 0 not at all - 1 a little - 2 moderately - 3 very - 4 extremely… Prefer not to
   - Anguished
   - Abandoned
   - Afraid
   - Hopeful
   - Angry
   - Valued
   - Ashamed
   - Belittled
   - Protected

BIJLAGE J

Bijlage J beschrijft een evaluatie van de nauwkeurigheid van zelfrapportage om het huidtype te bepalen volgens Fitzpatrick huidtypes I- VI zoals beschreven in Eilers et al. (Eilers et al., 2013).

Figuur J-1: Verschillende huidtypes. Bron: https://www.kanker.be/welk-huidtype-heb-jij .

Hieronder volgt een korte beschrijving van Fitzpatrick huidtypes 1 t.e.m. 6.

Type 1: Personen met dit huidtype hebben lichtblauwe, lichtgrijze of lichtgroene ogen en natuurlijk blond of rood haar. Ze hebben tevens een ivoorkleurige huid voor de blootstelling aan de zon. Wanneer deze personen blootgesteld zijn geweest aan de zon, verbranden en vervellen ze altijd, bruinen ze niet en krijgen ze te maken met sproeten.

Type 2: Blauwe, grijze of groene ogen en natuurlijk blond haar zijn kenmerkend bij personen met huidtype twee. Voor blootstelling aan zonlicht hebben ze een lichte huidskleur. Zich verbranden en vervelling komen vaak voor. Ze bruinen bovendien slecht. Vaak zijn ook sproeten aanwezig op de aan de zon blootgestelde gebieden.

Type 3: personen met hazelnootkleurige of bruine ogen en van nature donkerblond of lichtbruin haar. De huidskleur is donkerwit à goudkleurig (licht getint). Af en toe bruinen ze en zijn tekenen van verbranding aanwezig. De huid bevat mogelijk sproeten.

Type 4: personen met een olijfkleurige tot bruine huid, bruin of zwart haar en donkerbruine ogen. Na blootstelling aan de zon verbranden ze niet maar bruinen ze wel vaak. Sproeten komen niet zo vaak voor bij dit huidtype.

Type 5: personen met een bruine of donkerbruine huid, donkerbruine ogen en van nature donkerbruin of zwart haar. Verbranding door blootstelling aan de zon is zeldzaam. Ze bruinen altijd en hebben zelden sproeten. Wanneer de huid een hoog melaninegehalte bevat, gaat de huid sneller bruinen in plaats van te verbranden.

Type 6: personen met een donkerbruine tot zwarte huid, bruinachtige zwarte ogen en natuurlijk zwart haar. De zonreactie van dit huidtype is: nooit sproeten, geen verbranding en altijd een donkere kleur krijgen.

Bij personen met huidtype 3 tot 6 is het risico op schadelijke effecten kleiner dan bij mensen met huidtypen 1 of 2.

BIJLAGE K

Bijlage K geeft een prijsinschatting voor de analyse van de geselecteerde biomerkers.

Geselecteerde biomerkers	Matrix	Labo	Richtprijs per deelnemer (EUR)	Referentiemonitoring n=200	Dosis-effect associaties n=300
PAK's	U	VITO GOAL	225.0	45000	67500
Koolstoflading (bloed)	B	UHasselt	60.0	12000	18000
Pesticiden: TCPY (chlorpyrifos), 3-PBA (permethrin, cypermethrin, deltamethrin),2,4-D (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid)	U	SDU	75.0	15000	22500
Pesticiden: Glyfosaat, ampa	U	Bremen	52.0	10400	15600
Zware metalen bloed (brede screening incl. Cd, Cu, Zn)	B	VUB	80.0	16000	24000
Zware metalen urine (brede screening incl. Cd, Cu, Zn)	U	VUB	80.0	16000	24000
Mycotoxines (brede screening, 2 metingen in urine) *	B	UGent CEMPH	120.0	24000	36000
Mycotoxines (brede screening, 2 metingen in bloed via VAMS) *	U	UGent CEMPH	125.0	25000	37500
Leukocytenaantal en -formule	B	AML	2.7	538	807
T, B, NK-cellen, T cellen T4/T8	B	AML	19.4	3884	5826
NIOX Exhaled NO	A	VITO	18.0	3600	5400
Cytokines (set van 4)	B	VITO	40.0	8000	12000
hsCRP (inflammatie in bloed)	B	AML	5.5	1100	1650
Totaal IgE	B	AML	12.6	2520	3780
Allergeen specifiek IgE per allergeen	B	AML	13.5	2700	4050
8-oxodG	U	VITO	33.0	6600	9900
Telomeerlengte (zonder DNA-extractie)	B	UHasselt	25.0	5000	7500
HDL, LDL, Triglyceriden, Cholesterol	B	AML	8.0	1604	2406
Cortisol in haar	H	SDU	47.0	9400	14100
Cystatine C	U	AML	17.0	3400	5100
Alfa-1-microglobuline	U	AML	17.0	3400	5100
Geglycosyleerd hemoglobine (HbA1c) bij niet-diabetici	B	AML	6.5	1300	1950
Soortelijk gewicht urine, creatinine (als confounder)	U	AML	3.0	600	900
TOTAAL BUDGET Biomerkers			**1085.2**	**217046**	**325569**

*prijs afhankelijk van samenwerkingsovereenkomst