

Instrumenten voor evaluatie van gezondheidsimpact door hitte in Vlaanderen, nu en in de toekomst

Studie uitgevoerd in opdracht van departement Zorg

Referentie: 2023/RMA/R/3065
Oktober 2026

UHASSELT
KNOWLEDGE IN ACTION

vito
Vision on technology for a better world
vito.be

Instrumenten voor evaluatie van gezondheidsimpact door hitte in Vlaanderen, nu en in de toekomst

VITO in samenwerking met UHasselt

VITO
Boeretang 200
2400 MOL
België
BTW No: BE0244.195.916
vito@vito.be – www.vito.be
IBAN BE34 3751 1173 5490 BBRUBEBB

Universiteit Hasselt
Martelarenlaan 42
3500 HASSELT
België
BTW No: BE0208.359.859
dsi@uhasselt.be – uhasselt.be

vito
Vision on technology for a better world
vito.be

AUTEURS

Verachtert, Els, vito
Lauwaet, Dirk, vito
De Nocker, Leo, vito
Van Esch, Leen, vito
Van de Vel, Karen, vito
Janssen, Liliane, vito
D'haese Vincent, vito
Stouthuysen, Peter, vito/Datavisser

Faes, Christel, UHasselt
Duarte Elisa, UHasselt

Wijze van citeren:
Verachtert E., Faes C., Lauwaet D., De Nocker L., Van Esch L., Van de Vel K., Janssen L., D'haese V., Stouthuysen P., Duarte E. (2026). Instrumenten voor evaluatie van gezondheidsimpact door hitte in Vlaanderen, nu en in de toekomst. Studie uitgevoerd door VITO en UHasselt i.o.v. Departement Zorg, Vlaamse Overheid.

Dit rapport is de weerslag van een onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek op basis van de stand van de kennis van wetenschap en techniek beschikbaar bij VITO op het moment van het onderzoek. Alle intellectuele eigendomsrechten, waaronder het auteursrecht, op dit rapport berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. Dit rapport kan zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO niet geheel of gedeeltelijk worden gereproduceerd of worden gebruikt voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin. Tenzij uitdrukkelijk anders bepaald is de informatie zoals verstrekt in dit rapport van vertrouwelijk aard en kan dit rapport, of delen ervan, niet worden verspreid aan derden. In het geval dat reproductie of verspreiding wel is toegestaan, vb. door de vermelding "algemene verspreiding", is bronvermelding verplicht.

SAMENVATTING

In Vlaanderen zullen meer en langere hittegolven het risico op een hitteslag, cardiovasculaire of respiratoire aandoeningen verhogen, alsook het risico op vroegtijdige sterfte. Specifiek voor hitte is er nood aan meer inzicht in welke groepen en locaties het meest kwetsbaar zijn voor hitte en hoe kwetsbaar deze juist zijn om de opmaak van de beleidsplannen te ondersteunen. Dat doen we in deze studie door:

1. de hittegerelateerde sterfte in kaart te brengen
2. de hittekwetsbaarheidskaart te vernieuwen

Om de **hittegerelateerde sterfte** in kaart te brengen, wordt eerst de relatie tussen blootstelling en respons onderzocht. Er wordt hierbij rekening gehouden met het feit dat het effect van temperatuur op de sterfte vertraagd is in de tijd. Op basis van het effect van hitte op mortaliteit tijdens de zomermaanden van 2000-2019 in Vlaanderen, identificeren we subgroepen van de bevolking, volgens leeftijd en geslacht, die kwetsbaarder zijn voor hittegerelateerde sterfte. We vinden dat individuen in de oudere leeftijdsgroepen in Vlaanderen meer risico hebben op sterfte omwille van hoge temperaturen. De relatieve toename van sterfgevallen bij hoge temperaturen onder 85+ jaar en 65-84 jaar oud is veel groter voor sterfte aan de luchtwegen dan voor hart- en vaatziekten. Het effect van hitte duurt het langst bij 85+-jarigen, gevolgd door 65-84-jarigen, en het kortst bij de jongste leeftijdsgroep. In de eerste twee dagen na blootstelling aan extreme hitte lopen mensen jonger dan 64 jaar een groter risico op overlijden door luchtwegaandoeningen dan op koele dagen.

De relatieve risico's per leeftijdsgroep en bij een bepaalde temperatuur worden gebruikt om de verwachte hittegerelateerde sterfte per gemeente te berekenen. Dit gebeurt voor drie scenario's:

- de huidige situatie (tijdreeks 2000-2019),
- een klimaatscenario waarbij de temperatuursverandering in een hoog klimaatscenario (+7,2°C over 100 jaar, zie ook begrippenlijst; VMM, 2015) voor 2050 in rekening gebracht wordt, en
- een toekomstscenario waarbij naast de temperatuursverandering ook de bevolkingsprognoses voor 2050 meegenomen worden. In het laatste scenario wordt de bevolkingsverandering ruimtelijk verspreid over Vlaanderen volgens het ruimtelijke scenario 'Beleidsplan Ruimte Vlaanderen' (Vermeiren et al., 2019).

Op basis van de dosis-effectrelaties voor de nachttemperatuur Tmin wordt de hittegerelateerde sterfte geschat op 461 overlijdens per jaar in de periode 2000-2019 en verwachten we dat dit zal toenemen tot 2904 overlijdens per jaar in de toekomst, rekening houdend met de bevolkingsprognoses en ruimtelijke spreiding ervan (hoog klimaatscenario 2050 incl. vergrijzing). Dit is berekend voor een gemiddelde zomer op basis van 20-jarige tijdsreeksen, en opgeteld voor alle leeftijdscategorieën. De relatieve stijging in hitte-gerelateerde mortaliteit is vooral te wijten aan de klimaatsverandering. Daarbovenop zal er ook een absolute stijging zijn omwille van het aantal 85-plussers.

We schatten het aantal **verloren levensjaren** door hittestress op ca. 4.800 per zomer voor de huidige situatie (Tabel 6). Als we de klimaatverandering en bevolkingsprognoses beiden in rekening brengen zou dat in de toekomst (hoog klimaatscenario 2050 incl. vergrijzing) kunnen oplopen tot ca. 27.000 verloren levensjaren per zomer in Vlaanderen. Het totaal aantal verloren levensjaren komt overeen met een kost van 765 miljoen euro voor een gemiddelde

Dit rapport is de weerslag van een onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek op basis van de stand van de kennis van wetenschap en techniek beschikbaar bij VITO op het moment van het onderzoek. Alle intellectuele eigendomsrechten, waaronder het auteursrecht, op dit rapport berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. Dit rapport kan zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO niet geheel of gedeeltelijk worden gereproduceerd of worden gebruikt voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin. Tenzij uitdrukkelijk anders bepaald is de informatie zoals verstrekt in dit rapport van vertrouwelijk aard en kan dit rapport, of delen ervan, niet worden verspreid aan derden. In het geval dat reproductie of verspreiding wel is toegestaan, vb. door de vermelding "algemene verspreiding", is bronvermelding verplicht.

zomer in de huidige situatie en meer dan 5,5 miljard euro/zomer in de toekomst (hoog klimaatscenario 2050 incl. vergrijzing) (Tabel 7).

In het tweede deel van de studie wordt de **hittekwetsbaarheidskaart** geactualiseerd. Deze kaart brengt in beeld waar in Vlaanderen doelgroepen met een verhoogde sensitiviteit aan hittestress wonen op locaties met een verhoogde blootstelling. Hittestress is de last door hoge temperaturen, die zich uit in diverse lichamelijke klachten, waarbij mensen de warmte niet kwijt kunnen. Merk op dat het hier gaat over gezondheidsklachten en slecht functioneren in de bredere zin en niet enkel over vroegtijdige sterfte door hitte zoals in deeltaak 1. De verhoogde sensitiviteit aan hittestress wordt gevat in leefomstandigheden die gezondheidsongelijkheid verklaren (socio-economische parameters), indicatoren die verband houden met de gevoeligheid aan hittestress (leeftijd, kwetsbare instellingen) en indicatoren die betrekking hebben tot blootstelling aan hittestress (groen in de buurt). Deze indicatoren worden gecombineerd tot een totale kwetsbaarheidskaart en vervolgens gecombineerd met de hittestress tot de hittekwetsbaarheid. De gemodelleerde hittebelasting in termen van ‘hittegolfgraaddagen’ wordt gebruikt als maat voor de hittestress. Het resultaat is een kaart met per statistische sector een score tussen 0 en 10 als maat voor de hittekwetsbaarheid van de wijk. Hoe hoger, hoe kwetsbaarder voor hittestress.

De resultaten van beide onderdelen zijn te raadplegen in interactieve online dashboards.

Dit rapport is de weerslag van een onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek op basis van de stand van de kennis van wetenschap en techniek beschikbaar bij VITO op het moment van het onderzoek. Alle intellectuele eigendomsrechten, waaronder het auteursrecht, op dit rapport berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (“VITO”), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. Dit rapport kan zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO niet geheel of gedeeltelijk worden gereproduceerd of worden gebruikt voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin. Tenzij uitdrukkelijk anders bepaald is de informatie zoals verstrekt in dit rapport van vertrouwelijk aard en kan dit rapport, of delen ervan, niet worden verspreid aan derden. In het geval dat reproductie of verspreiding wel is toegestaan, vb. door de vermelding “algemene verspreiding”, is bronvermelding verplicht.

INHOUDSTAFEL

Auteurs I
Samenvatting II
Inhoudstafel IV
Lijst van Figuren VI
Lijst van tabellen VII
1 Inleiding 1
1.1 Doelstelling van de opdracht 1
2 Deeltaak 1: Hittegerelateerde sterfte 2
2.1 Doelstelling 2
2.2 Methodologie in grote lijnen 2
2.3 Model voor de relatieve risico's 4
2.3.1 Resultaten (samenvatting van Bijlage A) 5
2.4 Hittegerelateerde sterfte voor verschillende ruimtelijke niveaus 5
2.4.1 Data 5
2.4.2 Methode 7
2.4.3 Resultaten Vlaanderen 10
2.4.4 Resultaten per gemeente 11
2.4.5 Resultaten andere ruimtelijke niveaus 13
2.4.6 Discussie 14
2.5 Gezondheidsimpact in verloren (gezonde) levensjaren en economische kost 15
2.5.1 Methode 15
2.5.2 Resultaten 22
2.5.3 Discussie 23
3 Deeltaak 2: Actualisatie en herziening van de hittekwetsbaarheidskaart 25
3.1 Doelstelling 25
3.2 Methode 25
3.2.1 Evaluatie van de kwetsbaarheidsindicatoren 25
3.2.2 Evaluatie van de weging 25
3.2.3 Berekeningen per statistische sector 26
3.3 Resultaten en discussie 27
3.3.1 Deelindicatoren hittekwetsbaarheid 27
3.3.2 Totale kwetsbaarheidskaarten 32
4 Deeltaak 3: Visualisatie in tool 35
4.1 Doelstelling 35
4.2 Methode 35

Dit rapport is de weerslag van een onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek op basis van de stand van de kennis van wetenschap en techniek beschikbaar bij VITO op het moment van het onderzoek. Alle intellectuele eigendomsrechten, waaronder het auteursrecht, op dit rapport berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. Dit rapport kan zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO niet geheel of gedeeltelijk worden gereproduceerd of worden gebruikt voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin. Tenzij uitdrukkelijk anders bepaald is de informatie zoals verstrekt in dit rapport van vertrouwelijk aard en kan dit rapport, of delen ervan, niet worden verspreid aan derden. In het geval dat reproductie of verspreiding wel is toegestaan, vb. door de vermelding "algemene verspreiding", is bronvermelding verplicht.

4.3 Resultaten 35
5 Conclusies 40
Literatuurlijst 42
Begrippenlijst 45
Bijlage A: The impact of heat on respiratory, cardiovascular and all-cause mortality in Flanders during the summers of 2000-2019 46
Bijlage B: Regression analysis for definition of Heat-vulnerability index 53

Dit rapport is de weerslag van een onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek op basis van de stand van de kennis van wetenschap en techniek beschikbaar bij VITO op het moment van het onderzoek. Alle intellectuele eigendomsrechten, waaronder het auteursrecht, op dit rapport berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. Dit rapport kan zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO niet geheel of gedeeltelijk worden gereproduceerd of worden gebruikt voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin. Tenzij uitdrukkelijk anders bepaald is de informatie zoals verstrekt in dit rapport van vertrouwelijk aard en kan dit rapport, of delen ervan, niet worden verspreid aan derden. In het geval dat reproductie of verspreiding wel is toegestaan, vb. door de vermelding "algemene verspreiding", is bronvermelding verplicht.

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1 Schematische weergave van de aanpak voor het berekenen van de hittegerelateerde sterfte. 2
Figuur 2: Verdeling van de verwachte hittegerelateerde mortaliteit (overlijdens/zomer in een gemiddeld jaar) per leeftijdscategorie. 11
Figuur 3: Relatieve hittegerelateerde mortaliteit per zomer voor 85+, alle doodsoorzaken (per 1000 inwoners). 12
Figuur 4: Aantal verwachte hittegerelateerde overlijdens per zomer voor 85+, alle doodsoorzaken (absolute aantallen). 13
Figuur 5: Kaart met de verdeling van de synthese-index hittekwetsbaarheid over de Vlaamse statistische sectoren versie 1/01/2025 34
Figuur 6: Print screen van het dashboard “Hittegerelateerde sterfte” 36
Figuur 7: Print screen van het dashboard “Hittekwetsbaarheid Vlaanderen” versie oktober 2026 37
Figuur 8: Print screen van het dashboard “Hittekwetswaarheidskaart per gemeente” versie oktober 2026 38
Figuur 9: Print screen van het dashboard “Deelindicatoren hittekwetsbaarheid per gemeente” – selectie sociaal-economische status versie oktober 2026 39

Dit rapport is de weerslag van een onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek op basis van de stand van de kennis van wetenschap en techniek beschikbaar bij VITO op het moment van het onderzoek. Alle intellectuele eigendomsrechten, waaronder het auteursrecht, op dit rapport berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (“VITO”), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. Dit rapport kan zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO niet geheel of gedeeltelijk worden gereproduceerd of worden gebruikt voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin. Tenzij uitdrukkelijk anders bepaald is de informatie zoals verstrekt in dit rapport van vertrouwelijk aard en kan dit rapport, of delen ervan, niet worden verspreid aan derden. In het geval dat reproductie of verspreiding wel is toegestaan, vb. door de vermelding “algemene verspreiding”, is bronvermelding verplicht.

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Overzicht van de scenario's voor hittegerelateerde mortaliteit. 3
Tabel 2: Vergelijking van de hittegerelateerde mortaliteit voor een gemiddeld jaar berekend op basis van Tmin, Tgem en Tmax. 10
Tabel 3: Gemiddelde levensverwachting per leeftijdscategorie (Federaal Planbureau; op basis van sterftecijfers en longitunale levensverwachting, dus rekening houdend met verwachte verbeteringen in de loop van hun leven)..... 16
Tabel 4: Stappen in de berekeningswijze voor economische waardering sterfte per leeftijdscategorie 19
Tabel 5: Gezondheidsimpact uitgedrukt in verloren levensjaren (VLJ) voor een gemiddelde zomer, met mortaliteit op basis van alle doodsoorzaken en Tmin in Vlaanderen. 22
Tabel 6: Gezondheidsimpact uitgedrukt in verloren gezonde levensjaren (VGLJ) voor een gemiddelde zomer, met mortaliteit op basis van alle doodsoorzaken en Tmin in Vlaanderen. 22
Tabel 7: Gezondheidsimpact uitgedrukt economische kost (in k euro) voor een gemiddelde zomer, met mortaliteit op basis van alle doodsoorzaken en Tmin in Vlaanderen. 23
Tabel 8: Herschaling van de indicator bevolkingsdichtheid naar scores tussen 0 en 10 27
Tabel 9: Overzicht van de indicatoren 28
Tabel 10: Gewichten van de deelindicatoren in de totale kwetsbaarheid. 32
Tabel 11: Herschaling van de synthese-index hittekwetsbaarheid naar scores tussen 0 en 10 34

Dit rapport is de weerslag van een onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek op basis van de stand van de kennis van wetenschap en techniek beschikbaar bij VITO op het moment van het onderzoek. Alle intellectuele eigendomsrechten, waaronder het auteursrecht, op dit rapport berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. Dit rapport kan zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO niet geheel of gedeeltelijk worden gereproduceerd of worden gebruikt voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin. Tenzij uitdrukkelijk anders bepaald is de informatie zoals verstrekt in dit rapport van vertrouwelijk aard en kan dit rapport, of delen ervan, niet worden verspreid aan derden. In het geval dat reproductie of verspreiding wel is toegestaan, vb. door de vermelding "algemene verspreiding", is bronvermelding verplicht.

1 INLEIDING

Vlaanderen voert een preventief gezondheidsbeleid, men beoogt hierbij een daling van de ziektelast door het voorkomen, de vroegdetectie en de interventie bij gezondheidsschade. Hoe vroeger er preventief kan ingegrepen worden, hoe groter de gezondheidswinst, of hoe geringer de gezondheidsschade. Beleidsplannen worden opgemaakt met als doel de gezondheid van de bevolking te beschermen, te behouden en te bevorderen.

De voorziene negatieve impact van klimaatverandering op gezondheid staat niet langer ter discussie: de wereldwijde temperatuurstijging leidt tot een toename van hittegerelateerde aandoeningen, allergieën, water-, voedsel- en vectorgebonden ziekten. Ook extreme weersituaties zoals droogte, hevige stormen en neerslag zullen hun tol eisen, met daarnaast een verhoogd risico op mentale problemen in de maatschappij als gevolg. De meest kwetsbare groepen zullen disproportioneel hard getroffen worden, waardoor sociale ongelijkheid verder in de hand wordt gewerkt. Hitte is één van de klimaatgerelateerde stressoren waar het departement Zorg zich op focust (naast bv. luchtvervuiling, UV, vectoren, allergenen en water-/voedsel-gebonden aandoeningen). Het in kaart brengen van de gezondheidsimpact door hitte, nu en in de toekomst, is een belangrijke stap voor het preventieve klimaatgezondheidsbeleid en heeft als doel prioritaire locaties en kwetsbare doelgroepen te identificeren en op die manier actoren gerichter acties te laten nemen. Het ontsluiten van klimaatgezondheidsdata kan het draagvlak vergroten om klimaatacties te nemen.

1.1 Doelstelling van de opdracht

In Vlaanderen zullen meer en langere hittegolven het risico op een hitteslag, cardiovasculaire of respiratoire aandoeningen verhogen, alsook het risico op vroegtijdige sterfte. Een kwaliteitsvol preventief klimaatgezondheidsbeleid is nodig om ons voor te bereiden op en te beschermen tegen de gevolgen van het veranderend klimaat. Specifiek voor hitte is er nood aan meer inzicht in welke groepen en locaties het meest kwetsbaar zijn voor hitte en hoe kwetsbaar deze juist zijn om de opmaak van de beleidsplannen te ondersteunen.

Deze opdracht focust zich op de gezondheidsimpact door hitte. Het in kaart brengen van deze impact, nu en in de toekomst, is een belangrijke stap voor het preventieve klimaat-gezondheidsbeleid. De resultaten van deze studie zullen gebruikt worden om:

- het preventiebeleid naar prioritaire settings en doelgroepen met betrekking tot hitteactieplannen aan te sturen. Deze prioritaire doelgroepen kunnen afgelijnd worden op basis van fysiologische kwetsbaarheid, sociaal-economische kwetsbaarheid, ongelijke verdeling van blootstelling aan hitte, of een combinatie van bovenstaande determinanten
- de intermediairs (medisch milieukundigen (MMKs)) en actoren in het veld te ondersteunen om preventieve acties gerichter te implementeren
- de burgers, lokale actoren én het beleid (niet alleen zorg, maar alle beleidsdomeinen) te motiveren om te investeren in klimaatadaptatie en -mitigatie.

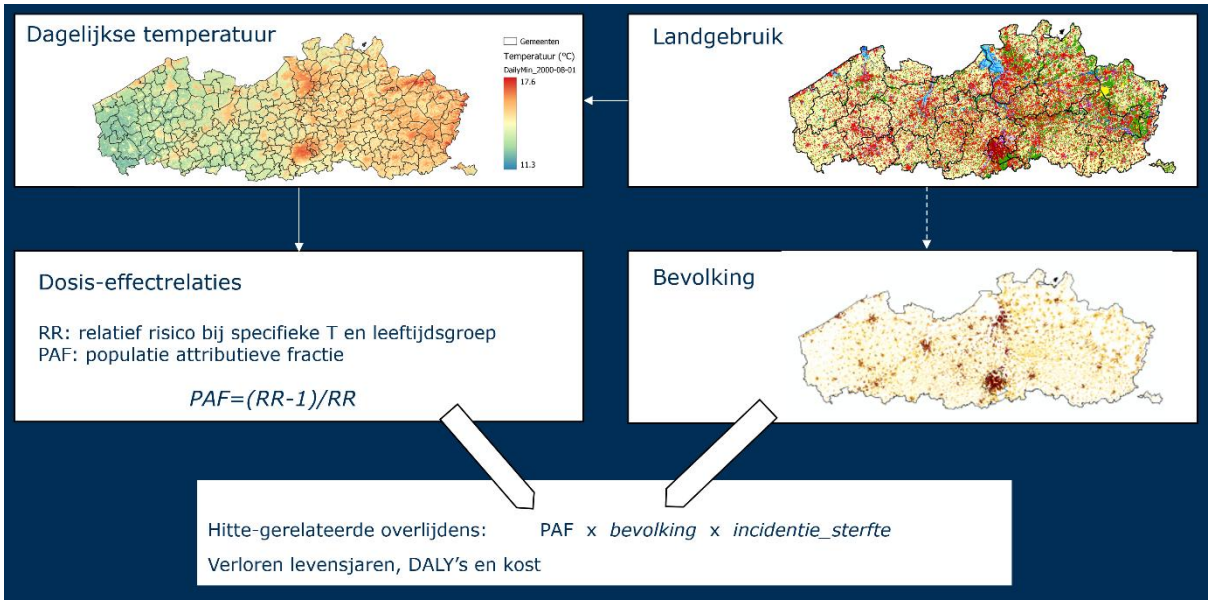
2 DEELTAAK 1: HITTEGERELATEERDE STERFTE

2.1 Doelstelling

Het doel van deeltaak 1 is het doorrekenen van hittegerelateerde mortaliteitsimpact op verschillende ruimtelijke niveaus in Vlaanderen, rekening houdend met kwetsbaarheden van de bevolking. Een eerste aanzet hiertoe werd gedaan door de Partnerorganisatie Milieugezondheidzorg (PO-MGZ). Deze doorrekening baseerde zich op de dosis-effectrelaties van de hitte-mortaliteitstudie van Faes C., 2020 en situeerde zich op gemeenteniveau. De kwetsbaarheden werden hier echter nog niet afdoende meegenomen, zo ook geen andere ruimtelijke niveaus.
Deeltaak 1 omvat dus de uitbreiding van de initiële berekening naar andere ruimtelijke niveaus dan gemeenten, zoals eerstelijnszone, Logo, provincie, arrondissement, regio. Ook zal er bij deze uitbreiding rekening gehouden worden met kwetsbaarheidskenmerken van de bevolking, voor zover dit haalbaar is.
Deze berekening gebeurt zowel voor de huidige situatie als het toekomstige hoog klimaatscenario (VMM) voor 2050.

2.2 Methodologie in grote lijnen

Figuur 1 toont in grote lijnen de gevolgde methode om de hittegerelateerde sterfte te berekenen.



Figuur 1 Schematische weergave van de aanpak voor het berekenen van de hittegerelateerde sterfte.

Om het aantal vroegtijdige overlijdens (oversterfte) als gevolg van hitte in te schatten passen we dosis-effectrelaties toe op het aantal natuurlijke sterftes in de zomer (mei-september) per geslacht en leeftijdsgroep (zie onderdeel 2.3 Model voor de relatieve risico's). Als resultaat bekomen we relatieve risico's (RR) bij een bepaald temperatuur en specifiek per bevolkingsgroep.

De hittegerelateerde mortaliteit wordt berekend voor 3 scenario's: de huidige situatie, een klimaatscenario en een toekomstscenario (Tabel 1). In het klimaatscenario wordt enkel de verwachte temperatuursverandering in rekening gebracht, in het toekomstscenario worden, naast de verwachte temperatuursverandering, ook de bevolkingsprognoses meegenomen.

Om een inschatting te maken van de sterfte die geassocieerd is aan hitte gebruiken we het concept van de populatie attributieve fractie (PAF) dat door WHO wordt vooropgesteld in dit type analyses. We definiëren hier de PAF als:
PAF =(RR-1)/RR, waarbij
RR = relatieve risico bij een bepaalde temperatuur en specifiek per bevolkingsgroep

Het aantal extra overlijdens (oversterfte) op een zomerdag wordt berekend als:

PAF x *bevolking* x *sterfte tijdens een gemiddelde zomerdag*.

waarbij:

PAF: population attributable risk fraction.
Bevolking: aantal inwoners van de beschouwde bevolkingsgroep.
Sterfte tijdens een gemiddelde zomerdag: dit is het sterftepercentage per zomerdag in Vlaanderen in de zomer van 2019 (o.b.v. de beschouwde doodsoorzaken en per leeftijdsgroep). Dit is een constante waarde per doodsoorzaak en per leeftijdsgroep op basis van de gewone sterfte-incidentie en staat los van de temperatuur.

De formule wordt toegepast per zomerdag tussen 1 april en 30 september en de incidenties worden dan gesommeerd over de hele zomer. Omdat er gewerkt wordt met klimaatreeksen van 20 jaar worden de berekeningen niet voor 1 jaar gedaan, maar voor een periode van 20 jaren (2040 – 2059) om zo tot een gemiddelde voor 2050 te komen. Ook voor het **huidige scenario** wordt de temperatuurreeks van 2000-2019 gebruikt en het gemiddelde genomen. De berekeningen gebeuren op dagbasis op het UrbClim rooster van 100 m x 100 m. Voor de bevolkingsdata wordt 2019 als referentiejaar gebruikt voor het huidig scenario. **In het klimaatscenario wordt enkel de verwachte temperatuursverandering in rekening gebracht, in het toekomstscenario ook de bevolkingsprognoses en de verdichtingstrend.** De bevolkingsprognoses (aantal, leeftijdscategorie) van het Federaal Planbureau worden gebruikt in combinatie met het Ruimtemodel Vlaanderen voor een ruimtelijke spreiding van de bevolking in 2050. Meer info over de gebruikte data en de verschillende scenario's is te vinden in onderdeel 2.4 Hittegerelateerde sterfte voor verschillende ruimtelijke niveaus.

Tabel 1: Overzicht van de scenario's voor hittegerelateerde mortaliteit.

Scenario	Beschrijving	Klimaat	Landgebruik/ bevolking
Huidig	Huidig klimaat (2000-2019)	2019	2019
Klimaatscenario	Hoog klimaatscenario (2050 - enkel temperatuur)	2050	2019
Toekomstscenario	Hoog klimaatscenario (2050 - incl. vergrijzing*)	2050	2050

** bevolkingsprognoses én ruimtelijke verdichting.*

Naast de mortaliteit wordt gezondheidsimpact ook in termen van totale ziektelast en **economische kost** uitgedrukt. De details hierover zijn terug te vinden in onderdeel 2.5 (Gezondheidsimpact in verloren (gezonde) levensjaren en economische kost).

2.3 Model voor de relatieve risico's

De dosis-effectrelaties waarmee gewerkt wordt met betrekking tot hitte, focussen zich op effecten van "alle oorzaken" en "oorzaakspecifieke mortaliteit (cardiovasculair I00-I99 en respiratoir J00-J99)". We starten hierbij met de modellen zoals beschreven in Faes (2020), maar de periode wordt uitgebreid naar 2000-2019 (i.p.v. 2000-2017). Aangezien er interesse is voor hitte ligt de focus op de zomerperiode. Het model werd opgesteld op basis van data voor de periode 15 mei tot 30 september, maar gezien de steeds langere periode waarin hittegolven voorkomen worden de relaties daarna wel toegepast op de periode 1 april – 30 september. Hiervoor maken we gebruik van een Poisson regressie met *distributed lag non-lineare modellen* (DLNM) om de relatie tussen mortaliteit en hitte te schatten. DLNM worden gebruikt om enerzijds een flexibele (niet-lineaire) relatie toe te laten voor zowel de hitte-mortaliteitsrelatie als een vertraagde reactie tussen hitte en mortaliteit (*lagged response*). Gebaseerd hierop wordt het totale hitte-mortaliteitseffect bepaald (gecumuleerd over de totale lag-periode). In deze modellering laten we toe dat de hitte-relatie verschillend is voor populatiegroepen van verschillende leeftijd en geslacht. Bijkomend werd onderzocht of er verschillen zijn in de hitte-relatie tussen verschillende regio's (gebaseerd op onder andere populatiedichtheid en verhardingsgraad in de gemeente) (zie verder).

De data die verzameld werden voor deze analyse zijn:

- Temperatuur-gegevens (temperatuur minimum, maximum en gemiddelde) op dagbasis en gemeente-niveau voor periode 2000-2019 (VITO)
- Mortaliteitsgegevens op dagbasis en gemeente-niveau voor periode 2000-2019, met informatie over leeftijdsgroep, geslacht en doodsoorzaak (dZORG)
- Bevolkingsgegevens voor periode 2018-2019 per leeftijdsgroep, geslacht en gemeente (StatBel)

Er wordt bestudeerd welke kwetsbaarheden van de bevolking geïntegreerd konden worden in het mortaliteitsimpact model. Hierbij wordt gekeken of factoren die verschillend zijn tussen de gemeenten al dan niet belangrijk zijn, en welke impact deze factoren hebben.

Belangrijke determinanten m.b.t. kwetsbare groepen die onderzocht werden zijn:

- *Demografische kenmerken* (leeftijdsgroepen): gebaseerd op de analyses concludeerden we dat de verschillen belangrijk kunnen zijn
- *Geslacht*: gebaseerd op de analyses concludeerden we dat de verschillen belangrijk kunnen zijn
- *Socio-economische determinanten*, nl de afwijking van mediaan inkomen t.o.v. het Vlaams mediane inkomen. Gebaseerd op de analyses werd geen consistent effect gevonden.
- *Stedelijke versus landelijke matrix*: hiervoor werd gebruik gemaakt van de bevolkingsdichtheid als maat voor de verstedelijking. De resultaten waren echter niet consistent, mogelijks door de complexiteit van het model.

2.3.1 Resultaten (samenvatting van Bijlage A)

In deze studie bestuderen we het effect van hitte op mortaliteit tijdens de zomermaanden van 2000-2019 in Vlaanderen. Hierin willen we subgroepen van de bevolking identificeren, volgens leeftijd en geslacht, die kwetsbaarder zijn voor hittegerelateerde sterfte.
Het effect van temperatuur op sterfte is vertraagd in de tijd. Bij het onderzoek naar de relatie tussen blootstelling aan hitte en respons , maken we gebruik van modellen die de tijdsstructuur van het effect incorporeren om de reeks uitkomsten vast te leggen die zich voordoen in een periode ná de blootstellingsgebeurtenis.
We vinden dat individuen in de oudere leeftijdsgroepen in Vlaanderen meer risico hebben op sterfte omwille van hoge temperaturen. De relatieve toename van sterfgevallen bij hoge temperaturen bij 85+ jaar en 65-84 jaar oud is veel groter voor sterfte door luchtwegaandoeningen dan sterfte door hart- en vaatziekten. Het effect van hitte duurt het langst bij 85+-jarigen, gevolgd door 65-84-jarigen, en het kortst bij de jongste leeftijdsgroep (0-64 jarigen). In de eerste twee dagen na blootstelling aan extreme hitte lopen mensen jonger dan 64 jaar een groter risico op overlijden door luchtwegaandoeningen dan op koele dagen.

Het uitgebreide (Engelstalige) verslag inclusief grafieken is terug te vinden in Bijlage A.

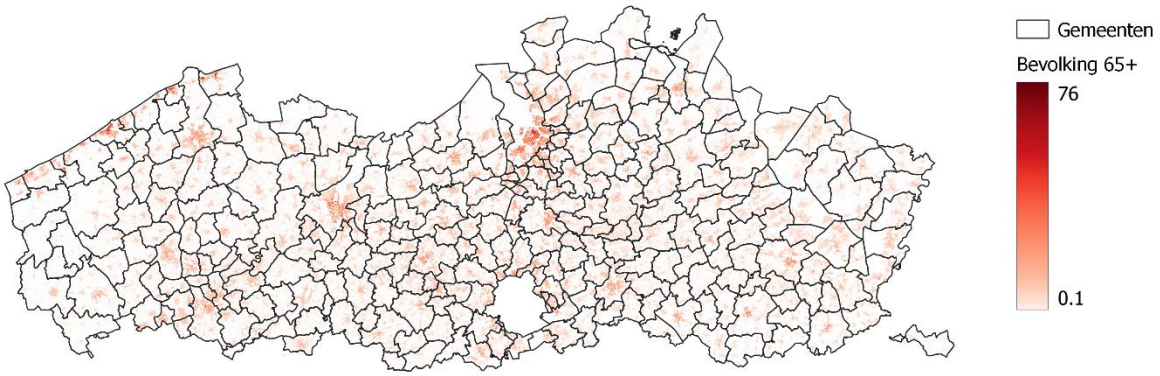
2.4 Hittegerelateerde sterfte voor verschillende ruimtelijke niveaus

De dosis-effectrelaties (relatieve risico's) worden gebruikt om de hittegerelateerde sterfte te bepalen, respectievelijk voor alle doodsoorzaken, en voor de cardiovasculaire en respiratoire oorzaken apart.

2.4.1 Data

2.4.1.1 Bevolking

De inwonerskaart toestand 2019 (Geopunt) op 100x100m resolutie wordt gebruikt als bron voor de geografische spreiding van de bevolking. Het aantal inwoners per leeftijdscategorie is beschikbaar op statistische sectorniveau (Provincie In Cijfers, 2019). Deze verdeling per statistische sector wordt uniform toegepast op de gedetailleerde bevolkingsgegevens per ha (100x100m). Met andere woorden, voor elke leeftijdscategorie wordt dezelfde ruimtelijke spreiding binnen de statistische sector gehanteerd. Het resultaat is een kaart van het aantal inwoners van een leeftijdscategorie per ha (illustratie voor 65+ in Figuur 1).



Figuur 1 Inwonerskaart (toestand 2019): aantal inwoners per ha, van de leeftijdscategorie 65+.

Voor de toestand 2050 gebruiken we de prognoses van het Federaal Planbureau voor de demografie, beschikbaar tot het arrondissementsniveau. Deze prognoses worden ook

gebruikt in het **RuimteModel Vlaanderen**[1] waardoor we ook een indicatie van de ruimtelijke spreiding van de bevolking in 2050 ter beschikking hebben. Meer uitleg over de methode is terug te vinden in paragraaf 2.4.2.1.

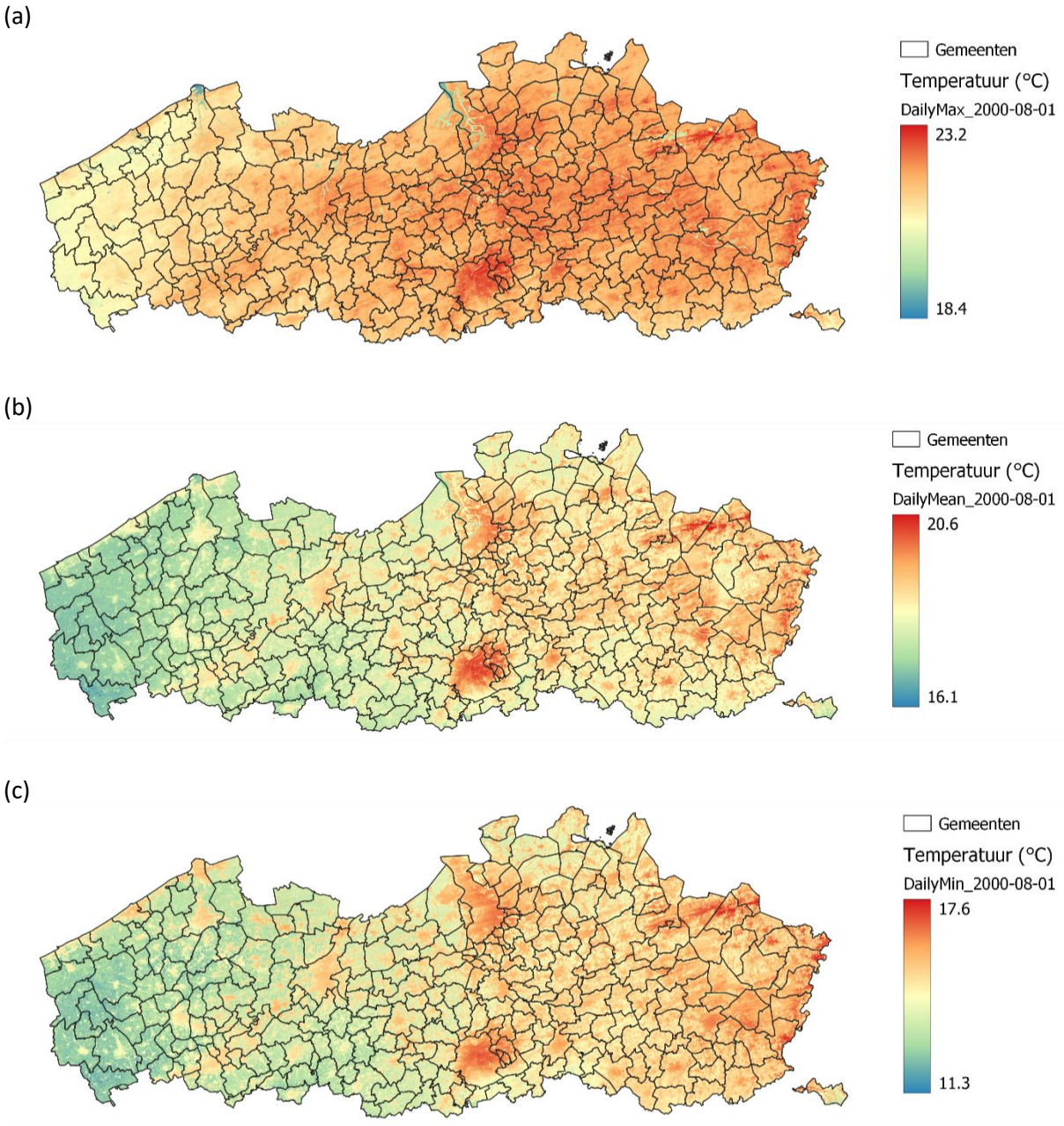
2.4.1.2 Temperatuur tijdsreeksen

Met VITO's stedelijke klimaatmodel UrbClim zijn alle warme periodes (1 april – 30 september) van de voorbije 20 jaar (2000-2019) gemodelleerd voor heel Vlaanderen met een ruimtelijke resolutie van 100x100m (in opdracht van VMM). Er wordt hier gewerkt met de **temperatuur van de omgevingslucht** (op 2m hoogte). De gevoelstemperatuur ('Wet Bulb Global Temperature' of WBGT) heeft een nauwere link met gezondheidseffecten, maar bij de opstart van deze studie was er nog geen 20-jarige tijdsreeks voor de gevoelstemperatuur in Vlaanderen beschikbaar. Daarom werd gekozen om te werken met de omgevingstemperatuur.

Op basis van deze 20 jaren aan temperatuurdata is door VITO ook voor de toekomst (zichtjaar 2050) de dagelijkse temperatuur ingeschat (in opdracht van dZORG), meer bepaald de maximum, gemiddelde en minimum dagtemperatuur voor elke zomerdag (1 april – 30 september). In deze studie focussen we op het HOOG klimaatscenario (VMM, 2015). Onder het hoog klimaatscenario kan de jaargemiddelde temperatuur te Ukkel oplopen met 7,2°C over 100 jaar. Meer info over de VMM klimaatscenario's is te vinden op: https://klimaat.vmm.be/faq/hoe-komen-de-klimaatscenarios-voor-vlaanderen-tot-stand.

Figuur 2 geeft een voorbeeld van het geografische patroon van de (a) maximum, (b) gemiddelde en (c) minimum dagtemperatuur voor een willekeurige dag (1 augustus 2000). Dit patroon is wel erg afhankelijk van de windrichting op de betreffende dag, en kan er op andere warme dagen (bv. bij een sterke oosten- of zuidenwind) helemaal anders uit zien.

[1] https://ruimtemodel.vlaanderen/publicaties



Figuur 2 Voorbeeld van het geografische patroon van de (a) maximum, (b) gemiddelde en (c) minimum dagtemperatuur voor een willekeurige dag (1 augustus 2000) op basis van het UrbClim model.

2.4.2 Methode

De methodologie gebruikt de populatie attributieve fractie (PAF) waarbij rekening gehouden met de achtergrondincidentie, dit is de sterfte die niet door blootstelling aan hitte wordt veroorzaakt.

De verschillende ruimtelijke niveaus die meegenomen worden zijn:

- Vlaanderen
- Provincie
- Arrondissement
- Gebieden LOkaal GezondheidsOverleg (Logo)

- Eerstelijnszone
- Gemeente (NIS-code)

Voor deze verschillende niveaus worden de relatieve risico's gebruikt zoals berekend op gemeentelijk niveau voor het bepalen van de hittegerelateerde mortaliteit. Het is niet opportuun om alle combinaties van determinanten voor kwetsbare bevolking (leeftijd, geslacht, inkomen, bevolkingsdichtheid…) door te rekenen voor alle niveaus. De grote versnippering van de data (bv. de mortaliteit voor vrouw van 65+ in een bepaalde inkomensklasse en in verstedelijkt gebied, versus alle andere mogelijke combinaties) zou de interpreteerbaarheid en betrouwbaarheid niet ten goede komen.

We selecteren daarom de combinaties van volgende kenmerken:

- Doodsoorzaken: cardiovasculair, respiratoir of alle doodsoorzaken;
- Leeftijdsgroepen: 0-64 jaar, 65-84 jaar en 85+ jaar;
- Scenario's: huidig 2019 en hoog klimaatscenario 2050

Er wordt geen opdeling per geslacht gemaakt. Er zijn wel aparte dosis-effectrelaties opgesteld, maar we hebben geen informatie over de spreiding van de inwoners per combinatie geslacht-leeftijd nu en in de toekomst. Daarom werden er ook dosis-effectrelaties opgesteld voor mannen en vrouwen samen. De verhouding mannen en vrouwen per leeftijdsgroep werd dus wel meegenomen in het bepalen van de RR's voor mannen en vrouwen samen.
De inschattingen op de minimum dagtemperatuur (Tmin) hebben de focus, maar de berekeningen op basis van gemiddelde (Tgem) en maximum dagtemperatuur (Tmax) worden ook uitgevoerd ter vergelijking. De minimum dagtemperatuur wordt ook de nachttemperatuur genoemd.

Voor 2050 wordt een hoog klimaatscenario gebruikt, waarbij het landgebruik constant wordt verondersteld aan de referentieperiode (2000-2019, UrbClim modellering zoals ook toegepast voor het VMM-klimaatportaal). De demografische gegevens van het jaar 2019 worden gebruikt zowel voor het huidige scenario als voor het klimaatscenario. De verdeling van leeftijd wordt in het klimaatscenario gelijk verondersteld in de berekening voor de toekomst. Dit is niet zo voor het toekomstscenario (zie volgende paragraaf).

Het niveau van statistische sector lijkt ons niet relevant voor het uitvoeren van scenarioberekeningen 2050. Het is immers niet per se zo dat in de statistische sectoren waar nu bv. 65+ wonen, dit ook zal zijn in 2050. Het niveau van statistische sector impliceert dan een onnauwkeurigheid die we niet kunnen onderbouwen.

2.4.2.1 Demografische prognoses 2050

De doorrekening van hittegerelateerde mortaliteit gebeurt in twee stappen, namelijk m.b.v.:

- Klimaatscenario= klimaatscenario 2050 waarbij de lokale demografie gelijk blijft in de toekomst (zie hoger). Dit is enkel een temperatuursscenario en geen volledig toekomstscenario.
- Toekomstscenario = klimaatscenario 2050 waarbij de prognose voor de demografie van de Vlaamse bevolking (veroudering en toename/afname van de bevolking per leeftijdscategorie) wordt meegenomen, alsook de verwachte ruimtelijke spreiding ervan.

Als er geen rekening gehouden wordt met demografische evolutie (groei en vergrijzing), wordt het aantal 65+ in 2050 met ruwweg een derde onderschat. Daarom gebruiken we de prognoses van het Federaal Planbureau voor de demografie en sterftecoëfficiënten mortaliteit

alle oorzaken van de Vlaamse bevolking in 2050, deze cijfers zijn beschikbaar tot het arrondissementsniveau. Deze prognoses worden ook gebruikt in het **RuimteModel Vlaanderen**[2] waardoor we ook de ruimtelijke spreiding van de bevolking in 2050 ter beschikking hebben en in de mortaliteitsberekening eveneens een ruimtelijke expliciete variabele ter beschikking hebben van de **bevolkingsdichtheid in 2050**. De studie 'Monetariseren van de impact van urban sprawl in Vlaanderen' simuleerde drie alternatieve toekomstbeelden voor Vlaanderen tot 2050 op 1ha resolutie (Vermeiren, 2019). Het scenario Growth As Usual (GAU) simuleert de ruimtelijke veranderingen wanneer de huidige ruimtebeslagtoename die afgelopen jaren werd geobserveerd zich doorzet (5,1 ha/dag in 2013-2019). We zien echter dat dit in de realiteit echter al afneemt. In het GAU-scenario veronderstellen we te veel inwoners buiten de steden en onderschatten we het aantal inwoners op locaties met veel hittestress. Zo lijkt het minder erg dan in werkelijkheid, want de trend naar verdichting is al bezig. Daarom kiezen we voor het **scenario Beleidsplan Ruimte Vlaanderen (BRV)** met een verdichtingstrend die het beleid beoogt. In het BRV-scenario zit de doelstelling om het bijkomend ruimtebeslag te reduceren naar 3 ha/dag tegen 2025 en 0 ha/dag tegen 2040. Dit gaat mogelijks om een sterkere verdichting dan in 2050 realiteit zal zijn, maar dit ruimtelijk scenario kan wel beter de aandachtspunten omtrent die verdichting duidelijk maken (ongeacht hoe de bouwshift exact in de praktijk gebracht wordt).

Als we werken met de bevolkingsdichtheid van 2050 is er een **correctie** nodig van het gebruikte **landgebruik** in de UrbClim-klimaatmodellering. Er zullen bijkomende inwoners, en dus bebouwing, komen op locaties waar dat nog niet zo was in het referentiejaar van de klimaatmodellering. Als we hier niet voor zouden corrigeren lijkt het alsof deze mensen het koeler hebben dan het in werkelijkheid daar zal zijn. Idealiter wordt de volledige simulatie van de temperatuur van de toekomst volledig opnieuw berekend met het aangepaste landgebruik, maar dit paste niet binnen het budget van de opdracht. Daarom passen we een vereenvoudigde correctie toe: voor de locaties waar mensen wonen in 2050 volgens het RuimteModel-scenario, maar nog niet in het referentiejaar van de klimaatmodellering, zoeken we naar de dichtstbijzijnde 100x100m² pixel met overeenkomstig landgebruik en nemen daarvan de temperatuur over. Deze temperatuur zal meer representatief zijn voor de toekomstige situatie op die locaties. Een nieuwe wijk in 2050 zal dus de temperatuur krijgen die voorspeld was voor de dichtstbijzijnde bebouwing die wel al op de landgebruikskaart van de klimaatmodellering stond. Deze aanpak kan met een beperkte kost toch de belangrijkste problemen ondervangen.

Voor leeftijd en geslacht zijn er prognoses van het Federaal Planbureau en coëfficiënten op niveau van de provincie en Vlaanderen beschikbaar (StatBel), echter niet voor de combinatie van leeftijd en geslacht. Daarom wordt gefocust op de prognoses van leeftijd en wordt geslacht niet in rekening gebracht. Impliciet wordt het wel meegenomen in de berekening van de aangepaste RR-waarden voor mannen en vrouwen samen. We gaan er dan wel vanuit dat de verhouding mannen/vrouwen niet sterk wijzigt in de tijd. Dit wordt bevestigd door de prognoses van het Planbureau, al zijn er kleine wijzigingen. Door de algemene toename in de categorie 85+ stijgt zowel het aantal mannen als vrouwen naar 2050, maar is de verhouding mannen/vrouwen hoger is dan in 2019. Gezien de verhoogde relatieve risico's voor vrouwen, kan hierdoor de hittegerelateerde sterfte in 2050 bij de berekening voor mannen en vrouwen samen licht overschat worden ten opzichte van een berekening voor mannen en vrouwen apart.

[2] https://ruimtemodel.vlaanderen/publicaties

2.4.3 Resultaten Vlaanderen

Op basis van de dosis-effectrelaties voor de nachttemperatuur Tmin wordt de hittegerelateerde mortaliteit geschat op **461 overlijdens per jaar in de periode 2000-2019 en verwachten we dat dit zal toenemen tot 2904 overlijdens per jaar in de toekomst (2050 bij een hoog klimaatscenario), rekening houdend met de bevolkingsprognoses en ruimtelijke verdichting**.

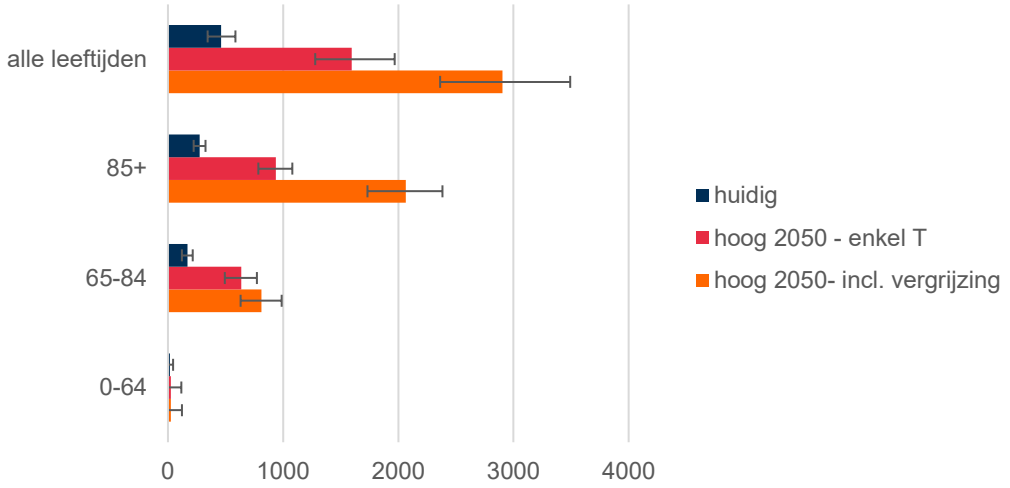
Uit alle berekende scenario's (Tabel 2) focussen we op deze cijfers o.b.v. Tmin omdat de nachttemperatuur de grootste impact van de klimaatverandering ondergaat. Het hitteseizoen zal steeds langer duren waardoor de nachttemperatuur zal stijgen. De stijging van de dagtemperatuur is minder extreem dan deze van de nachttemperatuur in de toekomst. De verwachte hittegerelateerde mortaliteit op basis van Tgem en Tmax is dus voor de huidige periode vergelijkbaar, maar voor 2050 lager dan de berekening op basis van Tmin (Tabel 2). Ook blijkt uit onderzoek dat de nachttemperatuur het meest bepalend is voor het gezondheidseffect. Hoge temperaturen overdag zijn op zich niet zo schadelijk, zo lang het 's nachts fris genoeg is om ervan te kunnen recupereren.

In het klimaatscenario waarbij we enkel het effect van klimaatverandering in rekening brengen, zien we dat het aantal verwachte overlijdens door hittestress per zomer ongeveer 3 maal hoger wordt in 2050 (1596) dan in de periode 2000-2019 (461). De bevolkingsprognoses worden hier niet in rekening gebracht, maar identiek aan de situatie 2019 gehouden.

De realiteit is echter dat we met een sterk verouderende bevolking te maken hebben. Daarom dat het toekomstscenario de bevolkingsprognoses wel in rekening brengt. Het grootste aantal verwachte overlijdens zit uiteraard bij de hoogste leeftijdsgroepen, aangezien dit ook de bevolkingsgroepen zijn waarvoor de hoogste relatieve risico's gelden. In het tweede toekomstscenario waarbij naast de temperatuurstoename ook de bevolkingsprognose in rekening gebracht wordt, wordt zelfs 71% van de verwachte overlijdens toegeschreven aan de 85+ groep (Figuur 2).

Tabel 2: Vergelijking van de hittegerelateerde mortaliteit voor een gemiddeld jaar berekend op basis van Tmin, Tgem en Tmax.

DOODSOORZAKEN	SCENARIO	TMIN	TGEM	TMAX
Alle	huidig (2000-2019)	461 (345 - 586)	411 (317 - 516)	431 (323 - 558)
	hoog (2050 – enkel temperatuur)	1596 (1279 - 1969)	1314 (1042 - 1610)	1150 (876 - 1450)
	hoog (2050 – incl. vergrijzing)	2904 (2363 - 3492)	2403 (1952 - 2870)	2117 (1663 - 2591)
Cardiovasculair	huidig (2000-2019)	101 (55 - 145)	96 (58 - 132)	105 (62 - 148)
	hoog (2050 – enkel temperatuur)	356 (218 - 485)	296 (186 - 399)	262 (157 - 366)
	hoog (2050 – incl. vergrijzing)	694 (459 - 913)	576 (390 - 752)	512 (331 - 688)
Respiratoir	huidig (2000-2019)	81 (48 - 112)	80 (52 - 104)	92 (58 - 123)
	hoog (2050 – enkel temperatuur)	265 (177 - 351)	237 (163 - 304)	226 (147 - 294)
	hoog (2050 – incl. vergrijzing)	460 (310 - 602)	413 (292 - 524)	392 (264 - 504)



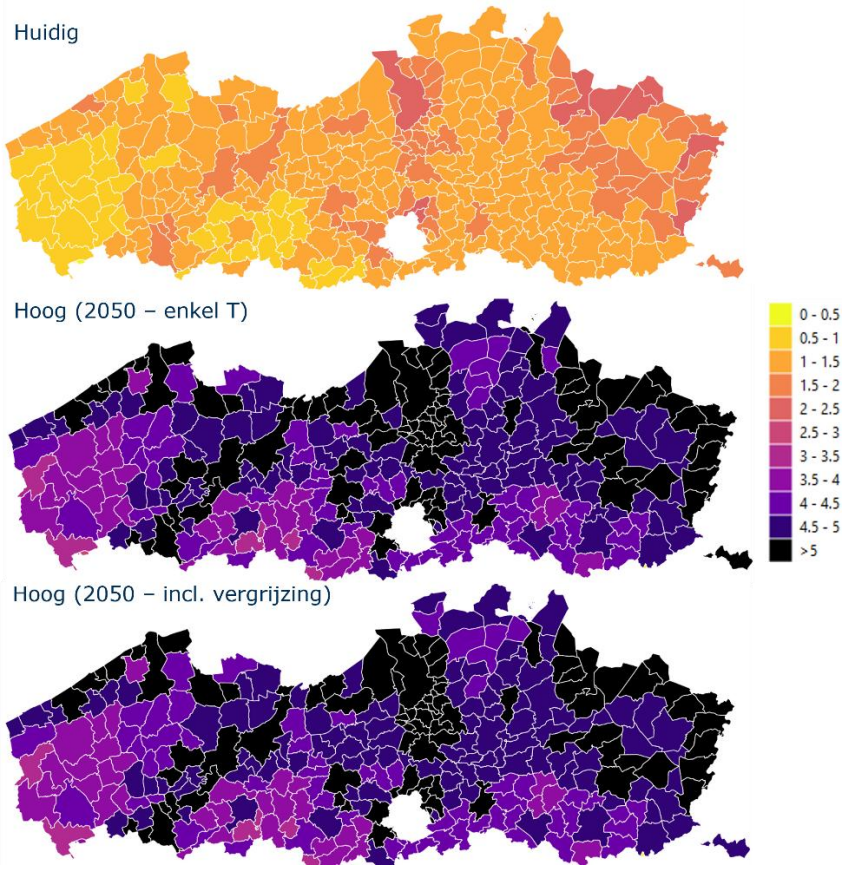
Figuur 2: Verdeling van de verwachte hittegerelateerde mortaliteit (overlijdens/zomer in een gemiddeld jaar) per leeftijdscategorie.

2.4.4 Resultaten per gemeente

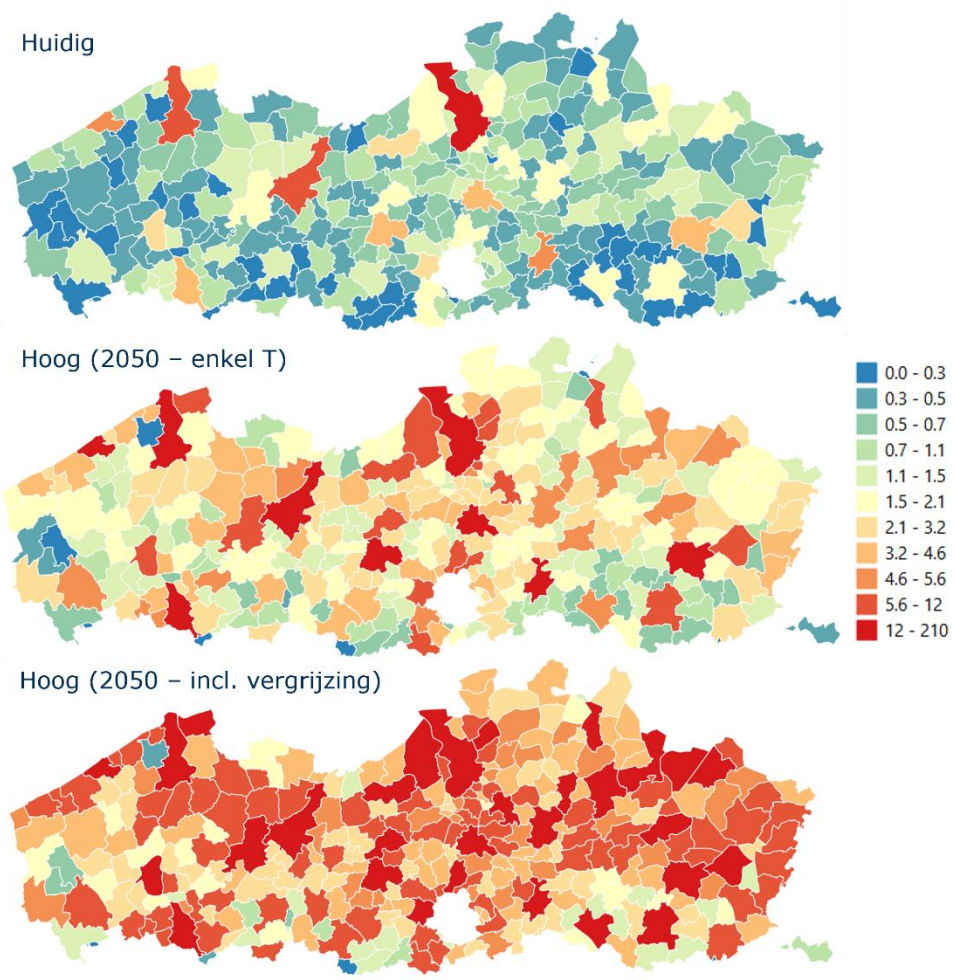
Hieronder worden de voorbeelden besproken voor de bevolking vanaf 85 jaar en op basis van de nachttemperatuur (Tmin). In het dashboard zijn alle andere combinaties te raadplegen.

Zoals te verwachten is de relatieve hittemortaliteit het hoogst in de stedelijke gebieden en in de Kempen, waar de temperatuur vaak hoger is. In de steden speelt hierbij het effect van beperkte nachtelijke afkoeling, het zogenaamde 'stedelijk hitte-eiland' ('urban heat island'). Ook in de absolute aantallen springen vooral de steden eruit (Figuur 4). In de Kempen is de relatieve mortaliteit dan wel hoog, maar gaat het niet om veel mensen.
In de relatieve sterfte (per 1000 inwoners) zien we amper verschil tussen het klimaatscenario en het toekomstscenario (Figuur 3). De relatieve stijging in hitte-gerelateerde mortaliteit is vooral te wijten aan de klimaatsverandering. Het is wel opvallend dat zelfs in de koelste gemeenten een hogere hittemortaliteit in 2050 verwacht wordt dan in de heetste gemeenten in de huidige situatie (< 2,5 overlijdens per 1000 inwoners). De kleurenschaal van het huidig scenario in Figuur 3 oogt daarom totaal anders dan de scenario's voor 2050 (van 3 tot 6,75 overlijdens per 1000 inwoners).

Bovenop de hogere relatieve hittegerelateerde sterfte zal er ook een absolute stijging zijn omwille van het hogere aantal ouderen in 2050. Daarom is het absolute aantal overlijdens veel hoger in het toekomstscenario waarbij we de bevolkingsprognoses wel in rekening brengen. De relatieve risico's zijn dezelfde gebleven als in het klimaatscenario (enkel temperatuur), maar door de vergrijzing zal de impact op de absolute mortaliteitscijfers veel groter zijn dan in het klimaatscenario (Figuur 4).



Figuur 3: Relatieve hittegerelateerde mortaliteit per zomer voor 85+, alle doodsoorzaken (per 1000 inwoners).



Figuur 4: Aantal verwachte hittegerelateerde overlijdens per zomer voor 85+, alle doodsoorzaken (absolute aantallen).

2.4.5 Resultaten andere ruimtelijke niveaus

In het dashboard kunnen de resultaten voor hitte mortaliteit ook gevisualiseerd worden voor volgende ruimtelijke indelingen:

- Vlaanderen
- Provincie
- Arrondissement
- Gebieden LOkale GezondheidsOverleg (LOGO)
- Eerstelijnszone
- Gemeente

De eerstelijnszones Antwerpen-Centrum, Noord-Antwerpen, Antwerpen-Oost en Antwerpen-Zuid worden om technische redenen samengevoegd tot het gebied ‘Antwerpen en rand’ omdat het kleinste ruimtelijk niveau voor mortaliteit de gemeente is, maar enkele gemeentes niet volledig tot 1 eerstelijnszone behoren. Deze werkwijze is analoog zoals Provincie In Cijfers. Eerstelijnszones vallen meestal binnen de grenzen van één provincie, maar Zwijndrecht is hier de uitzondering. Deze Antwerpse gemeente wordt toegekend aan de eerstelijnszone Noord-Oost Waasland, wat verder een groep van Oost-Vlaamse gemeenten is.

2.4.6 Discussie

Hittegerelateerde mortaliteit wordt verwacht om sterk toe te nemen in Vlaanderen tegen 2050. Er spelen hier twee gecombineerde effecten, namelijk de klimaatverandering en de demografische veranderingen (veroudering en toename van de bevolking plus toenemende verdichting van bevolking). De risico's voor ouderen zijn aanzienlijk groter dan voor jongeren zoals blijkt uit de dosis-effect relaties voor Vlaanderen. Deze relaties zijn in lijn met eerdere studies voor Vlaanderen (Faes 2020), studies voor België (Demoury et al, 2022) en de internationale literatuur (The lancet, 2021, Burkart, 2021, Cromar et al, 2022). Voor België is er ook een hogere mortaliteit bij zeer jonge kinderen aangetoond (Demoury et al, 2022), maar dit is niet bevestigd in de internationale literatuur (Benmarhnia et al, 2015).
Het was niet mogelijk om buiten leeftijd nog andere kwetsbaarheden of determinanten van de bevolking mee te nemen in de modellering. Echter, we zijn ons ervan bewust dat ze wel een rol spelen in de mate van kwetsbaarheid voor hittestress, zowel in zake mortaliteit als morbiditeit. Daarom wordt in Deeltaak 2 een bredere set van indicatoren meegenomen om de hittekwetsbaarheid in kaart te brengen, waarbij ook socio-economische factoren in rekening gebracht kunnen worden. Om breder te kijken dan enkel naar de mortaliteit wordt in het volgende onderdeel de gezondheidsimpact ook in termen van verloren (gezonde) levensjaren en economische kost uitgedrukt.

Wat is het verschil met de vermeden sterfte door hitte, zoals begroot in de PLANtool van het klimaatportaal?
In het klimaatportaal (https://plantool.toepassingen.vmm.vlaanderen.be/) werd de gevoelstemperatuur WBTG op basis van 1 extreme dag die nu eens om de 20 jaar voorkomt (t20) omgerekend naar luchttemperatuur. Voor die extreme dag zijn er effecten van maatregelen berekend en het verkoelend effect op de luchttemperatuur van die maatregelen. De verlaging van de luchttemperatuur werd dan vertaald in vermeden sterfte. Er werd daarbij verondersteld dat dit verkoelend effect voor de hele zomer geldt.

Waarom werd er enkel een hoog klimaatscenario gerapporteerd?
Om de boodschap duidelijk te kunnen overbrengen werd in overleg met de stuurgroep besloten om enkel het hoog klimaatscenario te rapporteren. Want ook bij "midden" klimaatscenario belandden we binnen afzienbare tijd in deze situatie, alleen zal het dan wat later dan 2050 zijn.

Wat is de invloed van het gebruikte ruimtelijk model in de berekening?
Het gebruikte ruimtelijke scenario voor 2050 is gebaseerd op het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen. De bevolkingsgroei wordt daarbij geconcentreerd in de steden en nabij openbaar vervoersknooppunten om 'urban sprawl' te vermijden. Naast de vergrijzing zit er in het toekomstscenario dus ook het effect van toenemende verdichting en concentratie van bevolking. Voor beleidsmakers en ruimtelijke planners is het daarom belangrijk dat ze bewust zijn van de effecten van hun beleidsplannen op hitte stress. Stadsplanning zal ook het toekomst klimaat in rekening moeten brengen om tot hittebestendige steden te komen (cfr. groen-blauwe dooradering) .

2.5 Gezondheidsimpact in verloren (gezonde) levensjaren en economische kost

De doelstelling van deze module is om indicatoren te berekenen die beter toelaten om het totaal aantal sterfgevallen te interpreteren in termen van de impactop ziektelast en impact op economie en welvaart. Hiertoe worden drie indicatoren berekend, waarbij rekening gehouden wordt met de leeftijdscategorie:

- Aantal verloren levensjaren (VLJ), in jaren/geval (VLJ/geval)
- Aantal verloren gezonde levensjaren, in gezonde levensjaren/geval (VGLJ/geval)
- Economische kost (verlies van welvaart) (euro/geval)

2.5.1 Methode

Het kader hieronder toont in grote lijnen de methode die in de tekst verder uitgewerkt wordt.

Gezondheidsimpact:
DALY's (Disability-adjusted life years, of levensjaren gecorrigeerd voor beperkingen) combineren het effect van hitte op mortaliteit en morbiditeit.

$$DALY = \mathbf{YLL} + YLD$$

YLL = Years of Life Lost = **VLJ** = het aantal verloren levensjaren
YLD = Years Lost due to Disability = het aantal jaren met ziektelast

In deze studie focussen we op mortaliteit en berekenen we enkel de YLL (Eng.) of **VLJ** (Ned.). We hebben geen goede data over de effecten op morbiditeit en het aandeel ervan voor de DALY is beperkt. **VLJ** wordt berekend als het aantal hittegerelateerde overlijdens maal de levensverwachting op de leeftijd van overlijden.

Omdat hitte vooral ouderen treft, duiden we ook de verloren gezonde levensjaren als extra indicator:

$$VGLJ/geval = \mathbf{VLJ}/geval * HLE\%$$

Met:
VGLJ = het aantal verloren gezonde levensjaren
HLE % = HLE/LE, met HLE = Healthy Life Expectancy, LE = Life expentancy.

Kost:
De economische kost wordt berekend op basis van het aantal verloren levensjaren (VLJ) omdat dit rekening houdt met leeftijdsprofiel van de sterfgevallen en hiervoor voldoende info is voor de berekening van de kengetallen.

$$Kost/geval = \mathbf{VLJ} * VSLY$$

Met:
VSLY = Value of a Statistical Life Year (k euro/verloren levensjaar) = *VSL/levensverwachting* waarbij VSL (Value Statistical Life) de waarde van een leven is en bepaald wordt op basis van het BNP per capita.

2.5.1.1 Verloren levensjaren (VLJ)

Aantal verloren levensjaren (VLJ, Eng: YLL, *Years of Life Lost)* is de gebruikelijke indicator om de vroegtijdige sterfte door te vertalen naar het aantal verloren potentiële levensjaren op

basis van leeftijd van de sterfgevallen en levensverwachting[3]. De levensverwachting drukt uit hoeveel jaar een persoon op een bepaalde leeftijd gemiddeld nog kan verwachten te leven. Die verwachting wordt berekend per leeftijd en is afhankelijk van het sterfterisico op elke leeftijd.

In navolging van de literatuur (Baccini et al, 2013, Adélaïde et al, 2022; Liu et al, 2019, Urban et al, 2020) wordt het aantal verloren levensjaren door hitte ingeschat op basis van de gemiddelde levensverwachting voor een inwoner in die leeftijdsklasse.
Voor de drie onderscheiden leeftijdsgroepen is de middenschatting gebaseerd op de gemiddelde levensverwachting in 2023 en 2050 - op basis van data over bevolkingsstructuur van Vlaanderen, 2023 en 2050 [4] - en de levensverwachting per leeftijd – op basis van de cijfers van het Planbureau[5].

Tabel 3: Gemiddelde levensverwachting per leeftijdscategorie (Federaal Planbureau; op basis van sterftecijfers en longitunale levensverwachting, dus rekening houdend met verwachte verbeteringen in de loop van hun leven)

Leeftijd	**2019**	**2023**	**2050**
0-65	53.94	54.49	58.33
65-85	14.75	15.23	16.77
+85	4.96	5.01	5.62

Er zijn verschillende parameters die de onzekerheid over deze schatting bepalen. De voornaamste is dat we niet weten in welke mate de gemiddelde levensverwachting of gemiddelde kwetsbaarheid voor een bevolkingsgroep, en in dit geval vooral de +65 en +85, een goede proxy is voor de subgroep die getroffen wordt door hitte. Ten tweede is er onzekerheid over hoe de levensverwachting zal evolueren in de komende decennia, wat zowel relevant is om voor 2023 de levensverwachting in te schatten voor de -65 jarigen als voor alle leeftijden in 2050. We hanteren hiervoor de cijfers voor levensverwachting van het planbureau die rekening houden met de verwachte evolutie van de sterftequotiënten in de loop van het leven van het individu omwille van bijv. verbetering gezondheidszorg[6].
Het planbureau geeft ook cijfers zonder deze evolutie (gelijkblijvende omstandigheden), en deze cijfers geven een iets lagere schatting (-2% voor +85 tot 11% voor de -65 jarigen). Voor 2050 zijn er bijkomende onzekerheden m.b.t. demografische evolutie, die ook door andere factoren (bijv. migratie) wordt beïnvloed.

We hebben geen goede data of studies om bovenvermelde onzekerheden op deze inschatting te kwantificeren. Voor de hoge en de lage schatting van het aantal verloren levensjaren hanteren we een bandbreedte van +/-33% rond de centrale schatting. Deze bandbreedte wordt vaker als vuistregel gehanteerd bij impactstudies, en is geïnspireerd op één standaardafwijking bij een normale verdeling (Adélaïde et al, 2022; CAFE, 2005). Deze bandbreedte dekt de omvang van de effecten die we kunnen inschatten. Voor de +65 jarigen dekt dit bijv. de levensverwachting van een 65 tot een 85 jarige.

[3] Departement zorg, verloren levensjaren, Verloren levensjaren (zorg-en-gezondheid.be)
[4] Bron: 1992-2022: waarnemingen, Statbel; 2023-2071: vooruitzichten - Update Oekraïne, FPB en Statbel
[5] Planbureau, levensverwachting op basis longitunale of generationele levensverwachting per leeftijd (= rekening houdend met de verwachte evolutie van de levenscondities)
[6] Planbureau, generationele levensverwachting,

Indicatoren voor ziektelast hebben ook tot doel om naast effecten op mortaliteit ook de effecten op morbiditeit mee te nemen. De DALY beschouwt niet alleen het aantal mensen dat vroegtijdig sterft door hittestress, maar ook het aantal jaren dat mensen leven met gezondheidsproblemen (Eng: YLD, Years Lived with Disabilities) en in mindere mate ook voor hinder (bijv. slaapverstoring). **Omdat we geen data hebben over de effecten van hitte op morbiditeit is dit hier niet toe te passen en wordt daarom het aantal verloren levensjaren gerapporteerd in de plaats van DALY's**.

2.5.1.2 Verloren gezonde levensjaren (VGLJ)

De indicator verloren gezonde levensjaren (VGLJ, Eng: HLYL, Healthy Life Years Lost) houdt er bijkomend rekening mee dat naarmate de extra sterfgevallen meer ouderen treft, de algemene gezondheidstoestand van deze mensen gemiddeld ook lager is. Deze indicator is gebaseerd op data m.b.t. de gezonde levensverwachting (Healthy Life Expectancy) (Statistiek Vlaanderen, Eurostat). Data over gezonde levensverwachting geven het aantal jaren van de totale resterende levensverwachting op specifieke leeftijden (bij geboorte, 50 en 65) zonder ernstige of matige beperkingen in het dagelijkse functioneren omwille van gezondheid. (Statistiek Vlaanderen). De data inzake de langdurige beperkingen in het dagelijkse leven zijn afkomstig van enquêtes uitgevoerd door Eurostat in het kader van de European Statistics of Income and Living Conditions (EU-SILC) survey.

$$VGLJ/geval = \textbf{VLJ}/geval * HLE\%$$

Met:

- *VLJ = verloren levensjaren*
- *VGLJ* = het aantal verloren gezonde levensjaren
- *HLE %* = HLE/LE, met HLE = Healthy Life Expectancy, LE = Life expentancy.

Het is gekend (kwalitatief) dat hitte gemiddeld genomen meer mensen met chronische ziekten treft, maar we beschikken niet over voldoende kwantitatieve gegevens hierover en hanteren bijgevolg gegevens over de gemiddelde gezondheid voor die leeftijdsgroep. Hiertoe wordt het aantal verloren levensjaren vermenigvuldigd met het HLE % (HLE/LE, met HLE = healthy life expectancy, LE = Life expentancy) op basis van data voor België van Eurostat[7] (unisex). Omdat de HLE-waarde enkel beschikbaar is voor 3 leeftijden (bij geboorte (79%), 50j (62%) en 65j (55%) hebben we een eigen inschatting gemaakt op basis van een lineaire intrapolatie en extrapolatie per leeftijd, en de berekening van een gewogen gemiddelde per leeftijdscategorie, rekening houdend met demografie. De middenschatting is het gemiddelde voor die leeftijdsgroep en varieert van 68 % voor -65 jarigen tot 44% voor +85. De lage en hoge schatting zijn de percentages van de jongste en oudste leeftijd binnen die groep.

We hebben geen schatting voor HLE (Healthy life expectancy) voor 2050. We hanteren dus de gegevens voor 2023 als proxy voor 2050. Merk wel op dat de verwachte verbetering in gezondheidszorg wel al ten dele is verrekend in de verloren levensjaren.

2.5.1.3 Economische waardering

Omdat enkel de effecten op mortaliteit zijn gekwantificeerd, is de beschreven methode beperkt tot waardering van mortaliteit. Deze economische waardering is het product van het aantal gevallen en een leeftijdsspecifieke waardering van een extra sterfgeval.

$$Kost/geval = VLJ * VSLY$$

[7] Eurostat, HLE data per geslacht.

Met:

- *VLJ = verloren levensjaren*
- *VSLY = Value of a Statistical Life Year (k euro/verloren levensjaar) = VSL/levensverwachting waarbij VSL (Value Statistical Life) de waarde van een leven is en bepaald wordt op basis van het BNP per capita.*

Deze waardering houdt rekening met het aantal verloren levensjaren en een leeftijdsspecifieke waarde van een statistisch levensjaar (euro/VSLY met VSLY = value of a statistical life year). Als er later extra gegevens zijn om ook effecten op morbiditeit te kwantificeren, dan moet de methode worden uitgebreid met een waardering op basis van waarderingsstudies voor specifieke ziektes en/of kwantificering van het aantal verloren gezonde levensjaren en waardering van een Daly op basis van literatuur.

Voor mortaliteit kiezen we bovenvermelde aanpak omdat deze het beste rekening houdt met de leeftijd van de extra sterfgevallen, en hiervoor voldoende goed onderbouwde informatie beschikbaar is (Chiabai, et al, 2018; Hammitt 2007; Hammitt et al, 2023). De leeftijdsspecifieke VSL (value of a statistical life) en VSLY (value of a statistical life year) voor Vlaanderen berekenen we op basis van kengetallen uit de internationale literatuur en de kenmerken (leeftijd) van de sterfgevallen. Dit verloopt in 5 stappen die zijn uitgewerkt in de tekst en onderstaande tabel.

a) Concepten en beschikbare studies

De economische waardering van mortaliteit gebruikt een gemiddelde waarde uit de literatuur voor de waarde van een ‘statistisch’ mensenleven (VSL of value of a statistical life) en de waarde van een statistisch levensjaar (VSLY, value of a statistical life year).

Tabel 4: Stappen in de berekeningswijze voor economische waardering sterfte per leeftijdscategorie

		2023			2050	
1, Bekening VSL volwassen Vlaming						
	mid	**laag**	**hoog**			
BNP/per capita	45200	45200	45200			
Factor	100	75	150			
VSL volwassene	4.520.000	3.390.000	6.780.000			
2. Berekening VSL naar leeftijdscategroie						
Correctiefactor	**mid**	**laag**	**hoog**			
18-65	100%	100%	100%			
65-85	69%	69%	69%			
+85	39%	39%	39%			
VSL per leeftijd	**mid**	**laag**	**hoog**			
18-65	4.520.000	3.390.000	6.780.000			
65-85	3.104.236	2.328.177	4.656.353			
+85	1.760.890	1.320.667	2.641.334			
3. VSLY naar leeftijdscategorie						
aantal levensjaren	**mid**	**laag**	**hoog**			
18-65	41	41	41			
65-85	15,2	15,2	15,2			
+85	5,0	5,0	5,0			
VSLY 2023 (euro/ VLJ)				VSLY 2050 (Euro/VLJ)		
	mid	**laag**	**hoog**	**mid**	**laag**	**hoog**
groeifactor GDP				125%	125%	125%
0-65	110.244	82.683	165.366	138.179	103.634	207.268
65-85	157.053	110.244	203.862	196.849	138.179	255.518
+85	231.211	110.244	352.178	289.798	138.179	441.417
4. Waardering per geval naar leeftijdscategorie						
Aantal verloren levensjaren 2023				Aantal verloren levensjaren 2050		
jaar/geval	**mid**	**laag**	**hoog**	**mid**	**laag**	**hoog**
0-65	54,5	36,0	72,5	58,3	38,5	77,6
65-85	15,2	10,0	20,3	16,8	11,1	22,3
+85	5,0	3,3	6,7	5,6	3,7	7,5
Waarde per geval 2023 (keuro/geval)				Waarde per geval 2050 (keuro/geval)		
keuro/geval	**mid**	**laag**	**hoog**	**mid**	**laag**	**hoog**
0-65	6.007	2.974	11.985	8.060	3.990	16.080
65-85	2.391	1.263	3.823	3.301	1.743	5.277
+85	1.158	401	2.111	1.628	564	2.968

Deze waardes zijn gebaseerd op de betalingsbereidheid van mensen om minder risico te lopen op een vervroegd overlijden door dodelijk ongeval, ziekte of omgevingsfactoren (luchtverontreiniging). Dit concept en de data worden veel gehanteerd in (richtlijnen voor) studies voor economische analyses van gezondheid, milieu en klimaatbeleid. Om de waardering goed te laten aansluiten bij de berekening van verloren levensjaren leiden we kengetallen voor de waarde van een statistisch levensjaar (VSLY) af op basis van kengetallen uit de literatuur voor waarde van een statistisch leven (VSL).

Studies naar de bereidheid tot betalen voor beperking sterfterisico's schatten dit in op basis van het gedrag van mensen op aanverwante 'markten" (aankoop veiligheidsvoorzieningen, risicopremies om risicovolle jobs te aanvaarden,…) of hun antwoorden in enquêtes, waarbij ze financiële gegevens (bijv. hogere belasting) afwegen tegen verlaging sterfterisico's. De resultaten worden uitgedrukt als waarde van een 'statistisch' mensenleven (VSL of value of statistical life) in euro per geval, of in waarde van een statistische levensjaar VSLY (value of statistical life year).
Uit het geheel van deze studies zijn in overzichtsstudies en meta-analyses kengetallen en richtlijnen afgeleid. Omdat de meerderheid van de studies de VSL schat zijn er hiervoor goed onderbouwde en gedragen kengetallen voor OESO landen en voor volwassenen. We merken op dat er ons geen studies gekend zijn voor de context van hittestress, zodat we meer generieke kengetallen moeten hanteren, zoals die ook in andere beleidsdomeinen worden toegepast (transport, milieu, veiligheid).

b) Waarde van een statistisch leven voor een volwassen Vlaming.

Op basis van literatuur en meta-analyses is de beste schatting voor de VSL voor OESO landen 100 (75-150) keer het BNP per capita (Robinson et al, 2019; Brey et al , 2017 ; Lindhjem, 2011; OESO, 2012; Hamitt 2023, Cropper et al, 2023), met een bandbreedte van 75 tot 150 keer. Voor Vlaanderen komt dit neer op 4,5 (3,4 – 6,8) miljoen euro/geval. Deze bandbreedte is consistent met aanbevelingen en kengetallen voor bijv. kosten-baten studies (Cropper, 2023; CE-Delft, 2023). De bovengrens is in lijn met recente studie (Valor project) naar VSL in kader verkeersveiligheid en voor België en omringende landen (Schoeters et al, 2021).

c) Waarde van een statistisch leven voor 65+

Bovenstaand kengetal is enkel geschikt voor de waardering van extra sterftegeval voor een volwassene. Sommige studies hanteren weliswaar eenzelfde cijfer voor alle leeftijden, maar in de context van sterfte door hitte die voornamelijk oudere bejaarden treft is het beter wel rekening te houden met de impact van leeftijd. De literatuur levert maar beperkt inzicht in hoe de VSL varieert met de leeftijd. Er zijn wel veel aanwijzingen dat deze waarde lager is voor ouderen (65+). Op basis van de gegevens uit Brey et al , 2017 schatten we dat de VSL 31 % lager is voor de leeftijdsgroep 65-85 (3,1 miljoen euro) en 61% lager voor 85+ (1,8 miljoen euro). We merken op dat er in verhouding veel meer onzekerheid is over de waardering voor ouderen dan voor de volwassenen (Cropper et al, 2023).

d) Waarde van een statistisch levensjaar per leeftijdscategorie

In verhouding zijn er veel minder studies om de VSLY in te schatten, en hiervoor zijn er geen kengetallen uit literatuur of meta analysis beschikbaar. Enkel voor luchtverontreiniging zijn er enkele studies (Desaigues et al, 2007 en 2011; Rabl et al, 2014)) waarvan de resultaten ook in beleidsstudies worden gehanteerd (bijv. CAFE,2005 ; VMM –Mira, CE 2023), maar deze studies zijn relatief oud en worden veel minder gehanteerd in andere beleidsdomeinen (veiligheid, transport).

Een gangbare pragmatische vuistregel om op basis van de VSL een VSLY te berekenen is de VSL waarde te delen door het aantal verwachte levensjaren (41 jaar voor volwassene)

(Robinson et al, 2019). Voor een volwassen Vlaming komt dit neer op 111K (83 – 155K) euro/ levensjaar.
Voor kinderen en jongeren is er in verhouding veel minder informatie over waardering. De meest gangbare methodes om de VSL te bepalen kunnen niet gehanteerd worden om de waardes die kinderen zelf hechten aan risicoreducties in te schatten (bijv. geuite preferenties op basis van arbeidsmarkt of uitgaven voor veiligheid). Het beperkt aantal studies dat kijkt naar hoe ouders risicoreducties voor hun kinderen waarderen geeft aan dat zij dit hoger waarderen dan voor henzelf (Hunt et al, 2010), maar er zijn te weinig studies om dit goed te kwantificeren.
De impact berekening maakt geen onderscheid tussen kinderen en volwassenen. Op basis van de beschikbare informatie hanteren we de waardering voor volwassenen ook voor kinderen en jongeren.

De geschatte waarde voor een VSLY van 111K (83 – 155K) euro/ levensjaar is ook in lijn met de economische waardering van DALY's voor mortaliteit, uit de meta-analyse van Ryen et al, 2015 en van Kouakou, 2022. Dit cijfer zit aan de bovengrens van de aanbeveling van de WHO voor de waardering van de DALY (1 – 3 keer BNP/capita.jaar). Het is ook hoger dan de cijfers per verloren levensjaar gehanteerd in de bovenvermelde beleidsstudies voor luchtverontreiniging (Rabl et al, 2014) .

Voor de 65-plussers is er veel onzekerheid voor de waarde van de VSLY, en is de centrale schatting het gemiddelde van een lage en hoge schatting. Voor de lage schatting hanteren we de VSLY voor een volwassene. Voor de hoge schatting berekenen we de VSLY door de leeftijdsspecifieke VSL te delen door het aantal verwachte levensjaren. Voor een bejaarde is de VSL weliswaar lager, maar in verhouding is de levensverwachting nog lager, zodat de VSLY voor een bejaarde (202 tot 270 K euro/levensjaar) hoger is dan voor een volwassene. De centrale schatting is het gemiddelde van de lage en hoge schatting, wat resulteert in een waarde van respectievelijk 157 en 190 K euro/levensjaar voor 65+ en 85+.

e) Waardering van een geval per leeftijdscategorie in 2023 en 2050

De waardering per geval is het product van het aantal verloren levensjaren per leeftijdscategorie en de leeftijdsspecifieke waardering van een levensjaar. In de basisschatting voor 2023 varieert ze van 6 miljoen euro (voor de leeftijdsgroep 0-65 jaar) tot 0.95 miljoen euro voor de 85 +.
Voor de leeftijdsgroep 0-65 jaar is de centrale schatting (6 miljoen euro) hoger dan de VSL voor een volwassen Vlaming (4,5 miljoen euro) omdat er meer jaren verloren gaan (57 versus 41).

Voor de 65+ en 85+ zijn de hoge en lage schatting voor de economische waardering (VLJ x waarde/VLJ) gebaseerd op het 95% interval van een Monte Carlo analyse, op basis van een uniforme kans voor de lage tot de hoge schatting van de bepalende factoren (VLJ en van de waarde/VLJ). Dit leidt tot een iets nauwere bandbreedte.

f) Waardering van een geval per leeftijdscategorie in 2050

In kosten-baten analyses is het de standaardpraktijk om toekomstige kosten of baten aan te passen aan verwachte toekomstige evoluties zoals bijv. economische groei.
Zoals hierboven aangegeven is de waardering van een VSL voor OESO landen een lineaire functie van het BNP per capita. Voor 2050 lijkt het dus enerzijds logisch om aan te nemen dat de waarde van de VSL stijgt met de verwachte reële groei van het BNP per capita. Deze groei wordt voor België door de OECD ingeschat op 1.7 % per jaar. Anderzijds is het sowieso onzeker hoe de waardering naar 2050 toe zal evolueren. Ten tweede is ook de economische groei zelf onzeker.

Gegeven deze onzekerheden nemen we voorzichtigheidshalve aan dat de waardering stijgt met de helft van deze groei. Dit betekent dat alle waardes in 2050 25% hoger zijn dan in 2023.

Als deze gegevens worden gebruikt voor bijv. kosten-baten studies van maatregelen bevelen we aan dat deze aannames m.b.t. verwachte economische groei en impact op kosten of baten consistent wordt gemaakt met andere maatregelen.

2.5.2 Resultaten

Tabel 5 toont de gezondheidsimpact in **verloren levensjaren** per zomer voor Vlaanderen, gebaseerd op de verwachte hittemortaliteit (alle oorzaken, Tmin) per leeftijdscategorie. In Vlaanderen schatten we het aantal **verloren gezonde levensjaren** door hittestress op 2.500 per zomer voor de huidige situatie (Tabel 6). Als we de klimaatverandering en vergrijzing in rekening brengen zou dat in de toekomst (hoog 2050 incl vergrijzing) kunnen oplopen tot ca. 13.000 verloren gezonde levensjaren per zomer in Vlaanderen. Het totaal aantal verloren levensjaren komt overeen met een kost van 765 miljoen euro voor de huidige situatie en meer dan 5,5 miljard euro in de toekomst (hoog 2050 incl. vergrijzing), voor een gemiddelde zomer in Vlaanderen (Tabel 7).

Zowel op de inschatting van de verwachte hittemortaliteit als op de inschattingen van de verloren levensjaren en de waardering ervan zit een onzekerheid. Dat vertaalt zich in het interval dat naast elk resultaat in Tabel 5, Tabel 6 en Tabel 7 staat. De midden inschatting van de VLJ en kost wordt toegepast op de mortaliteit op basis van de RR's. Voor de lage en hoge inschatting wordt de onzekerheid op de VLJ en kost gecombineerd met het betrouwbaarheidsinterval van de RR's. De mortaliteit op basis van de ondergrens en bovengrens van de RR's (95% betrouwbaarheidsinterval) wordt gebruikt in combinatie met respectievelijk de lage en hoge kengetallen voor de berekening de VLJ en economische kost. Het interval in de tabel toont dus niet enkel de onzekerheid op de economische inschatting, maar de totale onzekerheid gecombineerd met het betrouwbaarheidsinterval van de RR.

Tabel 5: Gezondheidsimpact uitgedrukt in verloren levensjaren (VLJ) voor een gemiddelde zomer, met mortaliteit op basis van alle doodsoorzaken en Tmin in Vlaanderen.

Scenario	0-64	65-84	85+	Alle leeftijden
huidig (2000-2019)	864 (0 - 3242)	2.574 (1219 - 4359)	1.381 (737 - 2172)	4.819 (1956 - 9774)
hoog (2050 - enkel T)	1.428 (0 - 9022)	10.664 (5466 - 17224)	5.261 (2912 - 8067)	17.352 (8378 - 34313)
hoog (2050 - incl vergrijzing)	1.507 (0 - 9441)	13.629 (6984 - 22016)	11.609 (6427 - 17804)	26.745 (13411 - 49262)

Tabel 6: Gezondheidsimpact uitgedrukt in verloren gezonde levensjaren (VGLJ) voor een gemiddelde zomer, met mortaliteit op basis van alle doodsoorzaken en Tmin in Vlaanderen.

Scenario	0-64	65-84	85+	Alle leeftijden
huidig (2000-2019)	584 (0 - 2558)	1.296 (559 - 2394)	601 (273 - 1096)	2.481 (832 - 6047)
hoog (2050 - enkel T)	964 (0 - 7116)	5.373 (2508 - 9454)	2.293 (1075 - 4061)	8.631 (3584 - 20630)
hoog (2050 - incl vergrijzing)	1.017 (0 - 7447)	6.867 (3205 - 12084)	5.061 (2373 - 8962)	12.946 (5578 - 28493)

Tabel 7: Gezondheidsimpact uitgedrukt economische kost (in k euro) voor een gemiddelde zomer, met mortaliteit op basis van alle doodsoorzaken en Tmin in Vlaanderen.

Scenario	0-64	65-84	85+	Alle leeftijden
huidig (2000-2019)	95.931 (0 - 480584)	405.313 (153481 - 823063)	263.642 (90180 - 531168)	764.886 (243661 - 1834815)
hoog (2050 - enkel T)	198.124 (0 - 1671413)	2.099.134 (859964 - 4064931)	1.255.524 (444304 - 2466975)	3.552.782 (1304269 - 8203319)
hoog (2050 - incl vergrijzing)	209.050 (0 - 1749170)	2.682.885 (1098839 - 5196002)	2.770.656 (980476 - 5444469)	5.662.592 (2079315 - 12389641)

2.5.3 Discussie

DALY's en verloren levensjaren

De berekeningen van de verloren levensjaren zijn in lijn met de internationale literatuur (Baccini, 2013, Adelaide et al, 2022; Liu et al, 2019, Urban et al, 2020). Dit neemt niet weg dat er onzekerheid is in welke mate de oversterfte door hitte al dan niet vooral de meer kwetsbare mensen treft binnen de onderscheiden leeftijdsgroepen. Deze indicator geeft wel goed weer dat de meerderheid van de gevallen de ouderen mensen betreft met een lagere gemiddelde levensverwachting.

De geschatte VLJ in het huidige scenario (4.819 VLJ/zomer) zijn een factor 20 hoger dan gerapporteerd door Buekers et al. 2021 (233 VLJ/zomer) omdat de componenten onderliggend aan de berekeningen verschillend zijn. De dosis-effect relatie om effecten van hitte op mortaliteit in te schatten is in dit rapport gebaseerd op de meest recente epidemiologische studie, op basis van sterfte- en hitte-data voor Vlaanderen (Faes & Duarte, 2023 in Bijlage A). Omdat ten tijde van het rapport Buekers et al. (2021), de studie van Faes voor Vlaanderen nog niet finaal beschikbaar was, is er na een uitgebreid literatuuronderzoek gerekend met de methode uit de Nederlandse studie Huyen et al. (2001). De schatting in het rapport Buekers et al. (2021) is een factor 2 lager. Daarnaast verschillen beide studies ook op vlak van de aannames voor het aantal verloren levensjaren per geval. Deze studie hanteert in lijn met recente studies de gemiddelde levensverwachting voor de drie onderscheiden leeftijdsgroepen (0-64, 64-85 en +85). Gemiddeld genomen verliest een vroegtijdig overlijden door hitte dan 10,4 levensjaren. Bij Buekers et al. (2021) wordt een overlijden gelijkgesteld aan 1 verloren levensjaar. De studie ging enkel over 65+ jarigen. Ook in het VMM Klimaatportaal (versie 2022) was de ondergrens van het interval gebaseerd op een minimale inschatting van de VLJ, met name 1 jaar per geval, op basis van één studie (Armstrong, 2017). Nu hanteren we een hoger cijfer voor de lage inschatting.

Merk op dat indicatoren voor ziektelast ook tot doel hebben om naast effecten op mortaliteit ook de effecten op **morbiditeit** mee te nemen. Hiertoe rekent men bijkomend het aantal verloren gezonde levensjaren door effecten op ziekte mee, op basis van DALY's waarbij

$$DALY = YLL + YLD$$

De DALY beschouwt niet alleen het aantal mensen dat vroegtijdig sterft door hittestress (YLL of VLJ), maar meet ook het aantal jaren dat mensen leven met gezondheidsproblemen (Eng: YLD, Years Lived with Disabilities) en in mindere mate ook voor hinder (bijv. slaapverstoring). Omdat we geen data hebben over effecten op morbiditeit, rapporteren we in deze studie enkel YLL of VLJ.

In de studie van Buekers et al (2021) is op basis van dosis-effect relaties uit buitenlandse studies de impact van hitte op morbiditeit ingeschat, en dit leidt tot een impact van 20 Daly's voor de huidige situatie, wat overeenkomt met 8% van de impact van sterfte uit dat rapport, en 0.5% met de impacts uit voorliggend rapport. Studies voor andere landen hebben wel

bijkomend enkele effecten op morbiditeit meegenomen (Adelaide, 2020; Liu 2019), en geven aan dat de gekende effecten een beperkt bijkomend effect hebben. Het effect van hitte op morbiditeit lijkt dus eerder klein, maar dit heeft eerder te maken met het feit dat maar een klein deel kwantificeerbaar is. De studies (Adelaide, 2020; Liu 2019; Buekers, 2021) kunnen evenwel ook geen schatting maken van het totale effect omdat niet alle potentiële effecten (bijv. slaapverstoring) zijn meegenomen. Het effect op morbiditeit zou wel eens veel groter kunnen zijn als alle potentiële effecten gekwantificeerd zouden kunnen worden.

Economische waardering

We hanteren een nieuwe methode voor de economische waardering. Eerdere studies hebben aangegeven dat de waardering op basis van kengetallen voor de VSL of VSLY zeer uiteenlopende resultaten geeft. In deze studie hebben we de info over beide indicatoren nader onderzocht en getracht deze op een doorzichtige wijze samen te brengen.
Deze studie blijft evenwel een benadering, met een relatief grote onzekerheid. Dit komt hoofdzakelijk omdat er geen specifieke studies zijn uitgevoerd naar de waardering van oversterfte door hitte die rekening houdt met de kenmerken van de getroffen mensen, voornamelijk naar leeftijd. Verder is er wel consensus over de orde van grootte van de VSL en VSLY voor volwassenen maar niet over de impact van leeftijd op deze waardering.
De voorgestelde aanpak leidt enerzijds tot een iets lagere VSL per geval voor bejaarden, in lijn met de literatuur. Anderzijds leidt dit tot een relatief hogere VSLY voor bejaarden, wat we kunnen duiden als een hogere waardering omdat er minder levensjaren resten.

We merken op dat deze aanpak leidt tot hogere VSLY-waardes in vergelijking met de kengetallen die gehanteerd worden in de studies en beleidsdocumenten rond luchtverontreiniging. Deze zijn gebaseerd op enkele vrij oude waarderingsstudies specifiek in de context van luchtverontreiniging (Desaigues, 2005; Rabl and Spadaro, 2016). De hier voorgestelde aanpak sluit anderzijds meer aan bij economische waardering van sterfterisico's in andere beleidsdomeinen (veiligheid, transport).

Anderzijds zou men ook een lagere waardering kunnen verwachten omdat de verloren jaren voor bejaarden jaren met mindere gezondheid zijn. Er zijn onvoldoende studies naar waardering van gezonde levensjaren voor bejaarden om in te schatten hoe de mindere gezondheid deze waardering beïnvloedt. De cijfers voor waardering geven alleszins aan dat men heel voorzichtig moet zijn om deze verloren levensjaren als minder belangrijk te beschouwen omdat het om minder gezonde levensjaren gaat.

Tot slot moet men rekening houden dat deze indicatoren enkel slaan op het gekende en gekwantificeerde deel van de impacts van hitte en dan enkel de impact op mortaliteit. De kwantificering van de effecten vormt een ondergrens voor de totale impacts van hitte op gezondheid en arbeidsproductiviteit aangezien de kwantificering om mortaliteit gaat (The lancet, 2021, Burkart, 2021, Cromar et al, 2022). Daarnaast zijn de directe effecten van hitte op ziektes (respiratoir, cardiovasculair, diabetes, ...) bij ouderen en andere kwetsbare groepen, vaak aangetoond in de internationale literatuur (Ebi et al, 2022, WHO, 2021). Verder heeft hitte ook effect op arbeidsproductiviteit, of indirecte gezondheidseffecten voor de gehele bevolking zoals bijv. vermindering van fysieke activiteit of slaap (Ebi et al, 2022).

3 DEELTAAK 2: ACTUALISATIE EN HERZIENING VAN DE HITTEKWETSBAARHEIDSKAART

3.1 Doelstelling

In het kader van de wetenschappelijke ondersteuning voor hittesensibilisering en het Vlaams Warmteactieplan heeft VITO, in opdracht van het Vlaams Instituut Gezond Leven en het Agentschap Zorg en Gezondheid (nu Departement Zorg), een analyse van kwetsbare doelgroepen gemaakt (Hooyberghs, 2018). Deze kaart brengt in beeld waar in Vlaanderen doelgroepen met een verhoogde sensitiviteit aan hittestress wonen op locaties met een verhoogde blootstelling. In deze analyse werd onderzocht welke indicatoren verhoogde sensitiviteit aan hittestress kunnen inhouden. Dit gebeurde aan de hand van leefomstandigheden die gezondheidsongelijkheid verklaren (socio-economische parameters) en ook indicatoren die specifiek betrekking hebben op blootstelling aan hittestress (buurtgroen). Deze **kwetsbaarheidskaarten** werden gecombineerd met de **hittestress**, dit is de gemodelleerde hittebelasting, tot de **hittekwetsbaarheid.**
Deeltaak 2 omvat de actualisatie en herziening van de huidige kwetsbaarheidskaarten en totale hittekwetsbaarheid. Sindsdien werden verschillende actualisaties uitgevoerd op basis van recentere gegevens. Dit rapport omvat de meest recente herziening van oktober 2026, waarbij de hittekwetsbaarheid werd berekend op basis van de actuele afbakening van de statistische sectoren (versie 01/01/2025).

3.2 Methode

3.2.1 Evaluatie van de kwetsbaarheidsindicatoren

De kwetsbaarheidsindicatoren uit de studie van 2018 worden geëvalueerd op hun relevantie en actualiteit.
Er wordt nagegaan of meer recente of meer gepaste data beschikbaar zijn. Bijvoorbeeld voor de economische indicatoren werden vroeger het percentage werkzoekenden uit Census 2011 gebruikt en de afwijking van het mediane inkomen t.o.v. het Vlaamse mediane inkomen uit 2015 (StatBel). Ondertussen zijn hiervoor meer recente data beschikbaar (bv. jaarlijkse data via provincies.incijfers.be). Daarnaast zullen ook mogelijke alternatieven bestudeerd worden zoals de welvaartindex (StatBel) of de kansarmoede-index (Agentschap Opgroeien).
Zoals beschreven in de volgende paragraaf 3.2.2 wordt een statistische analyse uitgevoerd m.b.t. de weging van de indicatoren. De resultaten van die analyse geven ook inzicht in de relevantie van de indicatoren en de voorspellende waarde. Van de relevante indicatoren wordt de meest recente beschikbare dataset verzameld.

3.2.2 Evaluatie van de weging

In de vorige versie van de hittekwetsbaarheidskaart werd geopteerd voor een simpele homogene weging waarbij alle parameters als even belangrijk werden beschouwd, conform de methode voor de studie ‘Hittekaart Antwerpen’ (Lauwaet et al. 2013). Men moet er echter bij het opstellen van wegingsformules rekening mee houden dat sommige parameters sterk onderling gecorreleerd zijn. Aan de hand van statistische modellering worden de onderlinge correlaties en de associatie met hitte-mortaliteit en het aantal hittegolfgraaddagen per gemeente onderzocht.
Uit de statistische analyse beschreven in Bijlage B, blijkt dat er een sterke correlatie is tussen verschillende van de deelindicatoren. Daarom worden de deelindicatoren eerst gegroepeerd in 4 thema’s: ‘*Bevolkingsdichtheid en leeftijdsverdeling’*, ‘*Collectieve voorzieningen’*, *‘Socio-economische kwetsbaarheid’* en *‘Groen’*. Binnen elk thema wordt nagegaan waar de sterkste correlaties zitten en welke combinatie het best het thema kan vertegenwoordigen in de totale

kwetsbaarheidsindex. Voor elke voorgestelde groep is er een associatie met zowel hittegerelateerde sterfte als het aantal hittegolfgraaddagen voor een gemeente. Hieruit kunnen lessen getrokken worden voor de weging, maar de exacte gewichten kunnen niet enkel uit een regressie-analyse afgeleid worden. Het concept van de hittekwetsbaarheidsindex is bedoeld om de bredere kwetsbaarheid voor te stellen, meer dan enkel hittegerelateerde sterfte of het aantal hittegolfgraaddagen. De analyses m.b.t. de kwetsbaarheidsfactoren en de hittegerelateerde sterfte kunnen inzichten geven, maar zijn onvolledig omdat morbiditeit hier niet wordt meegenomen. Daarom kan het exacte gewicht van de deelindicatoren niet uit de regressie afgeleid worden. Naast de statistische modellering, is de inschatting dus ook nog altijd voor een deel 'expert-based'. Hierbij was een rol weggelegd voor de stuurgroep om samen de knopen door te hakken over de relevantie van de verschillende indicatoren.

We evalueerden de haalbaarheid om de doorgerekende hittegerelateerde sterfte te gebruiken als kwetsbaarheidsindicator of extra kaartlaag. Dit werd niet weerhouden omdat we de bredere kijk van hittekwetsbaarheid wilden behouden, met zowel mortaliteit als morbiditeit. De parameters die een grote invloed hebben op de hittegerelateerde mortaliteit (leeftijd, inwonersdichtheid, temperatuur in de vorm van hittegolfgraaddagen) zitten ook al in de indicatoren voor de hittekwetsbaarheid. Nog eens de mortaliteit meenemen zou het gewicht daarvan enkel extra vergroten.

3.2.3 Berekeningen per statistische sector

De geselecteerde relevante indicatoren ter voorspelling van de kwetsbaarheid en hittestress worden berekend per statistische sector, zoals bij de vorige hittekwetsbaarheidskaart. De indicatoren worden op een gelijkaardige schaal gebracht, van 0 tot 10. Dit wordt zoveel mogelijk op dezelfde manier gedaan, namelijk met decielen[8]. Tabel 8 illustreert de herschaling voor de indicator bevolkingsdichtheid. Naar analogie met de vorige studie sluiten we in de verdere analyse statistische sectoren uit die heel weinig inwoners hebben, maar we verlagen de grens van 100 naar 50 inwoners. Ook statistische sectoren die geen synthese-index hebben voor hun socio-economische status worden uitgesloten in de verdere analyse. Voor enkele categorische kaarten of specifieke indicatoren (bv. buurtgroen) wordt een andere herschaling gehanteerd (zie laatste kolom inTabel 9).

[8] De absolute waarden worden omgezet naar waarden tussen 0 en 10, naargelang de positie in het 10^e, 20^e … 90^e percentiel van de dataset. Elk percentieel bevat hetzelfde aantal waarden.

Tabel 8: Herschaling van de indicator bevolkingsdichtheid naar scores tussen 0 en 10

Score	Minimum waarde bevolkingsdichtheid (inw/km²)	Maximum waarde bevolkingsdichtheid (inw/km²)	Aantal statistische sectoren
0	3	65	789
1	65	135	788
2	135	309	788
3	309	716	788
4	718	1.081	788
5	1.081	1.438	789
6	1.439	1.780	788
7	1.780	2.281	788
8	2.281	3.103	788
9	3.103	5.179	788
10	5.183	28.421	789
Blanco[9] met kwetsbare instelling			66
Blanco zonder kwetsbare instelling			1.108
Totaal			**9.845**

We stemmen dit maximaal af op de aanpak die gevolgd werd bij de kwetsbaarheidskaart van 2018. De combinatie van de verschillende indicatoren tot de synthese-index kwetsbaarheid gebeurt wel met de nieuwe weging die uit 3.2.2 komt.

Alle indicatoren en de finale hittekwetsbaarheidskaart worden voor gebruik door MMK's en lokale besturen verzameld in een databank met de cijfers per statistische sector en ook visueel inzichtelijk gemaakt in het Tableau dashboard (zie hoofdstuk 4 voor de beschrijving van deeltaak 3).

3.3 Resultaten en discussie

3.3.1 Deelindicatoren hittekwetsbaarheid

Tabel 9 geeft een overzicht van de deelindicatoren die gecombineerd werden tot de hittekwetsbaarheid. Voor groen in de buurt werden verschillende indicatoren getest, maar slechts twee weerhouden. Degene in het grijs gedrukt zijn niet gebruikt in het finale resultaat.

[9] Blanco sectoren zijn statistische sectoren met minder dan 50 inwoners OF statistische sectoren zonder SES index. Onder kwetsbare instellingen verstaan we ziekenhuizen, residentiële ouderenzorg, kinderopvang en kinderonderwijs.

Tabel 9: Overzicht van de indicatoren

Groep	Dataset	Beschrijving	Jaartal	Bron	Methode van herschaling
Bevolking algemeen	Bevolkingsdichtheid	Bevolkingsdichtheid, uitgedrukt in aantal inwoners per km²	2025	Statbel	Decielen
Kwetsbare doelgroepen	Ziekenhuizen	Aantal (algemene en psychiatrische) ziekenhuizen	2025	GeoPunt Vlaanderen, POI-service	Geen ziekenhuizen => 0; Ziekenhuizen aanwezig => 10
	Residentiële ouderenzorg	Aantal woonzorgcentra en groepen van assistentiewoningen	2025	GeoPunt Vlaanderen, POI-service	Geen RVT => 0; 1 RVT => 3; 2 - 3 RVT => 7; > 3 RVT => 10
	Kinderopvang	Aantal kinderopvangverblijven (groeps- en gezinsopvang baby's en peuters)	2025	GeoPunt Vlaanderen, POI-service	Geen KO => 0; 1-2 KO => 3; 3 - 5 KO => 7; > 5 KO => 10
	Kinderonderwijs	Aantal kleuter- en basisscholen (gewoon en buitengewoon)	2025	GeoPunt Vlaanderen, POI-service	Geen school => 0; 1 school => 3; 2 - 3 scholen => 7; > 3 scholen => 10
	Inwoners jonge leeftijd	Proportie inwoners 0-9 jaar t.o.v. alle leeftijden	2025	provincies.incijfers.be, Rijksregister	Decielen
	Inwoners oude leeftijden	Proportie inwoners > 65 jaar t.o.v. alle leeftijden	2025	provincies.incijfers.be, Rijksregister	Decielen
	Combinatie index socio-economische kwetsbaarheid	SES index	2021	Vanderstraeten L. & Van Hecke E. (2023). Buurten met een concentratie van kwetsbare huishoudens en kwetsbare woonsituaties anno 2021. Steunpunt Wonen.	(0-8) naar (0-10) via factor 1,25 + conversie naar de statistische sectorindeling van 2025
	Nationaliteit	Niet EU-burger			Decielen
	Werkzoekenden	Werkzoekenden			Decielen
	Inkomen	Inkomen			Decielen
	Woonkwaliteit	Woningen voor 1945			Decielen
	Woonkwaliteit	Woonoppervlakte			Decielen
	Eigendom	Huurwoningen			Decielen

	Eenoudergezinnen	Eenoudergezinnen			Decielen
	Onderwijsgraad	Laaggeschoolden			Decielen
Natuur	Toegang tot buurtgroen	Percentage inwoners zonder toegang tot buurtgroen	2022	Buurtgroen Departement Omgeving	Vaste schaal: 0 % >> 0; 0 – 5% >> 2; 5 – 20 % >> 5; 20 – 50 % >> 7; > 50% >> 10 + conversie naar de statistische sectorindeling van 2025
	Bomen	Percentage inwoners met <10% hooggroen in nabije omgeving (50m)	2022	Groenkaart/VITO	Vaste schaal: 0 % >> 0; 0 – 5% >> 2; 5 – 20 % >> 5; 20 – 50 % >> 7; > 50% >> 10 + conversie naar de statistische sectorindeling van 2025
	Bomen	Percentage inwoners met <30% hooggroen in wijk (300m)	2022	Groenkaart/VITO	Vaste schaal: 0 % >> 0; 0 – 5% >> 2; 5 – 20 % >> 5; 20 – 50 % >> 7; > 50% >> 10
	Groen in de wijk	Percentage inwoners met <20% groen in wijk (300m)	2022	Groenkaart/VITO	Vaste schaal: 0 % >> 0; 0 – 5% >> 2; 5 – 20 % >> 5; 20 – 50 % >> 7; > 50% >> 10
	Groen in de wijk	Percentage inwoners met <50% groen in ruimere wijk (2000m)	2022	Groenkaart/VITO	Vaste schaal: 0 % >> 0; 0 – 5% >> 2; 5 – 20 % >> 5; 20 – 50 % >> 7; > 50% >> 10

Hitte	Hittegolfgraaddagen	Aantal hittegolfgraaddagen	2000-2019	Klimaatportaal VMM	decielen

Meer achtergrondinformatie bij enkele deelindicatoren:

SES-index

De synthese-index socio-economische kwetsbaarheid (“SES-index”) kwam tot stand door voor de 8 socio-economische deelindicatoren te onderzoeken of een bepaalde drempelwaarde overschreden werd (Vanderstraeten L. & Van Hecke E., 2023). Het rapport en de data van deze analyse door het Steunpunt Wonen zijn terug te vinden op de website van het Steunpunt Wonen. Deze analyse werd uitgevoerd op basis van de statistische sectorindeling van 2022. Bij de meest recente actualisatie werden de SES-index en de bijbehorende deelindicatoren overgezet naar de statistische sectorindeling van 2025 aan de hand van een oppervlaktegewogen gemiddelde.

Eenoudergezinnen

Verhouding van het aantal eenoudergezinnen ten opzichte van het totaal aantal private huishoudens (2021).
Score 0-10 op basis van situering t.o.v. de rest van Vlaanderen (decielen).

Huurwoningen

Percentage huurwoningen (2021).
Score 0-10 op basis van situering t.o.v. de rest van Vlaanderen (decielen).

Inkomen

Kwetsbaar inkomen (de score stijgt naarmate het gemiddeld inkomen per persoon daalt).
Gebaseerd op het gemiddeld netto belastbaar inkomen per inwoner (2019).
Score 0-10 op basis van situering t.o.v. de rest van Vlaanderen (decielen).

Laaggeschoolden

Aandeel 25-plussers zonder diploma secundair onderwijs t.o.v. de volledige groep 25-plussers (2017).
Score 0-10 op basis van situering t.o.v. de rest van Vlaanderen (decielen).

Niet EU-burger

Aandeel niet-EU15-burgers (excl. VS en andere rijke OESO-landen) (2021).
Score 0-10 op basis van situering t.o.v. de rest van Vlaanderen (decielen).

Werkzoekenden

Aandeel werkzoekenden t.o.v. de actieve werkbevolking (2021).
Score 0-10 op basis van situering t.o.v. de rest van Vlaanderen (decielen).

Woningen voor 1945

Percentage woningen gebouwd voor 1945 (2021).
Score 0-10 op basis van situering t.o.v. de rest van Vlaanderen (decielen).

Woonoppervlakte

Kwetsbare woonoppervlakte (de score stijgt naarmate de gemiddelde oppervlakte per persoon daalt) (2021).
Gebaseerd op de gemiddelde woonoppervlakte per persoon.
Score 0-10 op basis van situering t.o.v. de rest van Vlaanderen (decielen).

Buurtgroen

Buurtgroen wordt gedefinieerd als een groengebied met een minimumoppervlakte van 0,2 hectare binnen de afstand van 400 meter van de woning. Het buurtgroen is gebaseerd op verschillende soorten groen uit de VITO landgebruikskaart 2022 (bv. parken). Sinds 2022 worden ook groene sportterreinen opgenomen in het buurtgroen. Landbouw hoort hier niet bij. Buurtgroen gaat over toegankelijk groen waarbij de toegankelijkheid bepaald wordt door de aanwezigheid van een openbare weg. Meer informatie over de berekening van het buurtgroen is terug te vinden in het technisch rapport. De kaart van het buurtgroen is te bekijken op Geopunt. Ook hier werd het resultaat op basis van de oude statistische sectorindeling overgezet naar de meest recente sectorindeling aan de hand van een oppervlaktegewogen gemiddelde.

Bomen 50m

Bomen zorgen voor verkoeling door schaduwvorming en evapotranspiratie. Uit metingen die VITO uitvoerde in Antwerpen in kader van de hittekaartstudie[10] bleek dat bomen de lucht temperatuur tot 3°C kunnen koelen op een warme zomeravond. Over een hele zomer bekeken was er een gemiddeld koelte-effect van 1°C 's avonds en 's nachts (=30% van het stedelijke warmte-eiland). Dit effect is erg lokaal en vermindert snel met de afstand tot de bomen, vandaar dat hier enkel bomen in de directe nabijheid in beschouwing worden genomen. Op basis van het 'hoog groen' (bomen) op de groenkaart wordt het percentage hoog groen in een straal van 50m bepaald. De indicator geeft weer welk percentage inwoners minder dan 10% hoog groen rondom de woonplaats heeft. Ook hier werd het resultaat op basis van de oude statistische sectorindeling overgezet naar de meest recente sectorindeling aan de hand van een oppervlaktegewogen gemiddelde.

Hitte

Het meerjarig gemiddelde van het aantal hittegolfgraaddagen voor de jaren 2000-2019 per statistische sector. Bron: Klimaatportaal Vlaanderen (link naar kaartencatalogus)
Meer informatie over hitte in Vlaanderen is te vinden via het Klimaatportaal Vlaanderen op https://klimaat.vmm.be/themas/hitte.

3.3.2 Totale kwetsbaarheidskaarten

De totale kwetsbaarheidsindex per statistische sector wordt berekend door de scores van de geselecteerde deelindicatoren (behalve 'Hitte') te combineren. Elke deelindicator gelijk wegen in de totale index zou echter sommige input parameters dubbel meetellen. Het gewicht werd bepaald op basis van de regressie-analyse beschreven in Bijlage B in combinatie met expertkennis van de stuurgroep (methode beschreven in Bijlage 2 en paragraaf 3.2.2). Het resultaat staat in Tabel 10.

Tabel 10: Gewichten van de deelindicatoren in de totale kwetsbaarheid.

Type	Indicator	Gewicht
Bevolking algemeen	Bevolkingsdichtheid	1
Bevolkingsdichtheid en leeftijdsverdeling	0-9 jaar	1
Bevolkingsdichtheid en leeftijdsverdeling	>65 jaar	1
Collectieve voorzieningen	Ziekenhuizen	0,5
Collectieve voorzieningen	Residentiële ouderenzorg	0,5
Collectieve voorzieningen	Kinderopvang	0,5
Collectieve voorzieningen	Basisonderwijs	0,5

[10] https://www.antwerpenmorgen.be/nl/projecten/stedelijke-hittekaart/over

Socio-economische kwetsbaarheid	SES index	2
Groen	Buurtgroen	0,5
Groen	Bomen 50m	0,5

Omdat ouderen en kinderen gevoeliger zijn voor hittestress, werd ervoor gekozen om beide leeftijdsgroepen gewicht 1 te geven. Beide leeftijdsgroepen samen zijn dus goed voor gewicht 2. De algemene bevolkingsdichtheid kreeg ook gewicht. Dit is te verantwoorden omdat de gezondheidsimpact van hitte in absolute aantallen getroffenen ook groot zal zijn bij hoge bevolkingsdichtheden (bv. meer kans op stedelijk hitte-effect). Verder is de bevolkingsdichtheid meestal ook een belangrijke graadmeter van de gebouwendichtheid en de verharding, al zijn er uitzonderingen mogelijk (bv woonwijken met hoogbouw omringd door groen).

Ziekenhuizen en residentiële ouderenzorg bleken gecorreleerd, maar we wilden toch de aparte informatie niet verloren laten gaan. Daarom werd ervoor gekozen om hen beiden gewicht 0,5 te geven. Zo krijgt een statistische sector met een ziekenhuis én een rusthuis nog steeds een hogere score dan wanneer er enkel een ziekenhuis of enkel een rusthuis is. Hetzelfde geldt voor Kinderopvang en Basisonderwijs. Omdat zij vaak samen in dezelfde statistische sector voorkomen, kregen ze ieder slechts gewicht 0,5. Alle kwetsbare collectieve voorzieningen samen worden op deze manier met gewicht 2 meegenomen in de totale kwetsbaarheidsindex.
Bij de SES-index werd enkel de gecombineerde index meegenomen, omdat de afzonderlijke indicatoren (eenoudergezinnen, inkomen, …) ook gecorreleerd waren. De sociale kwetsbaarheid in termen van SES-index krijgt ook gewicht 2. De twee aspecten van groen worden elk met een gewicht 0,5 meegenomen. Buurtgroen verwijst naar de aanwezigheid van groene ruimte op wandelafstand, waar bomen 50m eerder verwijst naar de aanwezigheid van schaduw in de directe woonomgeving.

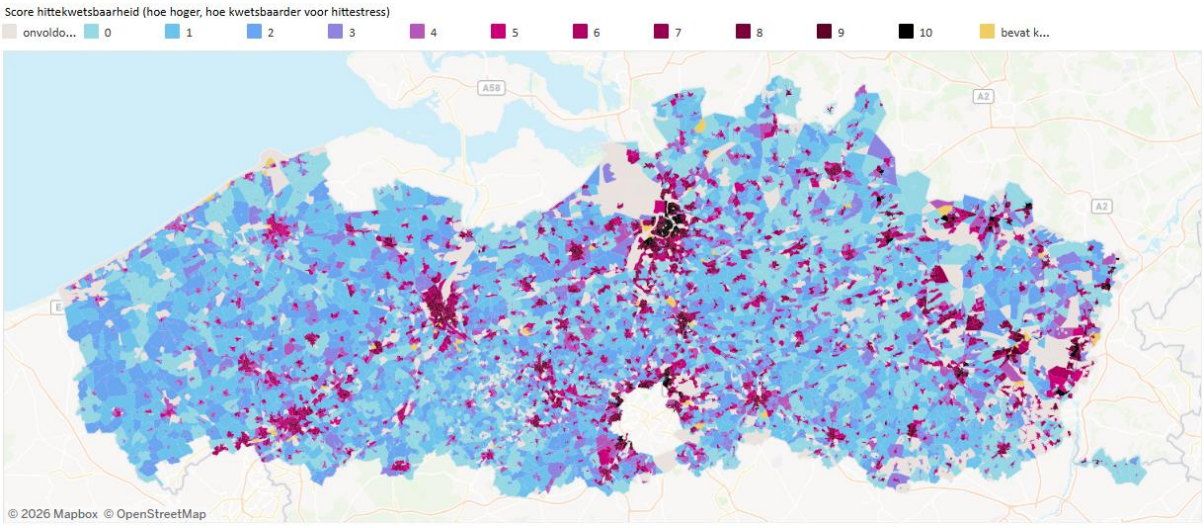
De totale kwetsbaarheid wordt opnieuw herleid naar een score tussen 0 en 10 op basis van decielen om de index te kunnen combineren met de indicator ‘Hitte’.

Hittekwetsbaarheidskaart
De hittekwetsbaarheid wordt vervolgens berekend door de kwetsbaarheidsscore te vermenigvuldigen met de indicator hitte, die per statistische sector het meerjarig gemiddelde (2000-2019) van het aantal hittegolfgraaddagen voorstelt. Hittegolfgraaddagen worden berekend op basis van de luchttemperatuur, en bieden een eerste inzicht in de mate van mogelijke hittestress.

Tenslotte wordt deze synthese-index ook vertaald naar een score tussen 0-10 op basis van het Jenks natural breaks algoritme. Dit algoritme clustert data in groepen waarbij de in-groep variantie wordt geminimaliseerd en de variantie tussen groepen wordt gemaximaliseerd. Tabel 11 illustreert de herschaling van de absolute hittekwetsbaarheid naar scores tussen 0 en 10. De ruimtelijke spreiding over Vlaanderen wordt in Figuur 5 getoond.

Tabel 11: Herschaling van de synthese-index hittekwetsbaarheid naar scores tussen 0 en 10

Score	Minimum waarde absolute hittekwetsbaarheid	Maximum waarde absolute hittekwetsbaarheid	Aantal statistische sectoren
0	0	10	956
1	10	32	1.245
2	32	57	1.154
3	57	84	1.095
4	85	115	983
5	115	151	903
6	151	191	797
7	191	232	616
8	232	276	440
9	276	328	303
10	329	537	179
Blanco met kwetsbare instelling			66
Blanco zonder kwetsbare instelling			1.108
Totaal			**9.845**



Figuur 5: Kaart met de verdeling van de synthese-index hittekwetsbaarheid over de Vlaamse statistische sectoren versie 1/01/2025

4 DEELTAAK 3: VISUALISATIE IN TOOL

4.1 Doelstelling

Deze deeltaak heeft als doel om de resultaten vlot beschikbaar en raadpleegbaar te maken voor departement Zorg, maar ook voor eindgebruikers. Zowel kaartlagen als cijfermateriaal voor alle aspecten die werden uitgewerkt in deeltaak 1 en 2 worden op een overzichtelijke en gebruiksvriendelijke manier in een laagdrempelige tool beschikbaar gemaakt.

De tool heeft 3 doelstellingen:

- Inhoudelijk rapporteren over hittegerelateerde sterfte en gerelateerde kosten van hitte, hittekwetsbaarheid en determinanten van kwetsbaarheid aan de hand van kaartlagen, tabellen en grafieken;
- Rapportage toelaten op de verschillende ruimtelijke niveaus waarop de resultaten berekend zijn (Vlaanderen, provincie, arrondissement, eerstelijnszone, gemeente, postcode en statistische sector);
- Naast rapporteren over de huidige situatie ook de inzichten voor de gesimuleerde toekomstsituatie weergeven.

4.2 Methode

Om deze deeltaak uit te voeren, worden volgende acties uitgevoerd:

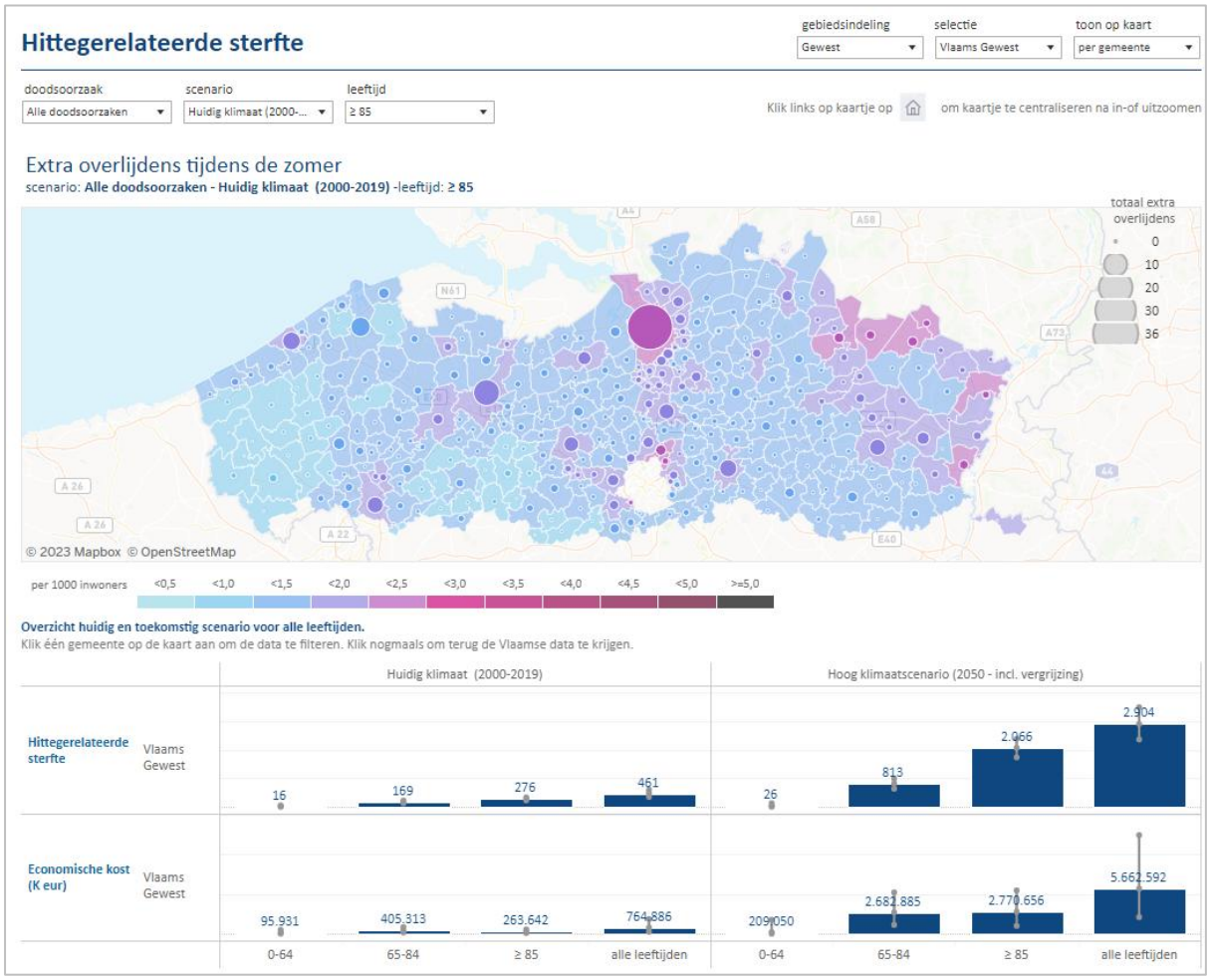
- Opmaak concept voor de laagdrempelige tool
- Ontwikkeling ‘proof-of-concept’
- Implementatie tool
- Testen en overdracht

De MMK’s zijn de voornaamste doelgroep van gebruikers. Zij zijn dus ook het klankbord en de testgroep, naast de stuurgroep.

4.3 Resultaten

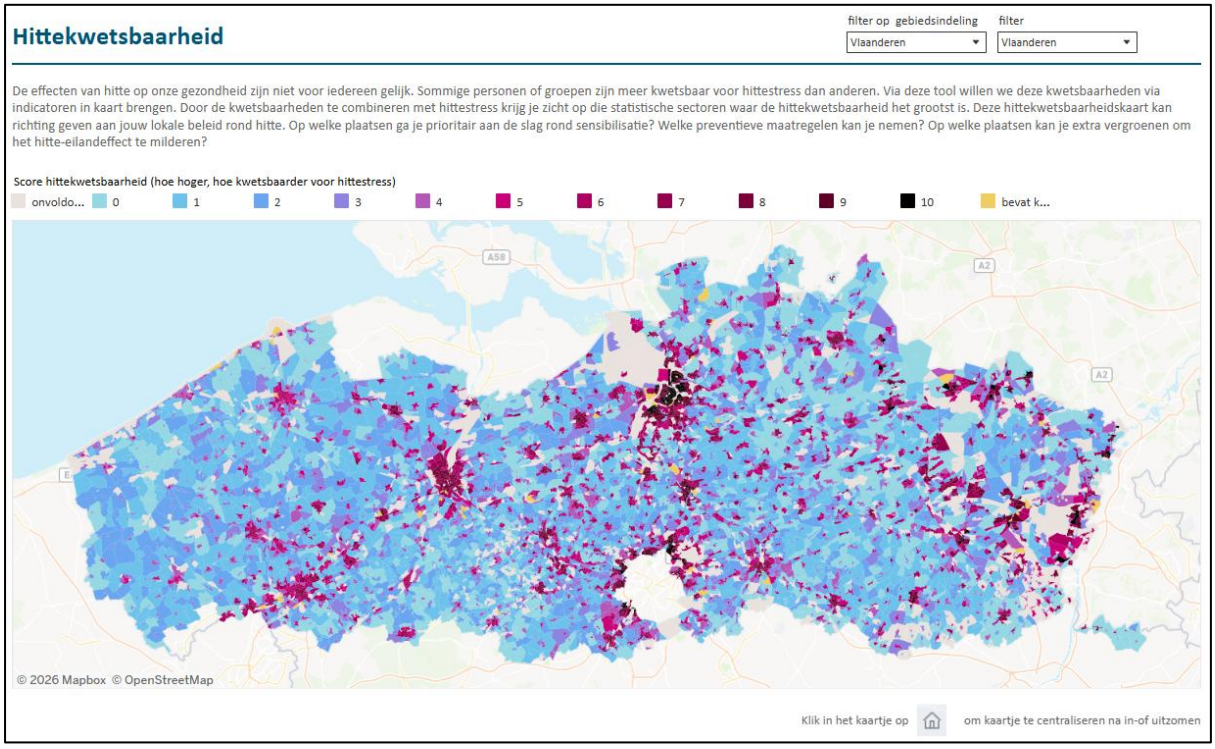
Om maximaal inzicht te geven in de resultaten van de studie worden 4 dashboards in Tableau ontwikkeld:

- **Hittegerelateerde sterfte:** kaart met de absolute en relatieve hittegerelateerde sterfte in functie van doodsoorzaak, scenario en leeftijdscategorie. Standaard worden de resultaten op gemeenteniveau getoond, maar het is ook mogelijk om kaarten te maken met totalen op niveau van de arrondissementen, provincies, eerstelijnszones of logo-gebieden. Ook kan het menu bovenaan rechts gebruikt worden om te zoomen naar een specifieke zone. Bij het selecteren van een zone op de kaart worden de overzichtstabellen van sterfte en economische kost onder de kaart automatisch bijgesteld van algemeen Vlaanderen naar het interessegebied. Ook het betrouwbaarheidsinterval van elke waarde wordt getoond.
  Voor hittegerelateerde sterfte is er ook een expertenversie beschikbaar. Deze versie bevat een extra scenario (Hoog klimaatscenario (2050 – enkel temperatuur)) en de mogelijkheid om te kiezen voor een andere referentietemperatuur dan nachttemperatuur, namelijk dagtemperatuur en gemiddelde temperatuur. Ook de verloren levensjaren en verloren gezonde levensjaren worden in deze expertenversie getoond. De achterliggende cijfers in excel zijn via een downloadlink beschikbaar.



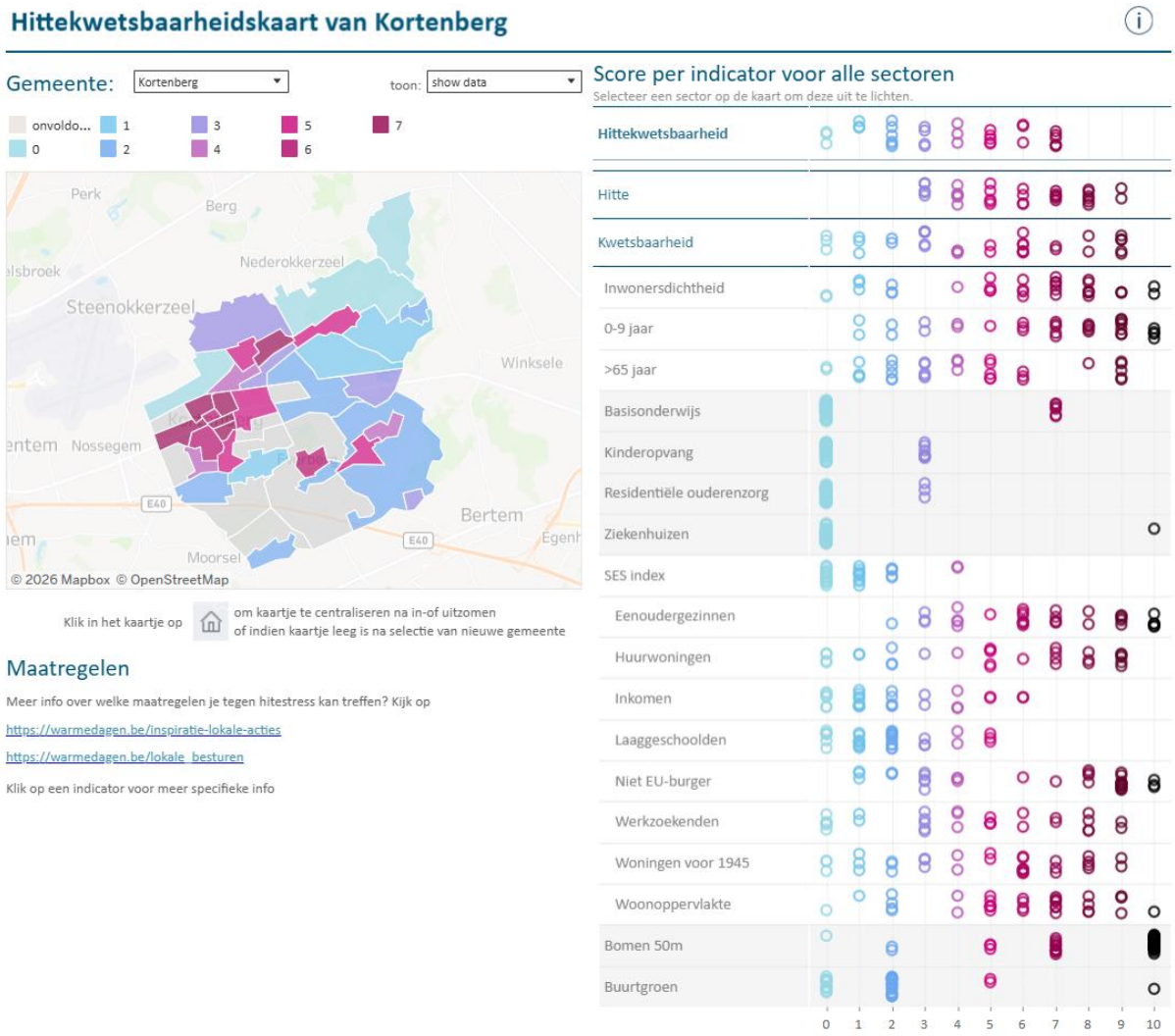
Figuur 6: Print screen van het dashboard "Hittegerelateerde sterfte"

- **Hittekwetsbaarheid Vlaanderen:** kaart met de hittekwetsbaarheid per statistische sector, met mogelijkheid om in te zoomen naar je interessegebied (gemeente, arrondissement, provincie, eerstelijnszone of logo-gebied). De achterliggende cijfers in excel zijn via een downloadlink beschikbaar.



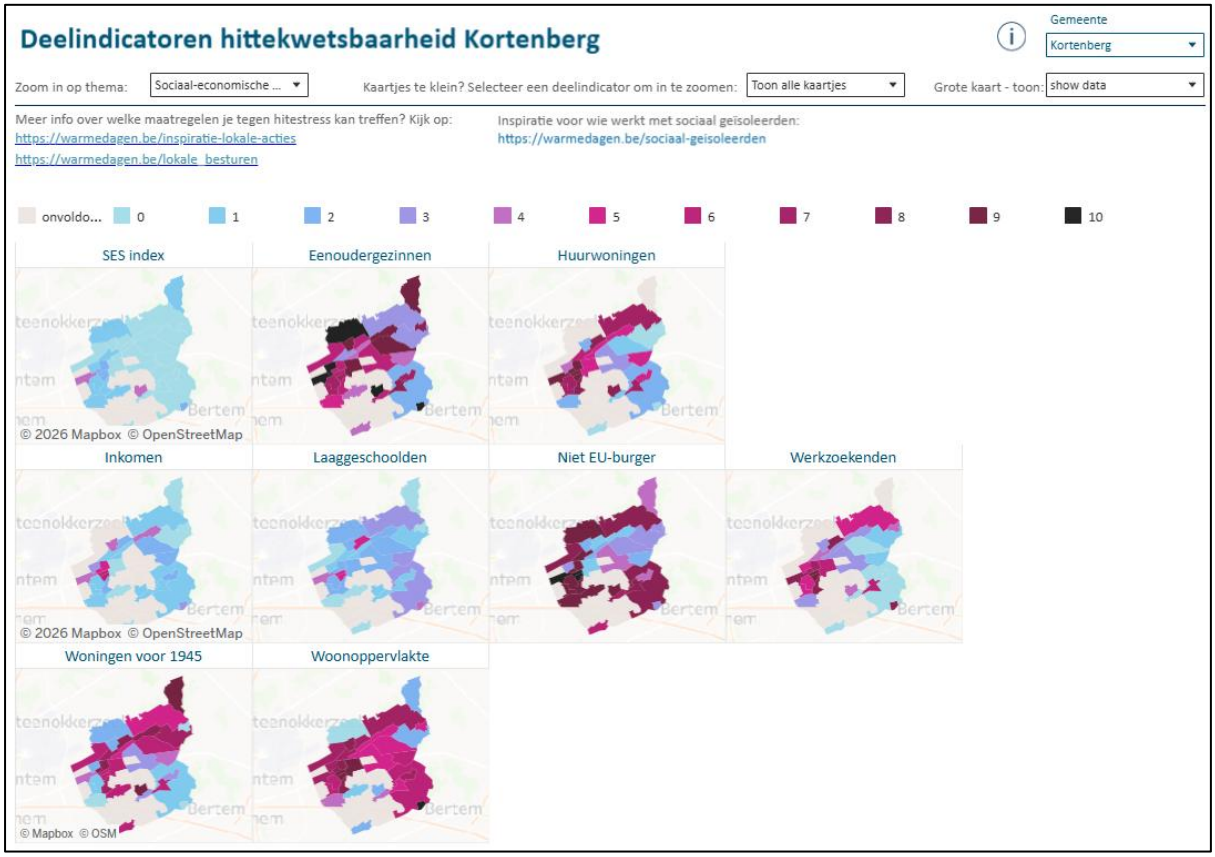
Figuur 7: Print screen van het dashboard "Hittekwetsbaarheid Vlaanderen" versie oktober 2026

- **Hittekwetsbaarheidskaart lokaal / per gemeente:** kaart met de hittekwetsbaarheid per statistische sector voor de gekozen gemeente, met daarnaast voor elke indicator een rangschikking van de statistische sectoren in de scoreschaal van 0 tot 10. Statistische sectoren met minder dan 50 inwoners of zonder SES index werden niet meegenomen in de analyse en zijn bijgevolg blanco. In deze blanco sectoren wordt wel onderscheid gemaakt tussen sectoren waar kwetsbare instellingen aanwezig zijn en waar niet. Bij het selecteren van een statistische sector op kaart worden de overeenstemmende scores voor de verschillende indicatoren geaccentueerd. Ook omgekeerd kan bij de indicatoren een score aangeklikt worden en zal de corresponderende statistische sector oplichten. De achterliggende cijfers in excel zijn via een downloadlink beschikbaar.



Figuur 8: Print screen van het dashboard "Hittekwetswaarheidskaart per gemeente" versie oktober 2026

- **Deelindicatoren hittekwetsbaarheid per gemeente:** kaarten met de ruimtelijke verdeling van de verschillende deelindicatoren van hittekwetsbaarheid over de gemeente. Hier kan gefilterd worden op thema en de bijhorende maatregelen worden telkens bovenaan getoond. Daarnaast kan een deelindicator ook uitvergroot bekeken worden via de rechterknop bovenaan. De achterliggende cijfers in excel zijn via een downloadlink beschikbaar.



Figuur 9: Print screen van het dashboard "Deelindicatoren hittekwetsbaarheid per gemeente" – selectie sociaal-economische status versie oktober 2026

5 CONCLUSIES

We identificeren subgroepen van de bevolking, volgens leeftijd en geslacht, die kwetsbaarder zijn voor hittegerelateerde sterfte op basis van het effect van hitte op sterfte tijdens de zomermaanden van 2000-2019 in Vlaanderen. Oudere leeftijdsgroepen in Vlaanderen hebben meer risico op sterfte omwille van hoge temperaturen. De relatieve toename van sterfgevallen bij hoge temperaturen bij 85+ jaar en 65-84 jaar oud is veel groter voor sterfte aan de luchtwegen dan voor hart- en vaatziekten. Het effect van hitte op sterfte is vertraagd in de tijd. Het effect van hitte duurt het langst bij 85+-jarigen, gevolgd door 65-84-jarigen, en het kortst bij de jongste leeftijdsgroep.

De relatieve risico's per leeftijdsgroep en bij een bepaalde temperatuur worden gebruikt om de verwachte hittegerelateerde sterfte per gemeente te berekenen. We focussen hierbij op de relaties op basis van de nachttemperatuur omdat deze het meest bepalend is voor het gezondheidseffect. Hoge temperaturen overdag zijn op zich niet zo schadelijk, zo lang het 's nachts fris genoeg is om ervan te kunnen recupereren. De klimaatverandering heeft ook de grootste impact op de nachttemperatuur. Het hitteseizoen zal steeds langer duren waardoor de nachttemperatuur zal stijgen. Op basis van de dosis-effectrelaties voor de nachttemperatuur wordt de hittegerelateerde sterfte geschat op 461 overlijdens per jaar in de periode 2000-2019 en verwachten we dat dit zal toenemen tot 2904 overlijdens per jaar in de toekomst (2050 bij een hoog klimaatscenario), rekening houdend met de bevolkingsprognoses en verdichting.

De relatieve stijging in hitte-gerelateerde mortaliteit is vooral te wijten aan de klimaatsverandering. Daarbovenop zal er ook een absolute stijging zijn omwille van het aantal inwoners in de 85+ categorie. In het klimaatscenario waarbij we enkel het effect van klimaatverandering in rekening brengen, zien we dat het aantal verwachte overlijdens door hittestress per zomer ongeveer 3 maal hoger wordt in 2050 dan in de periode 2000-2019. In het toekomstscenario waarbij de bevolkingsprognoses voor 2050 wel in rekening gebracht worden, krijgen we nog eens een extra verdubbeling van de verwachte sterfte ten opzichte van het klimaatscenario. Het grootste aantal verwachte overlijdens zit uiteraard bij de hoogste leeftijdsgroepen, aangezien dit ook de bevolkingsgroepen zijn waarvoor de hoogste relatieve risico's gelden. In het tweede toekomstscenario waarbij ook de bevolkingsprognoses en verdichting in rekening gebracht wordt, wordt zelfs 71% van de verwachte overlijdens toegeschreven aan de 85+ groep.

Het gebruikte ruimtelijke scenario voor 2050 is gebaseerd op het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen. De bevolkingsgroei wordt daarbij geconcentreerd in de steden en nabij openbaar vervoersknooppunten om 'urban sprawl' en de bijhorende kosten van verspreide bebouwing te vermijden. Naast de vergrijzing zit er in het toekomstscenario dus ook het effect van toenemende verdichting en concentratie van bevolking. Voor beleidsmakers en ruimtelijke planners is het daarom belangrijk dat ze bewust zijn van de effecten van hun beleidsplannen op hittestress en hiermee rekening houden om tot hittebestendige steden te komen.

We schatten het aantal verloren levensjaren door hittestress op ca. 4.800 per zomer voor de huidige situatie. Als we de klimaatverandering en bevolkingsprognoses beiden in rekening brengen zou dat in de toekomst (hoog klimaatscenario 2050 incl. vergrijzing) kunnen oplopen tot ca. 27.000 verloren levensjaren per zomer in Vlaanderen. Het totaal aantal verloren levensjaren komt overeen met een kost van 765 miljoen euro voor een gemiddelde zomer in de huidige situatie en meer dan 5,5 miljard euro/zomer in de toekomst (hoog klimaatscenario 2050 incl. vergrijzing).

De geactualiseerde **hittekwetsbaarheidskaart** brengt in beeld waar in Vlaanderen doelgroepen met een verhoogde sensitiviteit aan hittestress wonen op locaties met een

verhoogde blootstelling. De verhoogde sensitiviteit aan hittestress wordt gevat in een selectie van indicatoren waaronder leefomstandigheden die gezondheidsongelijkheid verklaren (socio-economische parameters), indicatoren die verband houden met de gevoeligheid aan hittestress (leeftijd, kwetsbare instellingen) en indicatoren die betrekking hebben tot blootstelling aan hittestress (groen in de buurt). Bij de combinatie van deze indicatoren tot een totale kwetsbaarheidskaart werden keuzes gemaakt over het gewicht van de afzonderlijke indicatoren op basis van een statistische analyse, maar ook op basis van hun belang voor het beleid. De combinatie van de kwetsbaarheid met de hittestress is de hittekwetsbaarheid. De gemodelleerde hittebelasting in termen van 'hittegolfgraaddagen' wordt gebruikt als maat voor de hittestress. Het resultaat is een kaart met per statistische sector een score tussen 0 en 10 als maat voor de hittekwetsbaarheid van de statistische sector. Hoe hoger, hoe kwetsbaarder voor hittestress.

De resultaten van beide onderdelen zijn te raadplegen in interactieve online dashboards. In Vlaanderen zullen meer en langere hittegolven het risico op een hitteslag, cardiovasculaire of respiratoire aandoeningen of vroegtijdige sterfte verhogen. Het is de bedoeling dat de dashboards met de resultaten meer inzicht geven in welke groepen en locaties het meest kwetsbaar zijn voor hitte om de opmaak van de beleidsplannen te ondersteunen. De informatie kan de medisch milieukundigen (MMK's) helpen bij de ondersteuning van lokale actoren om gerichtere preventieve acties op te zetten. Daarnaast kunnen de resultaten ook sensibiliserend ingezet worden om burgers, lokale actoren en de verschillende beleidsdomeinen te motiveren om te investeren in klimaatadaptatie en -mitigatie.

LITERATUURLIJST

Adélaïde, L., Chanel, O., & Pascal, M. (2022). Health effects from heat waves in France: an economic evaluation. The European journal of health economics: HEPAC : health economics in prevention and care, 23(1), 119–131. https://doi.org/10.1007/s10198-021-01357-2

Baccini M, Kosatsky T, Biggeri A (2013) Impact of Summer Heat on Urban Population Mortality in Europe during the 1990s: An Evaluation of Years of Life Lost Adjusted for Harvesting. PLoS ONE 8(7): e69638. doi:10.1371/journal.pone.0069638

Brey, R., Pinto-Prades, J.L. (2017). Age effects in mortality risk valuation. Eur J Health Econ 18, 921–932 https://doi.org/10.1007/s10198-016-0852-8

Buekers, J., Van de Vel, K. & Cops, J. (2021). Actualisatie indicator verloren gezonde levensjaren (DALY's) door milieuverstoringen in Vlaanderen. Studie in opdracht van Milieurapport Vlaanderen, Vlaamse Milieumaatschappij.

CAFE: Methodology for the Cost-Benefit Analysis for CAFE -Volume 3: Uncertainty in the CAFE. (2005) (CAFÉ= Clean air for Europe)

CE Delft, 2023. Handboek Milieuprijzen, Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts Delft: CE Delft.

Chanel Olivier, Susann Henschel, Patrick G. Goodman, Antonis Analitis, Richard W. Atkinson, Alain Le Tertre, Ariana Zeka, Sylvia Medina, on behalf of the Aphekom group (2014), Economic valuation of the mortality benefits of a regulation on SO2 in 20 European cities, European Journal of Public Health, Volume 24, Issue 4, August 2014, Pages 631–637, https://doi.org/10.1093/eurpub/cku018

Chiabai, A., Spadaro, J. V., & Neumann, M. B. (2018). Valuing deaths or years of life lost? Economic benefits of avoided mortality from early heat warning systems. Mitigation and adaptation strategies for global change, 23(7), 1159–1176. https://doi.org/10.1007/s11027-017-9778-4

Cropper Maureen, Emily Joiner, and Alan Krupnick (2023). Revisiting the Environmental Protection Agency's Value of Statistical Life. Resources For the Future RFF, Working Paper 23-30, July 2023

Desaigues, B., Rabl, A., Ami, D. & My, K., 2007. Monetary Value of a Life Expectancy Gain due to Reduced Air Pollution : Lessons from a Contingent Valuation in France. MonetaRevue d'économie politique, Dalloz, vol. 1

Desaigues B, Ami D, Bartczak A et al (2011) Economic valuation of air pollution mortality: a 9-country contingent valuation survey of value of a life year (VOLY). Ecol Indic 11:902–910. doi:10.1016/j.ecolind.2010
.12.006

Eurostatt, 2023, Healthy life years statistics, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser

Hammitt, J.K. (2007). Valuing changes in mortality risk: Lives saved versus life years saved. Review of Environmental Economics and Policy, 1(2), 228 – 240

Hammitt, J. K., & Tunçel, T. (2023). Monetary values of increasing life expectancy: Sensitivity to shifts of the survival curve. Journal of risk and uncertainty, 1–31. Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s11166-023-09406-2

Hunt, A., & Ferguson, J. (2010). A review of recent policy-relevant findings from the environmental health literature. (pp. 1-62). (Working Paper ENV/EPOC/WPNEP(2009)9/FINAL, OECD.).

Kouakou, C. R. C., & Poder, T. G. (2022). Willingness to pay for a quality-adjusted life year: a systematic review with meta-regression. The European journal of health economics : HEPAC : health economics in prevention and care, 23(2), 277–299. https://doi.org/10.1007/s10198-021-01364-3

Lindhjem, Henrik, Ståle Navrud, Nils Axel Braathen, & Vincent Biausque (2011), “Valuing Mortality Risk Reductions from Environmental, Transport, and Health Policies: A Global Meta-Analysis of Stated Preference Studies”, Risk Analysis, Vol. 31, No. 9, 201

Liu Yang, Saha Shubhayu, Hoppe Brendalynn O., Convertino Matteo. (2019). Degrees and dollars – Health costs associated with suboptimal ambient temperature exposure. Science of The Total Environment, Volume 678, 2019, Pages 702-711, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.398.

OECD, 2012, Valuing Mortality Risk Reductions in Regulatory Analysis of Environmental, Health and Transport Policies: Policy Implications, Report by Navrud, Ståle and Henrik Lindhjem (2011), OECD, Paris

Rabl A, Spadaro JV, Holland M (2014) How much is clean air worth? Calculating the benefits of pollution control. Cambridge University Press, Cambridge

Robinson, L., Hammitt, J., & O’Keeffe, L. (2019). Valuing Mortality Risk Reductions in Global Benefit-Cost Analysis. Journal of Benefit-Cost Analysis, 10(S1), 15-50. doi:10.1017/bca.2018.26

Ryen, L., & Svensson, M. (2015). The Willingness to Pay for a Quality Adjusted Life Year: A Review of the Empirical Literature. Health economics, 24(10), 1289–1301. https://doi.org/10.1002/hec.3085

Schoeters, A., Large, M. & Koning, M., 2021. Monetary valuation of the prevention of road fatalities and serious road injuries – Results of the VALOR project., Vias institute, Brussel

Statistiek Vlaanderen, 2023, Gezonde levensverwachting: definities en data (https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/gezondheid-en-welzijn/gezonde-levensverwachting/metadata-gezonde-levensverwachting)

Urban, Aleš & Kyselý, Jan & Plavcová, Eva & Hanzlíková, Hana & Stepanek, Petr. (2020). Temporal changes in years of life lost associated with heat waves in the Czech Republic. Science of The Total Environment. 716. 137093. 10.1016/j.scitotenv.2020.137093.

US EPA, US Environmental Protection Agency (2010), Valuing Mortality Risk Reductions for Environmental Policy: A White Paper (Review Draft). Prepared by the National Center for Environmental Economics for consultation with the Science Advisory Board, Environmental Economics Advisory Committee. Washington, DC.

Vanderstraeten L. & Van Hecke E. (2023). Buurten met een concentratie van kwetsbare huishoudens en kwetsbare woonsituaties anno 2021. Steunpunt Wonen

Vermeiren, K., Poelmans, L., Engelen, G., Broekx, S., Beckx, C., De Nocker, L., & Van Dyck, K. (2019). Monetariseren van de impact van urban sprawl in Vlaanderen. https://omgeving.vlaanderen.be/nl/monetarisering-urban-sprawl-in-vlaanderen

VMM, 2015. Klimaatrapport 2015. MIRA (Milieurapport Vlaanderen) in samenwerking met experten van de KU Leuven, VITO en het KMI. https://www.vmm.be/publicaties/klimaatrapport-2015-over-waargenomen-en-toekomstige-klimaatveranderingen

BEGRIPPENLIJST

DALY
'Disability-Adjusted Life Years', of levensjaren gecorrigeerd voor beperkingen door ziekte. De index is een maat voor de totale ziektelast. De DALY beschouwt niet alleen het aantal mensen dat vroegtijdig sterft door hittestress (Eng: YLL, *Years of Life Lost*)., maar meet ook het aantal jaren dat mensen leven met gezondheidsproblemen (Eng: YLD, *Years Lived with Disabilities*).

Hittegolfgraaddagen
Om het aantal 'hittegolfgraaddagen' te bepalen wordt vertrokken van de definitie voor een hittegolf van de Federale Overheidsdienst Volksgezondheid: "een periode van minstens drie opeenvolgende dagen met een gemiddelde minimumtemperatuur (gemiddelde over de drie dagen en niet per dag) hoger dan 18,2 °C en een gemiddelde maximumtemperatuur hoger dan 29,6 °C". Het aantal 'hittegolfgraaddagen' op een bepaalde locatie wordt dan voor een gegeven jaar berekend door eerst te bepalen op welke dagen in de periode van 1 april tot 30 september in dat jaar zich een hittegolf voordoet (uitgaande van de definitie van de FOD Volksgezondheid). Vervolgens wordt voor die dagen de som genomen van de overschrijdingen van de dagelijkse maximumtemperatuur boven de drempel van 29,6 °C, samengeteld met de som van de overschrijdingen van de dagelijkse minimumtemperatuur boven de drempel van 18,2 °C. De indicatorwaarde die op deze manier wordt bekomen, geeft niet enkel een beeld van de totale duur van hittegolven in dat jaar, maar ook van hun gewicht.

Hittestress
Hittestress is de last door hoge temperaturen, die zich uit in diverse lichamelijke klachten, waarbij mensen de warmte niet kwijt kunnen. Het gaat over verschillende gezondheidsklachten en slecht functioneren in de brede zin, dus niet enkel over hittegerelateerde sterfte.

Hoog klimaatscenario
Voor Vlaanderen werden in 2015 drie klimaatscenario's afgeleid (laag, midden, hoog). De bedoeling is om de onzekerheid in klimaatprojecties voor de toekomst te omvatten, eerder dan emissies te begroten. Onder het hoog klimaatscenario kan de jaargemiddelde temperatuur te Ukkel oplopen met 7,2°C over 100 jaar (+2,2°C over 30 jaar, en +3,5°C over 50 jaar vanaf 2015). Meer info in het MIRA Klimaatrapport 2015 (VMM, 2015).

NIS-code
De NIS-code is een numerieke code, uitgewerkt door Statbel, het Belgische statistiekbureau, die aan elke bestuurlijke eenheid wordt toegekend om de geografische referentie van de geproduceerde statistieken te vergemakkelijken.

PO-MGZ
Partner-organisatie Milieugezondheidszorg, waarbij VITO, Vlaams Instituut Gezond Leven en PIH in een samenwerkingsverband het Departement Zorg ondersteunen in het uitwerken en implementeren van het preventieve milieugezondheidsbeleid.

SES-index
Synthese-index socio-economische status (kwetsbaarheid) van een buurt. De synthese-index kwam tot stand door voor de 8 socio-economische deelindicatoren te onderzoeken of een bepaalde drempelwaarde overschreden werd (Vanderstraeten L. & Van Hecke E., 2023).

BIJLAGE A: THE IMPACT OF HEAT ON RESPIRATORY, CARDIOVASCULAR AND ALL-CAUSE MORTALITY IN FLANDERS DURING THE SUMMERS OF 2000-2019

Christel Faes and Elisa Duarte, Hasselt University

- Heat is known to exacerbate pre-existing conditions, such as cardiovascular and respiratory diseases.
- Identifying which subgroups of the population are more vulnerable to heat-related mortality is important for effective public health interventions.
- The effect of temperature on mortality is time delayed. The study of relationship exposure-response involving heat stressor seeks for models that incorporate the time structure of the effect to capture the sequence of outcomes that occur over a period following the exposure event.
- Individuals in the older age groups are more impacted by high temperatures.
- The relative increase in deaths at high temperature for 85+ years old and 65-84 years old is much greater for respiratory mortality than cardiovascular mortality.
- The effect of heat is longest in 85+-year-olds, followed by 65-84-year-olds, and shortest in the youngest age group.
- In the first two days after exposure to extreme heat, people under 64 years old have higher risk of death by respiratory disease.

Introduction

Heat is known to exacerbate pre-existing conditions, such as cardiovascular and respiratory diseases. In developing targeted preventive interventions to reduce the mortality burden of extreme temperatures, it is important to understand not only all-cause mortality but also how heat affects vulnerable disease groups. To promote this awareness among researchers and policy makers, systematic reviews and meta-analyses such as Basu (2009), Moghadamnia et al. (2017), and most recently Cheng et al. (2019), have provided epidemiological evidence of these associations.

It is well known that effects of exposure to certain environmental stressors, such as extreme temperature, are time delayed. In this sense, studies of the relationship exposure-response, involving these types of stressors have sought to incorporate the time structure of the effect to capture the sequence of outcomes that occur over a period following the exposure event. Therefore, several approaches based on the time-series theory have been developed with this goal. A widely accepted methodology is the distributed lag models - DLM (Schwarz, 2000).

This methodology allows to model the health effect of an exposure event over the time and provide an overall effect when delayed contributions are observed. However, DLMs only allow for modeling linear associations of health effects. The recent distributed lag non-linear model - DLNM (Gasparrini et al. 2010) appeared as an extension of the DLM to describe more realistic relationships using flexible functions.
The results presented in this report derived from the application of the DLNM to investigate the effect of temperature on overall and cause specific mortality in Flanders during the period 2000-2019, focusing on the summer period from May 15 to September 30.

Impact of temperature

At high mean and minimal temperatures, mortality from any cause increases, with slightly higher relative risks for women than men. The impact of heat on deaths by respiratory diseases is stronger as compared to on deaths by cardiovascular diseases.

Since the effects of exposure to heat stress are time delayed, the impact of the temperature is investigated based on the cumulative effect of temperature over a time window of 14 days. The mean temperature, i.e., average temperature over day and night, is used to measure the heat stress. Note that a high mean temperature typically corresponds to both a high day and night temperature. In addition, the impact of minimal temperature, i.e. the night temperature, on mortality is investigated. To minimize potential confounding effects of age and gender, the analysis was conducted considering three different age groups (0-64 years old; 65 to 84 years old and 85 years old and above), and the groups of females and males. Figures A-1 and A-2 show the cumulative effect of mean and minimal temperature as compared to a mean temperature of 18 degrees or a minimal temperature of 14 degrees. The curve in blue represents the effect on all-cause mortality, the curve in red represents the effect on mortality due to cardiovascular diseases and the curve in green represents the effect on respiratory diseases.

Regardless of the cause of death, at high mean temperatures, there is a strong increase in the mortality in 65+-year-olds, with somewhat higher relative risks in females as compared to in males. The effect across the 85+-year-olds is strongest, followed by an effect in 65-84-year-olds. The effect of an extremely warm day with a mean temperature of 28 degrees as compared to a day with mean temperature of 18 degrees, results in about a 72% increase in deaths in 85+-year-olds and a 42% increase in deaths in 65-84-year-olds. The effect of heat on mortality related to respiratory disease is even stronger, with mortality due to respiratory diseases in 65+ year-olds doubled due to extremely warm days.

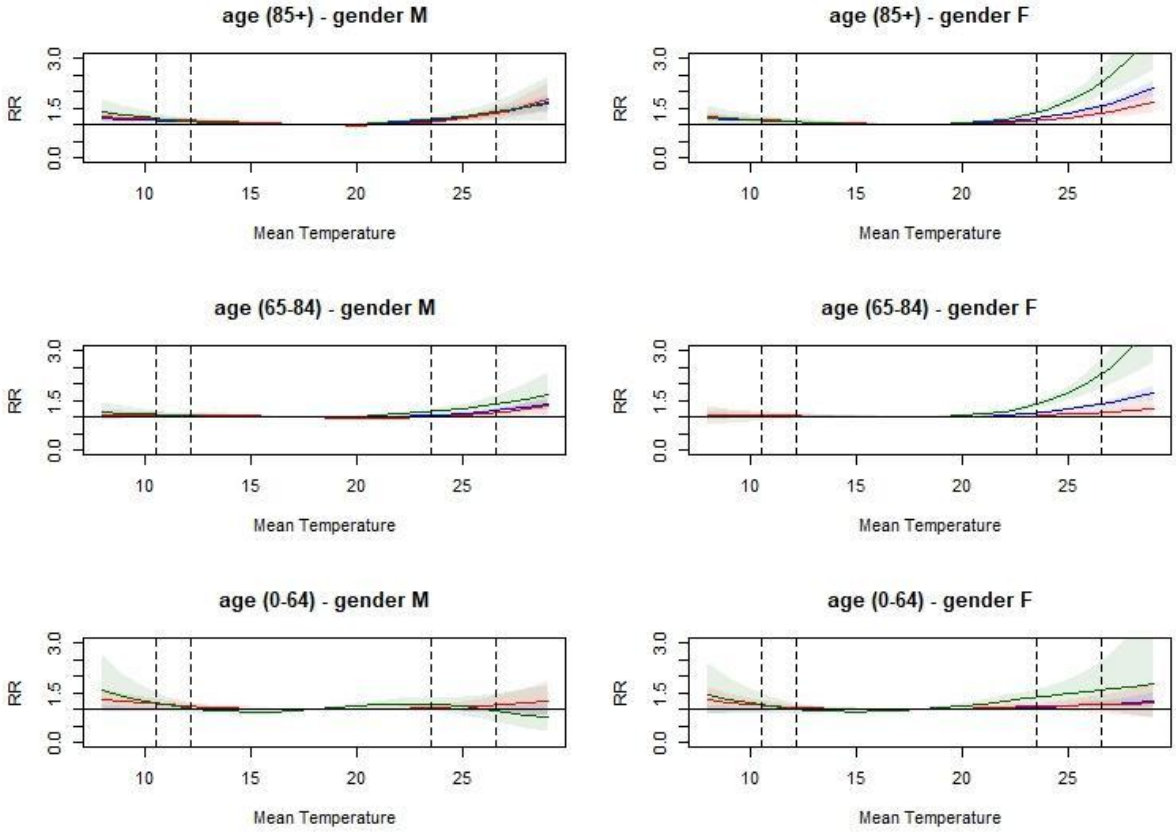


Figure A-1:. Cumulative effect of mean temperature. Red: All-causes mortality; Blue: Mortality related to cardiovascular diseases; Green: Mortality related to respiratory diseases. The dashed vertical lines represent the 1%, 5%, 95% and 99% mean temperatures percentiles.

The same pattern is seen for minimal temperature, with the risk of death markedly increased when the minimal temperature exceeds 20 degrees. The increase is more pronounced for mortality related to respiratory diseases. The effect of an extremely warm night with a minimal temperature of 22 degrees as compared to a night of 13 degrees, results in about a 56% increase in deaths in 85+-year-olds and a 36% increase in deaths in 65-84-year-olds. The effect is strongest in mortality due to respiratory diseases, with almost a doubling of the deaths in 65+ year-olds after a night with temperature of 22 degrees.

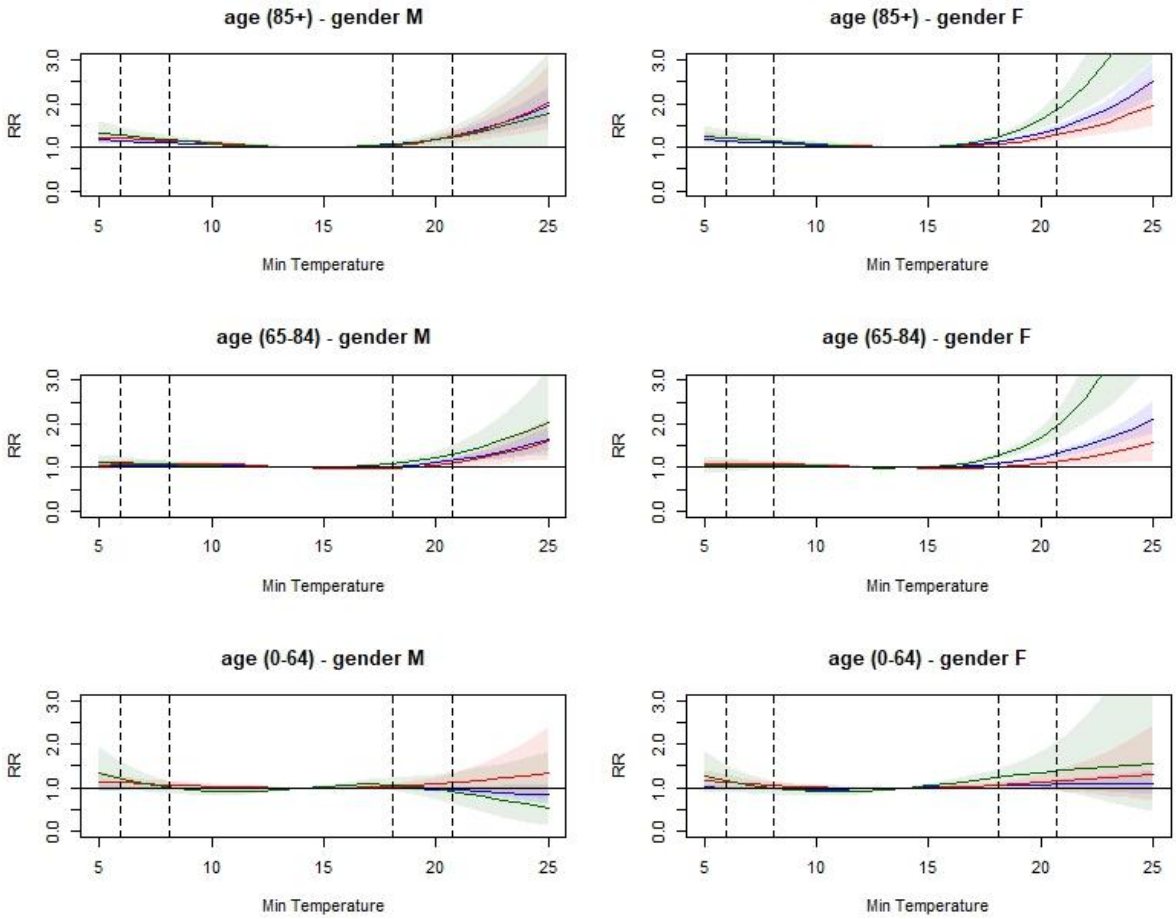


Figure A-2:. Cumulative effect of minimal temperature. Red: All-causes mortality; Blue: Mortality related to cardiovascular diseases; Green: Mortality related to respiratory diseases. The dashed vertical lines represent the 1%, 5%, 95% and 99% mean temperature's percentiles.

Delayed effect

The effect of heat is longest in 85+-year-olds, followed by 65-84-year-olds, and has the shortest impact in the youngest age group. While risk of mortality by cardiovascular disease decreases steeply after a heat day, the risk of mortality by respiratory disease remains high for some days after the heat day.

As mentioned above, mortality can be observed a few days after having been exposed to high temperatures. To illustrate the delayed effects of mean and minimal temperature on mortality, we show the risk of an extremely warm day (mean temperature of 28°C and minimal temperature of 22°C), relative to a reference mean temperature of 18°C and minimal temperature of 14°C, at different lag-times (Figures A-3 and A-4).

For mortality from all causes and cardiovascular diseases, the oldest age group shows a consistently larger increase in deaths associated with high mean or high minimal temperatures, both on the day of extreme heat as well as in the week following the

extreme heat. The effect of heat is longest for those aged 85 and over, followed by those aged 65 to 84. For all-cause mortality, a delayed effect up to 6 days is observed for high mean temperature, while for mortality due to cardiovascular disease, a delayed effect up to 4 days is seen of a high mean temperature. An effect of extreme heat on all-cause mortality in the 0-64 age group is also observed, but with only an immediate effect of heat on the day of heat and the following day. A similar pattern is observed for the effect of the extremely warm nights, though with a slightly shorter delayed effect (4 days for all-cause mortality and 3 days for cardiovascular-related mortality).

A somewhat different behavior is observed for the risk of mortality by respiratory disease. This risk is higher in the female group and prolongs over 10 days after the exposure to the extreme mean temperature and over 8 days after the exposure to high minimal temperatures. While the risk of mortality of cardiovascular disease decreases a lot after a heat day, the risk of mortality of respiratory disease stays high up to four days after the heat day, and only drops afterwards. Also, in the youngest age group (0-64 years old), an increased risk of extreme heat on mortality of respiratory diseases is observed on the day of heat, as well as on the two following days.

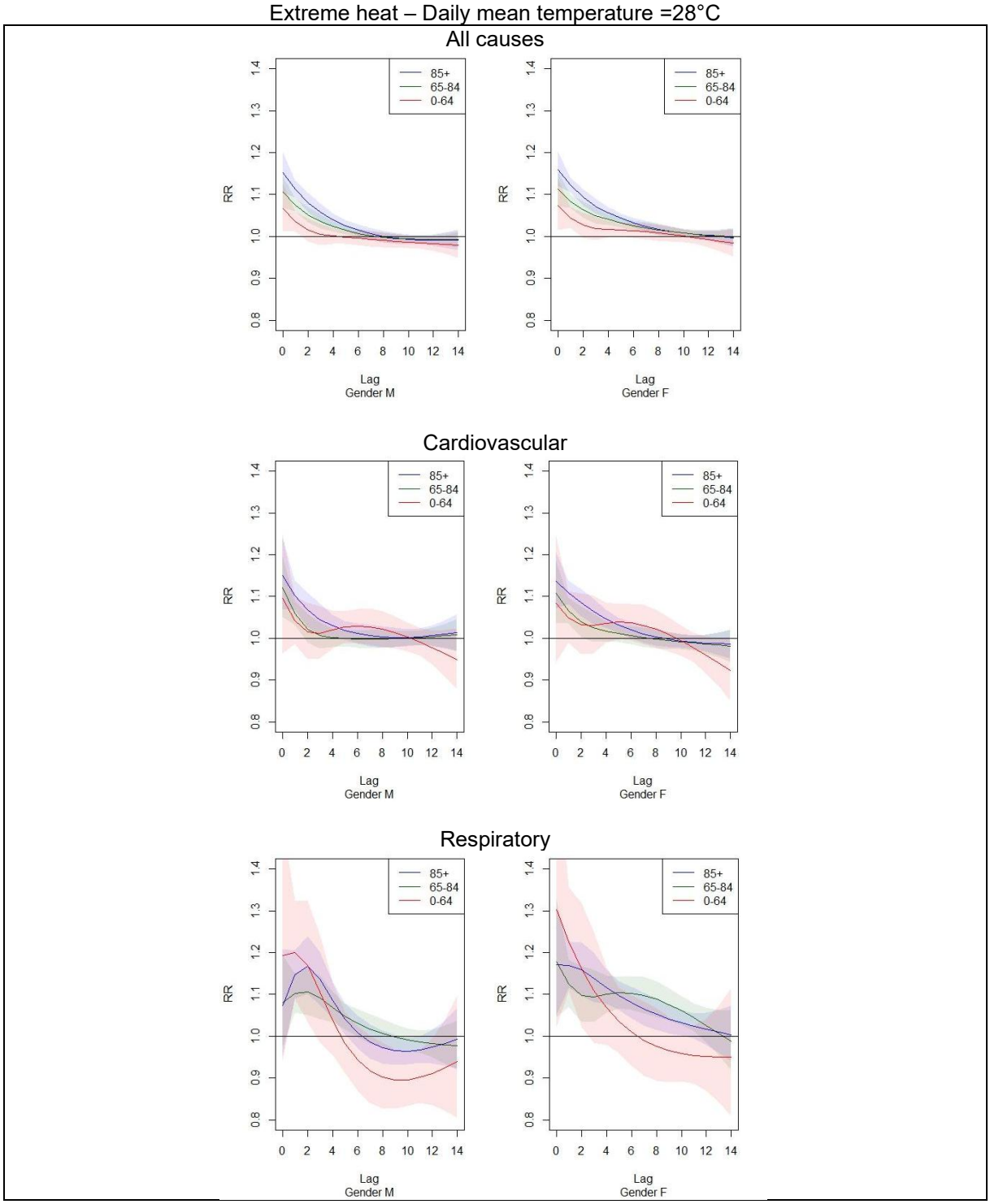


Figure A-3: Lagged effects of the exposure to mean temperatures of 28°C

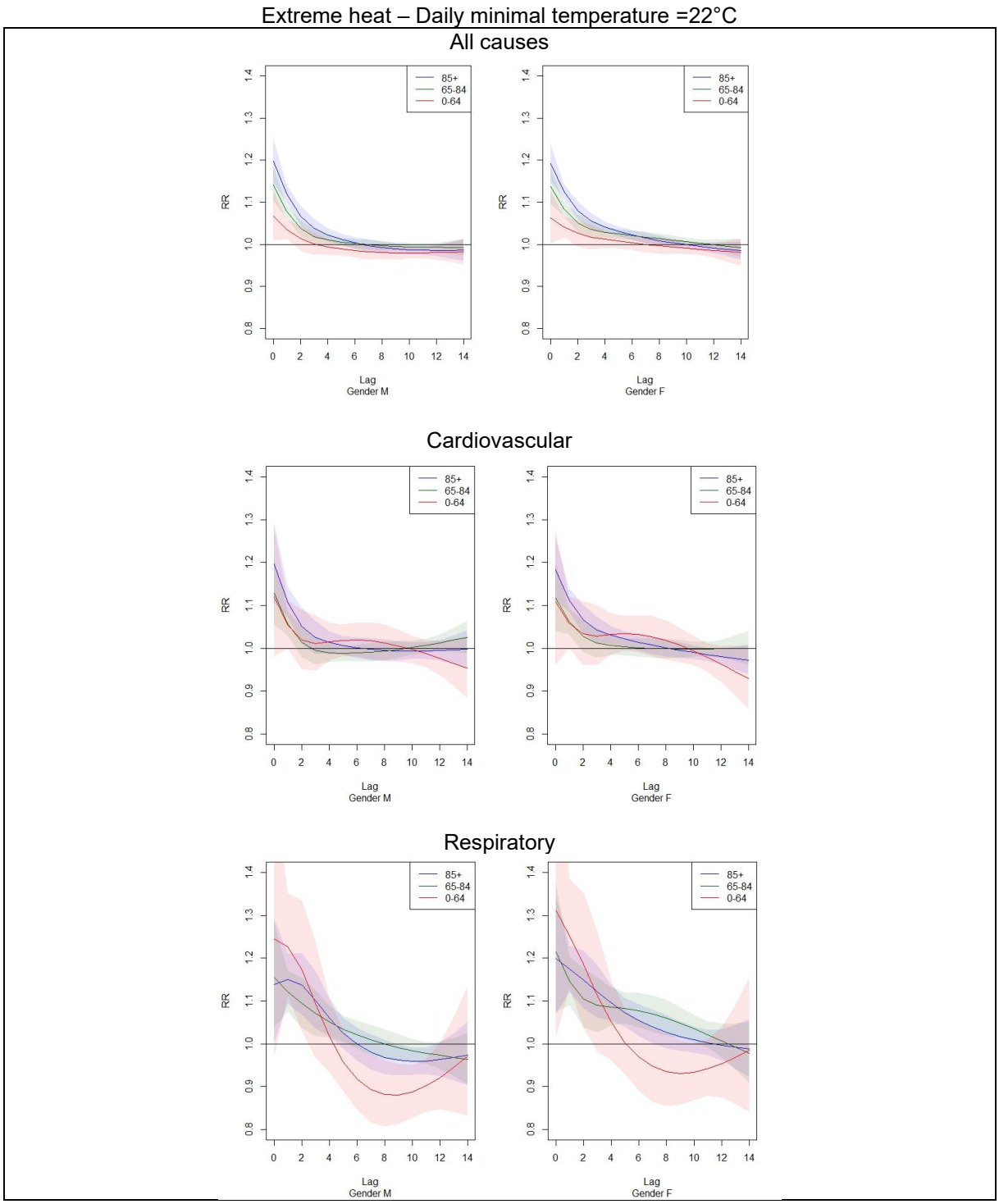


Figure A-4: Lagged effects of the exposure to minimal temperatures of 22°C

BIJLAGE B: REGRESSION ANALYSIS FOR DEFINITION OF HEAT-VULNERABILITY INDEX

Christel Faes and Elisa Duarte, Hasselt University

Investigation of correlation

There is strong correlation between the different parameters. An equal-weight index using all parameters will double-count some of the input parameters. It is proposed to use type-specific parameters in the definition of the heat-vulnerability index.

The parameter used in the heat-vulnerability index are grouped in different types of indicators: population, collectives, social indicators and nature. Several of the parameters are highly correlated, especially within each of the type of indicators. Such correlated variables carry the same information, and therefore, the use of equal weight in the definition is not to be recommended.

As an alternative approach, we investigated the association within each type of variables and whether we can summarize the type of variables in another way. In the next section, we also investigated the association between the (new) variables and mortality and the number of heat days.

Type 1 variables: population density and age distribution
The original variables are population density, population density in 0-4 years old, population density in 5-9 years old, population density in 65-85 years old and population density in 85+ years old. As can be seen in Figure B-1, there is a strong correlation between all these variables. As an alternative, the proposed variables are population density, the proportion of 0-9 years old and the proportion of 65+ years old. These variables indeed have limited correlation. These variables reflect the density of the population on the one hand, and the proportion of this population that is most vulnerable (young and old individuals).

Type 2 variables: collectives
The original variables are the collectives' hospitals, RVT, primary school and childcare. The correlation between childcare and RVT is 0.76. The proposed approach is to combine the hospitals and RVT into one variable, and combine the childcare and schools in another variable. The resulting correlation between the two variables is lower (0.43), though still strongly correlated. As these two variables are however typically related to different population groups, we proposed to keep these two new variables in the definition of the heat-vulnerability index.

Figure B-1: Correlation matrix of type 1 variables: (left) the original variables, (right) proposed variables.

Type 3 variables: social vulnerability
There are a large set of social vulnerability indicators, and they are highly correlated (see Figure B-2). The social vulnerability score is a summary of all other variables. Several other alternative definitions have been investigated, using principal components analysis of the whole set of variables, as well as of groups of variables. None of these principal component

variables gave new definitions with a clear interpretation. Therefore, the proposal is to include the social vulnerability score in the heat-vulnerability index.

Type 4 variables: nature

There are different variables representing the distance to green space (no access to green, high green in 50m, high green in 300m, total green in 300m and total green in 2000m). The association among these variables is presented in Figure B-3. Due to the high association, we could alternatively keep only one of the variables about green space, or summarize the variables using a principal components analysis. The first PCA is an "average" of all the original variables.

Figure B-2: Correlation matrix of type 3 variables: social vulnerability indicators

Figure B-3: Correlation matrix of type 4 variables: green space

Regression analysis

There is an association between the proposed set of parameters on both mortality and on the number of heat days in a municipality. This shows that it is useful to consider these parameters in the definition of the heat-vulnerability index. But it should be noted that heat-vulnerability is not only described by mortality and number of heat-days, and in order to generalize the index, the weights of the each of the parameters should therefore be set by an expert group.

Regression analyses were done to investigate the impact of the parameters on

- mortality in a municipality
- the number of heat days in a municipality

We did investigate the regression analysis based on the original variables, but due to the strong association amongst variables, the regression model is very difficult to interpret. We next investigate the regression analysis based on the newly proposed variables, per type of variables, in order to investigate the importance of these variables. Finally, a regression analysis including all newly proposed variables was made. We present results of the latter model.

Regression model for mortality

The final regression model is presented in Figure B-4.

Figure B-4: Parameter estimation (Estimate) of the regression model for mortality. The significance of the variables is indicated with the stars.

While population proportion under 9 years is not significantly linked with mortality, the population proportion above65 years old is significantly associated with mortality. These effects are expected, as, for mortality, regions with a higher proportion of elderly, are expected to have higher mortality counts.

For collectives, there is a strong positive association with collectives 1 (i.e. hospitals and RVT), and a negative correlation with collectives 2 (i.e. childcare and schools). These association are to be expected, as the most vulnerable individuals for mortality are indeed the once in hospital/RVT. This does not mean that childcare and schools are not important to be taken into account in the heat-vulnerability index. For these groups, the impact on morbidity instead of mortality might be more important.

Use of the vulnerability score, instead of working with several of the social vulnerability parameters is easier for interpretation. Higher mortality is expected for regions with a higher social vulnerability score.

Regression model for number of heat days

The final regression model is presented in Figure B-5.

Figure B-5: Parameter estimation (Estimate) of the regression model for the number of heat days. The significance of the variables is indicated with the stars.

Population density has an important positive association on the number of heat days, which is to be expected due to the heat islands in more densely populated regions. There is also a significant association observed for the population proportion above 65-years. This negative association could be due to the fact that e.g. the coastal municipalities have a larger elderly population.

For collectives, no causal association is expected with number of heat days, although significant association are found. These effects are similar to the association between heat days and the original variables.

Finally, the green indicator has a negative association, which is counter-intuitive. Note however that in a model with only “green” as an explanatory variable, this indicator shows a positive association. This effect is probably due to the left-over correlation (although limited) between the newly proposed variables, making interpretation of this parameter doubtful.

vision on technology
for a better world

