



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering**

RIVM-rapport 2020-0200  
E.F. Hall et al.





Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering**

RIVM-rapport 2020-0200

## Colofon

© RIVM 2021

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2020-0200

E.F. Hall (auteur), RIVM  
R.J.M. Maas (auteur), RIVM  
J. Limaheluw (auteur), RIVM  
C.D. Betgen (auteur), RIVM

Contact:  
Lisbeth Hall  
Centrum Veiligheid  
lisbeth.hall@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, in het kader van het project: M/460112/01 'Veiligheids- en gezondheidseffecten van de energietransitie'.

Dit is een uitgave van:  
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**  
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
www.rivm.nl

## Publiekssamenvatting

### **Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering**

Klimaatverandering heeft nu al merkbare gevolgen voor de gezondheid en veiligheid in Nederland. Deze gevolgen zijn in de toekomst te beperken als er wereldwijd minder broeikasgassen worden uitgestoten. Daarom zijn internationale afspraken gemaakt, waar het Nederlandse Klimaatakkoord deel van uitmaakt. Desondanks zullen de temperatuur en de zeespiegel voorlopig blijven stijgen en een bedreiging vormen voor de gezondheid en veiligheid in Nederland. Denk aan hittegolven en overstromingen. Maar zonder maatregelen zullen deze effecten nog groter zijn. Dit concludeert het RIVM.

Het RIVM heeft de effecten van klimaatverandering op de gezondheid en veiligheid in kaart gebracht. Onderzocht is hoe deze effecten zich in Nederland zullen ontwikkelen in een situatie met en zonder internationaal klimaatbeleid. De zeespiegel zal door internationaal beleid minder en langzamer stijgen, en extreem weer, zoals heftige buien, zal minder vaak voorkomen. Dit verkleint de kans op overstromingen en daarmee ook de risico's voor de veiligheid.

Door klimaatverandering worden de zomers warmer en de winters minder koud. Dit heeft gevolgen voor de gezondheid in Nederland. Met klimaatbeleid zullen elk jaar ongeveer 4000 minder mensen overlijden in warme perioden in de tweede helft van de eeuw. Als het aantal warme en zonnige dagen toeneemt, kan ook de kans op huidkanker groter worden. Dit komt omdat er dan meer mensen buiten zijn en blootstaan aan UV-straling. Met klimaatbeleid zullen tussen 2050 en 2100 minder mensen huidkanker krijgen (enkele duizenden per jaar).

Het is nog niet mogelijk om de omvang van alle effecten van klimaatverandering aan te geven. Wel zijn er veel ontwikkelingen te zien, zoals een langere bloeitijd van planten en bomen waardoor mensen langer last hebben van hooikoorts. Dat wordt erger als nieuwe allergene planten vanuit het zuiden naar Nederland oprukken. Ook zal de kans op sommige infectieziekten groter worden en kunnen nieuwe ziekteverwekkers gaan voorkomen.

Dit onderzoek is onderdeel van een drieluik over de gevolgen voor gezondheid en veiligheid van klimaatbeleid. De drie onderzoeken samen laten zien dat klimaatbeleid niet alleen gunstig is voor het klimaat, maar ook voor gezondheid en veiligheid.

**Kernwoorden:** klimaatverandering, klimaatbeleid, gezondheid, hitte, ozon, UV-straling, allergieën, infectieziekten, extreem weer, mentale gezondheid.



## Synopsis

### **International climate policy: health gains in the Netherlands through limiting climate change**

Climate change already has noticeable consequences for the health and safety of the Dutch population. The effects in the future can be limited if the emissions of greenhouse gasses are reduced. Therefore, international agreements have been reached which the Dutch Climate Agreement is in accord with. Nevertheless, the temperature and sea level will continue to rise for the time being. This will pose a threat to health in the Netherlands, for example through heatwaves and floods. However, without measures to limit climate change, the effects would be greater. These are the main findings of the RIVM.

The RIVM has outlined the effects of climate change on health and has considered how these effects will change in a scenario with and without international climate policy. As a result of climate policy, sea levels will rise less and more slowly, and extreme weather, such as heavy rainfall, will occur less frequently. This will reduce the risks of flooding and the subsequent risks to safety.

Due to climate change, the summers are becoming warmer and the winters less cold. This has consequences for health in the Netherlands. As a result of climate policy, approximately 4000 fewer people will die each year during warm periods in the second half of this century. If the number of warm and sunny days increases, the risk of developing skin cancer can also increase. This is because people will spend more time outdoors and will be more exposed to UV radiation. Climate policy will lead to fewer people developing skin cancer between 2050 and 2100 (several thousand per year).

It is not yet possible to estimate the magnitude of all the effects of climate change. However, many trends are noticeable, such as a longer flowering season. This leads to people suffering from hay fever for longer. This will be exacerbated if allergenic plants which are not yet established in the Netherlands spread from the south of Europe. In addition, the risk of some infectious diseases will increase and new pathogens may occur.

This report is one of three studies on the consequences for health of climate policy. Together they show that climate policy is not only beneficial in limiting climate change but is also beneficial to health.

**Keywords:** climate change, climate policy, health, heat, ozone, UV radiation, allergies, infectious diseases, extreme weather events, mental health.





## Inhoudsopgave

### **Samenvatting — 9**

#### **1 Inleiding — 15**

#### **2 Wat betekent mondiaal klimaatbeleid voor de toekomstige opwarming en zeespiegelstijging? — 19**

#### **3 Wat betekent klimaatverandering voor gezondheid en veiligheid in Nederland? — 27**

3.1 Introductie: klimaatverandering is van invloed op veel aspecten van de gezondheid — 27

3.2 Overlijdensrisico's door temperatuurstijging — 30

3.3 Sterfte door ozon(smog) — 36

3.4 Huidkanker door UV-blootstelling — 37

3.5 Allergieën en irritatieklachten — 41

3.6 Vectoroverdraagbare infectieziekten — 44

3.7 Milieu- en voedseloverdraagbare infectieziekten — 48

3.8 Gevolgen van extreem weer — 51

3.9 Risico's voor drinkwater — 54

3.10 Toenemende onzekerheid en mentale gezondheid — 56

3.11 Hoog-risico groepen — 58

3.12 Global health: klimaatmigratiestromen en veiligheid in de wereld — 59

#### **4 Wat betekent klimaatbeleid voor gezondheid in Nederland? — 61**

4.1 Kwantificering gezondheidseffecten — 61

#### **5 Discussie en conclusies — 65**

5.1 Vragen voor toekomstig onderzoek — 65

5.2 Gezondheidswinst als neveneffect van klimaatmitigatiebeleid — 68

5.3 Gezondheidswinst door klimaatadaptatiebeleid — 69

5.4 Conclusies — 69

#### **6 Referenties — 71**

#### **7 Bijlagen — 85**

7.1 Methodologiebeschrijving van de warmte/koudesterfte-berekeningen — 85

7.2 *Vibrio* en klimaatverandering — 91

7.3 *Campylobacter* en klimaatverandering — 93



## Samenvatting

Klimaatverandering heeft wereldwijd, en dus ook in Nederland, gevolgen voor de gezondheid en veiligheid. Het effect van klimaatverandering op de gezondheid en veiligheid is nu al merkbaar. Het mondiale klimaatbeleid, het zogenaamde klimaatmitigatiebeleid, is gericht op het beperken van verdere klimaatverandering door het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen. Dit klimaatbeleid heeft invloed op de mate waarin de gezondheids- en veiligheidseffecten van klimaatverandering optreden.

Dit rapport schetst een beeld van de invloed van klimaatbeleid op de gezondheids- en veiligheidseffecten van klimaatverandering in Nederland. We vergelijken een scenario dat uitgaat van het voorgenomen klimaatbeleid in binnen- en buitenland met een scenario waarin in het geheel geen klimaatbeleid zou zijn gevoerd.

Dit onderzoek is onderdeel van een drieluik over de gevolgen voor gezondheid en veiligheid van klimaatbeleid. De drie onderzoeken samen laten zien dat klimaatbeleid niet alleen gunstig is voor het klimaat, maar ook voor gezondheid en veiligheid.

### *Klimaatverandering*

Door vertragingen in het klimaatsysteem is verdergaande temperatuurstijging de komende decennia onvermijdelijk. De baten van het klimaatbeleid voor gezondheid en veiligheid in Nederland, die gerelateerd zijn aan het verminderen van klimaatverandering, treden vooral op na 2050. Op dit moment ligt de gemiddelde temperatuur wereldwijd 1,2 graden boven het pre-industriële niveau.<sup>1</sup> In Nederland is de gemiddelde temperatuur ruim twee graden hoger dan het pre-industriële niveau.<sup>2</sup>

Zonder het voeren van klimaatbeleid zou de temperatuur op aarde aan het eind van deze eeuw volgens het meest pessimistische scenario van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) bijna zes graden hoger kunnen liggen dan het pre-industriële niveau. In de twee eeuwen na 2100 zou de temperatuurstijging in de wereld (en in Nederland) kunnen oplopen tot 8-12 graden. Dat zou grote delen van de wereld onbewoonbaar maken door te hoge temperaturen en enkele meters aan zeespiegelstijging opleveren. Nederland zou dan grotendeels in zee verdwijnen.

Met het voorgenomen klimaatbeleid, dat wil zeggen de huidige nationale verplichtingen die landen in het kader van het Akkoord van Parijs zijn aangegaan, zou de mondiale temperatuurstijging uiteindelijk beperkt kunnen blijven tot drie graden. Dat levert – in vergelijking met niets doen – minder gezondheidsverlies op, bijvoorbeeld in de vorm van minder vroegtijdige sterfte door de warmte, en zal de verwachte zeespiegelstijging aanzienlijk vertragen. Het Akkoord van Parijs is er

<sup>1</sup> Zie <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/wereldtemperatuur-2020-op-eerste-of-tweede-plaats>

<sup>2</sup> Zie <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/nederland-warmt-ruim-2-keer-zo-snel-op-als-de-rest-van-de-wereld>

uiteindelijk op gericht de temperatuurstijging te beperken tot minder dan 2 graden, maar daarvoor is aanvullend beleid van de landen nodig.

#### *Effecten op gezondheid en veiligheid*

Door klimaatverandering treden meer weersextremen op zoals hittegolven, perioden met droogte en perioden met wateroverlast. Door deze weersextremen, en door de geleidelijke opwarming, verandert de leefomgeving en daarmee ook de risico's voor de gezondheid en veiligheid.

Hittegolven leiden onder meer tot vroegtijdig overlijden van ouderen en mensen met een zwakke gezondheid. Meer warme, zonnige dagen, met minder bewolking, nodigen uit tot meer buitenrecreatie en blootstelling aan de zon, wat de blootstelling aan UV-straling en daarmee de incidentie van huidkanker zal vergroten. Door hogere temperaturen en andere klimaatgerelateerde factoren vindt er een verschuiving plaats van de habitats van ziekteverwekkers en planten. Hierdoor treden veranderingen in blootstelling en daarmee gezondheidseffecten op.

Voor een laag gelegen land als Nederland is de komende eeuw de stijging van de zeespiegel het grootste veiligheidsrisico. Het Deltaprogramma houdt rekening met een zeespiegelstijging van één meter in 2100 ten opzichte van 1995, maar inmiddels zijn er ook projecties waarin de zeespiegelstijging – zonder het nemen van klimaatmitigatiemaatregelen – zou uitkomen op 2,75 tot meer dan vier meter in 2100, en daarna verder toenemen.

Dit rapport behandelt de gezondheidsrisico's door hogere temperaturen, smogvorming, UV-blootstelling, allergenen, infectieziekten en verandering in drinkwaterkwaliteit en -beschikbaarheid. Tevens wordt de impact van klimaatverandering op de mentale gezondheid behandeld. Daarnaast komen de veiligheidsrisico's door extreem weer, zoals neerslagextremen en overstromingen aan de orde.

Voor deze effecten is op basis van *expert judgement* een inschatting gemaakt over de zekerheid van het optreden van deze effecten. Daarnaast is een aantal effecten gekwantificeerd, in dit rapport of in de literatuur. Voor deze effecten is tevens een beoordeling gegeven van de waarschijnlijkheid van het berekende effect.

#### *Kwantificeren van effecten*

Voor veel gezondheids- en veiligheidseffecten worden al trends waargenomen die in verband gebracht kunnen worden met klimaatverandering. Nog niet alle effecten kunnen (goed) worden gekwantificeerd. Belangrijke oorzaken zijn dat de huidige omvang van de ziektelast vaak niet volledig bekend is, of dat de relaties met klimaatfactoren, of de mechanismen achter deze relaties, nog niet zijn vastgesteld. Ook is onbekend hoe mensen hun leefstijl zullen gaan aanpassen aan het nieuwe klimaat om zo de gezondheidsimpact ervan te verminderen.

Daar waar de huidige omvang van de ziektelast bekend is en de relatie tussen blootstelling aan een bepaald klimaatfactor en effect is vastgesteld, worden de effecten van klimaatverandering op ziekte en sterfte gekwantificeerd in DALY's (Disability Adjusted Life Years). Dit is een maat

die de effecten van sterfte en ziekte combineert en rekening houdt met de ernst en duur van aandoeningen. Vervolgens wordt – waar mogelijk – ingeschat hoeveel ziekte en sterfte met klimaatbeleid wordt voorkómen.

Voor vijf gezondheidseffecten is de bijdrage van klimaatverandering aan de ziektelast gekwantificeerd: warmtesterfte; koudesterfte; huidkanker; de infectieziekten veroorzaakt door de ziekteverwekkers *Vibrio* en *Campylobacter*. De ziektelast van deze effecten zal toenemen bij de onderzochte klimaatscenario's behalve voor koudesterfte. De toename is groter wanneer geen klimaatbeleid zou worden gevoerd dan met het voorgenomen klimaatbeleid. Bij het voorgenomen klimaatbeleid zullen rond 2085 in Nederland naar schatting jaarlijks zo'n 4000 mensen minder vroegtijdig overlijden tijdens warme periodes, dan zonder het voeren van beleid het geval zou zijn. Daarentegen zullen er zo'n 2000 mensen meer vroegtijdig overlijden tijdens koude periodes.

Er is nog veel onbekend over de mogelijke toename van infectieziekten en allergieën en de daarmee gepaard gaande ziektekosten en ziekteverzuim. Momenteel maken infectieziekten (afgezien van de COVID-19-uitbraak) en allergieën in Nederland een beperkt deel uit van de totale gedocumenteerde ziektelast. Voor allergieën en infectieziekten geldt dat veel patiënten de huisarts niet bezoeken. Ze behandelen de klachten zelf met vrij verkrijgbare (genees)middelen. Daardoor vormen geregistreerde klachten en medicatiegebruik een onderschatting van de werkelijke situatie. Wel lijkt het waarschijnlijk dat voor verschillende infectieziekten de risico's onder invloed van klimaatverandering gaan toenemen, zoals bijvoorbeeld al gebeurt voor *Vibrio*. Ook is er de afgelopen jaren lokale overdracht gemeld van verschillende nieuwe ziekteverwekkers die overgedragen worden door muggen of teken (vectoren). Een voorbeeld van zo'n vectoroverdraagbare ziekteverwekker is het Westnijlvirus, dat in 2020 voor de eerste keer in Nederland meerdere besmettingen heeft veroorzaakt. Hoewel dit niet direct aan klimaatverandering te relateren is, heeft het mogelijk wel een bijdrage geleverd. In alle gevallen geldt dat ontwikkelingen in infectieziektenrisico's ook bepaald worden door veranderingen in niet-klimaatfactoren zoals landgebruik, de leefomgeving, mobiliteit, en (recreatie)gedrag.

Met betrekking tot allergieën is bekend dat door klimaatverandering het pollenseizoen langer wordt, en niet-inheemse allergene planten beter zullen gedijen in Nederland. Dit leidt tot meer en hevigere hooikoortsklachten en daarmee samenhangend ziektekosten en -verzuim.

De gedocumenteerde ziektelast van huidkanker als gevolg van blootstelling aan zonlicht is daarentegen substantieel, en zal bij meer zomerse dagen verder toenemen, vooral doordat mensen bij zonnig en warm weer met minder bewolking meer tijd in de zon gaan doorbrengen. De kans op huidkanker zal daardoor groter zijn bij het uitblijven van klimaatbeleid. Het voeren van mondiaal klimaatbeleid zal hier rond 2085 een jaarlijkse winst van circa 3000 gezonde levensjaren kunnen opleveren. Daarnaast kan gezondheidswinst worden bereikt door succesvolle voorlichting om de blootstelling te verminderen.

Meer zonneschijn gaat ook samen met meer episoden van hoge (giftige) ozonconcentratie in de onderste luchtlag. De verwachting is dat er

tussen nu en 2050 een toename zal zijn in het aantal gevallen van sterfte tijdens zulke smogepisoden, door extra ozonvorming tijdens warme dagen. Deze toename wordt mede bepaald door de vergrijzing omdat daardoor het aantal kwetsbare mensen zal toenemen. De voorgenomen beleidsmaatregelen om emissies van ozonvormende stoffen in binnen- en buitenland terug te dringen, zorgen ervoor dat deze toename beperkt blijft.

Klimaatverandering veroorzaakt ook een toename van extreem weer. Neerslagextremen kunnen leiden tot water op straat waardoor het risico op maag-darm- en luchtweginfecties optreedt door contact met rioolwater. De risico's van gezondheidseffecten door overstromingen lijken tot 2050 beperkt, omdat onze dijken berekend zijn op de zeespiegelstijging die tot die tijd verwacht wordt. Droogte en natuurbranden zijn gevolgen van extreem weer waarvan de effecten nog onzeker zijn. Hoe de kracht en frequentie van stormen in Nederland zich gaan ontwikkelen met de bijbehorende gezondheid- en veiligheidsrisico's wordt momenteel onderzocht. De nieuwe KNMI-klimaatscenario's die in 2023 worden verwacht gaan ons meer inzicht geven in de gevolgen van extreem weer.

De kwaliteit van bronnen voor drinkwater kan achteruitgaan gedurende perioden van droogte en ook de vraag naar drinkwater neemt waarschijnlijk toe. De gezondheidsrisico's hiervan blijven bij klimaatverandering echter gering. Waterzuiveringstechnieken zijn momenteel voldoende om een goede drinkwaterkwaliteit te blijven garanderen en watertekorten lijken ook in extreme scenario's te kunnen worden opgevangen door beperkingen op niet-essentieel gebruik van water.

Over de psychische gevolgen van klimaatverandering is nog niet veel bekend. Sommige mensen reageren op de klimaatrisico's met ontkenning of cynisme, anderen schieten in een actie-modus en sommigen krijgen te maken met mentale problemen, zoals angst voor de toekomst. Om het gevoel van wanhoop tegen te gaan is het nuttig te kijken naar wat mensen zelf kunnen doen aan het tegengaan van verdere klimaatverandering. Voor de landbouw komen problemen door droogte bovenop de reeds bestaande milieubeperkingen, wat de mentale druk op boerengezinnen versterkt. Daarnaast kunnen mensen die blootgesteld worden aan klimaatimpacts zoals overstromingen stressstoornissen ontwikkelen.

Elders in de wereld kunnen de gezondheids- en veiligheidseffecten van klimaatverandering ernstiger zijn dan in Nederland. Effecten van klimaatverandering op bijvoorbeeld voedselzekerheid, watervoorziening, en werkgelegenheid, of het vaker voorkomen van extreem weer, kan de leefbaarheid van gevoelige landen ernstig aantasten en tevens leiden tot een toename van migratiebewegingen. Klimaatverandering kan alleen door internationale samenwerking effectief worden beperkt.

In deze studie wordt geen rekening gehouden met het mogelijk overschrijden van zogenaamde *tipping points*, ofwel kantelpunten in het klimaat. Overschrijding van deze *tipping points* kan leiden tot abrupte en al dan niet onomkeerbare veranderingen in het klimaat en andere systemen op aarde, met potentieel grote gevolgen voor de gezondheid

en veiligheid. Daarnaast zijn de mogelijke effecten op het klimaat van de lockdowns ter beperking van de COVID-19-pandemie buiten beschouwing gelaten.

### **Conclusies**

Klimaatverandering heeft nu en in de toekomst vooral negatieve gevolgen voor de gezondheid en veiligheid van de Nederlandse bevolking, ondanks enkele positieve aspecten, zoals minder koudesterfte.

Het mondiale klimaatbeleid zal de toename van de gezondheids- en veiligheidseffecten door klimaatverandering afremmen. Voor de eerstkomende decennia zijn deze baten nog relatief beperkt voor zover ze op dit moment te kwantificeren zijn. In de loop van de tijd worden de baten van het beleid echter steeds groter. De komende decennia zijn klimaatverandering en de gevolgen ervan onvermijdelijk ondanks het mondiale klimaatbeleid. Aanpassing aan klimaatverandering, de zogenaamde klimaatadaptatie, is van belang om de onvermijdelijke toename in gezondheids- en veiligheidsrisico's te beheersen. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om maatregelen zoals meer groen en water in de stad, en koelere gebouwen.





## 1 Inleiding

Dit rapport schetst een beeld van de invloed van het mondiale klimaatbeleid op de mate waarin humane gezondheids- en veiligheidseffecten van de wereldwijde klimaatverandering doorwerken in Nederland. Onder mondiaal klimaatbeleid verstaan we het zogenaamde klimaatmitigatiebeleid dat gericht is op het beperken van verdere klimaatverandering door het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen.

Dit rapport is onderdeel van een drietal studies die het RIVM in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft uitgevoerd. Het doel van de opdracht is om inzicht te krijgen in de mogelijke effecten en risico's voor de gezondheid en veiligheid van de maatregelen die worden genomen in het kader van het Klimaatakkoord. De eerste studie beschrijft de effecten van het uitfaseren van fossiele brandstoffen op veiligheid en gezondheid, op basis van de afspraken in het Klimaatakkoord (Kelfkens *et al.*, 2021). De tweede studie gaat in op de mogelijke effecten en risico's van de nieuwe energiebronnen en maatregelen uit het Klimaatakkoord voor gezondheid en veiligheid (Gooijer & Mennen, 2021). De onderhavige studie omschrijft de gezondheids- en veiligheidseffecten van klimaatverandering in Nederland en schetst een beeld van het effect van het mondiale klimaatbeleid op de gezondheid en veiligheid.

Om de effecten van het mondiale klimaatbeleid voor Nederland in beeld te brengen vergelijken we een scenario met en een scenario zonder mondiaal klimaatbeleid. Hiervoor maken we gebruik van de thans beschikbare KNMI'14-klimaatscenario's. Deze sluiten aan op de internationale klimaatscenario's. Het KNMI beschikt over twee geschikte klimaatscenario's, het scenario W met sterke opwarming en scenario G met een mindere temperatuurstijging. De opwarming van scenario W past bij een wereldwijd klimaatscenario in een wereld waarin geen klimaatbeleid wordt gevoerd (en bestaand beleid niet wordt uitgevoerd). De opwarming van scenario G past bij een wereldwijd klimaatscenario waarbij alle landen hun voorgenomen klimaatbeleid uitvoeren, zoals toegezegd in het kader van het Akkoord van Parijs. Voor Nederland betekent dat 49% reductie van de emissies van broeikasgassen, zoals vastgelegd in het Klimaatakkoord.

Het verschil tussen het scenario zonder klimaatbeleid en dat met voorgenomen klimaatbeleid vormt de basis voor de berekening van de gezondheidsbaten van het voorgenomen klimaatbeleid.

Voor 2050 heeft Nederland een doel van 95% reductie van broeikasgasemissies, maar hier is nog geen concreet beleid voor vastgesteld. Dit klimaatbeleidsdoel past bij een wereldwijd klimaatbeleid gericht op het beperken van de opwarming tot minder dan twee graden. Op dit moment zijn er nog geen KNMI-klimaatscenario's beschikbaar om de effecten hiervan voor Nederland door te rekenen. In 2023 komt het KNMI met nieuwe klimaatscenario's die dit wel mogelijk maken.

De maatregelen die genomen worden om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen in het kader van klimaatbeleid (klimaatmitigatiemaatregelen) hebben ook neveneffecten op gezondheid en veiligheid, los van de effecten die verbonden zijn aan minder opwarming. Dit zijn bijvoorbeeld positieve effecten, zoals gezondheidswinst door schonere lucht die samenhangt met minder gebruik van fossiele brandstoffen, of negatieve effecten zoals geluidhinder door windturbines of warmtepompen. Deze effecten, die niet samenhangen met het beperken van verdere klimaatverandering, worden in andere rapporten behandeld (zie Kelfkens *et al.*, 2021 en Gooijer & Mennen, 2021).

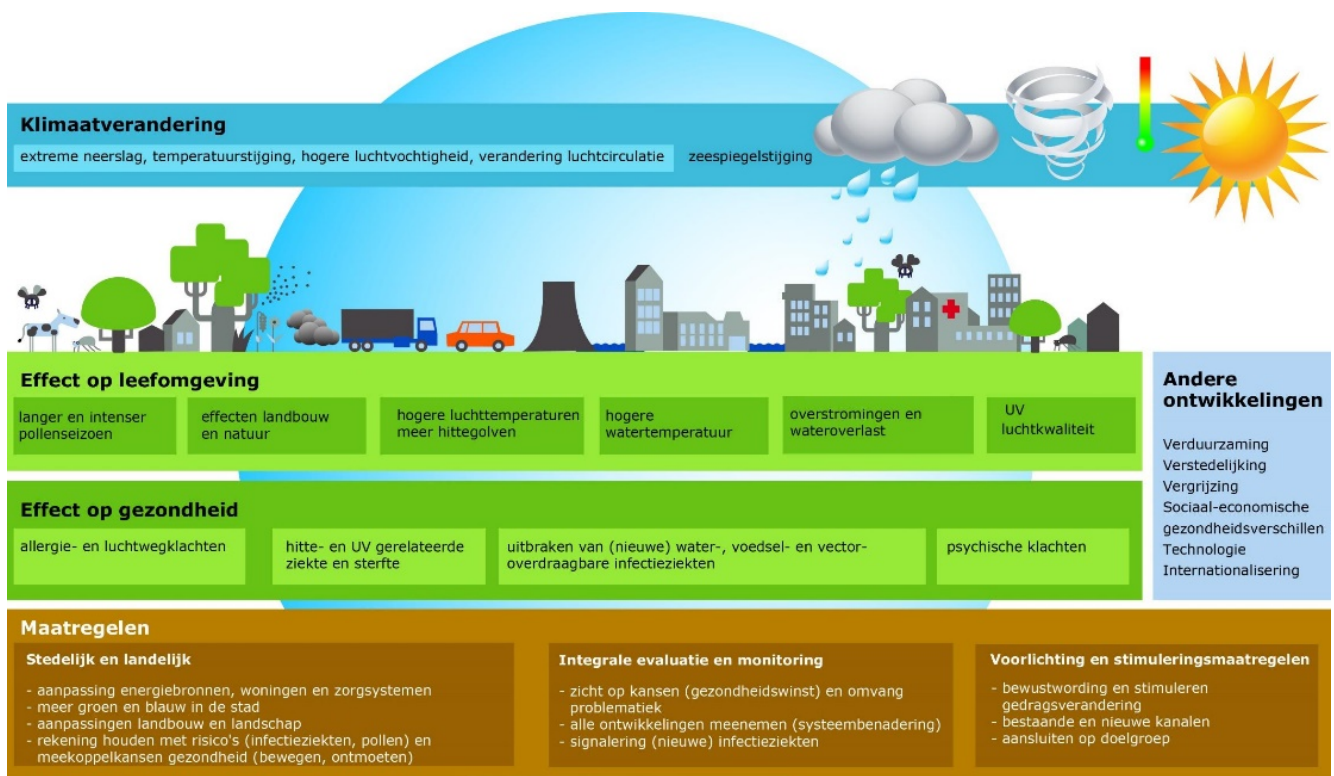
#### *Afbakening*

In dit rapport worden de gevolgen van klimaatverandering voor Caribisch Nederland buiten beschouwing gelaten. De gezondheidsproblematiek en -risico's zijn daar niet vergelijkbaar met de rest van Nederland. Daar spelen ook andere veiligheidseffecten, zoals een toename in de kracht en waarschijnlijk ook de frequentie van orkanen onder invloed van klimaatverandering.

Sommige klimaatveranderingen of daaruit voortvloeiende veranderingen in ons leven zullen gradueel verlopen. Afgezien van het optreden 'extreem weer' is dit verondersteld in deze analyse. Er kunnen echter ook schoksgewijze veranderingen plaatsvinden, waarbij een kleine temperatuurstijging een groot gevolg heeft voor het klimaat en andere systemen op aarde.<sup>3</sup> In deze studie is geen rekening gehouden met het optreden van dit soort abrupte systeemveranderingen door het overschrijden van zogenaamde *tipping points*, oftewel kantelpunten in het klimaat.

Daarnaast zijn de mogelijke effecten op het klimaat van de lockdowns ter beperking van de COVID-19-pandemie buiten beschouwing gelaten.

<sup>3</sup> Zie <https://www.carbonbrief.org/explainer-nine-tipping-points-that-could-be-triggered-by-climate-change>



Figuur 1.1 Klimaatverandering, effecten op leefomgeving en gezondheid; Huynen et al., 2019 (aangepast naar Wuijts et al., 2014).

Hoofdstuk 2 beschrijft de verwachte opwarming bij verschillend klimaatbeleid voor zowel Nederland als de wereld als geheel. Daarbij worden ook de verwachte veranderingen in weersextremen en de zeespiegelstijging behandeld.

In hoofdstuk 3 worden de gevolgen voor gezondheid en veiligheid besproken van klimaatverandering in Nederland (zie Figuur 1.1). Daarbij wordt ingegaan op de relatie tussen klimaatverandering en gezondheid zoals we die vinden in de literatuur, en proberen we die relaties te combineren met de voor Nederland verwachte temperatuurstijging bij de verschillende scenario's (zoals behandeld in hoofdstuk 2).

In hoofdstuk 4 vatten we de gevonden kwantitatieve relaties uit hoofdstuk 3 samen in projecties voor de gezondheidseffecten bij de onderscheiden scenario's. Ten slotte formuleren we in hoofdstuk 5 enkele openstaande onderzoeksvragen en bespreken we de conclusies vervolgens in de context van de effecten van de huidige mitigatie- en adaptatiemaatregelen.



## 2 Wat betekent mondiaal klimaatbeleid voor de toekomstige opwarming en zeespiegelstijging?

Dit hoofdstuk beschrijft de verwachte opwarming bij verschillende klimaatscenario's voor zowel Nederland als de wereld als geheel. Daarbij worden ook de verwachte veranderingen in weersextremen en de zeespiegelstijging behandeld.

In deze studie vergelijken we de effecten van het voorgenomen mondiale klimaatbeleid met de verwachte ontwikkelingen als geen beleid zou zijn gevoerd of het al bestaande beleid wordt teruggedraaid. Daarbij wordt gekeken naar het klimaat zoals dat voor het midden, respectievelijk aan het eind van deze eeuw zou heersen. Voor het Nederlandse klimaat vormen de KNMI'14-klimaatscenario's (KNMI, 2015) de basis van de vergelijking. Deze sluiten goed aan bij ramingen van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in het vijfde Assessment Report (AR5 - IPCC, 2014).

### *Klimaatscenario's*

De bevindingen in de IPCC AR5 zijn gebaseerd op een reeks scenario's, de zogenaamde Representative Concentration Pathways (RCP's). De vier RCP's (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 en RCP8.5) geven de spanbreedte aan van de beschikbare emissiescenario's uit de wetenschappelijke literatuur, met verschillende invullingen van het klimaatmitigatiebeleid (Van Vuuren *et al.*, 2011). De RCP-scenario's verschillen in de mate waarin de emissies van broeikasgassen veranderen en impliceren een bepaalde vorm van klimaatbeleid. Het RCP8.5-scenario schetst een denkbeeldige invulling voor een wereld zonder klimaatbeleid. Het gaat hier om een 'high-end what-if'-scenario en het scenario is niet bedoeld als een plausibel 'business as usual'-scenario (Van Vuuren *et al.*, 2011), want inmiddels is er al heel wat klimaatbeleid ingevoerd en in ontwikkeling. Er bestaat discussie over de interpretatie van het RCP8.5-scenario als een scenario zonder klimaatbeleid. Sommigen denken dat er ook zonder klimaatbeleid wel technologische doorbraken zouden komen (zoals kernfusie). In die zin is het RCP8.5 een pessimistische (worst case) invulling van een toekomst zonder klimaatbeleid. In de onderhavige studie, wordt RCP8.5 omwille van vereenvoudiging verder aangeduid als het scenario zonder klimaatbeleid.

Recente ramingen van het Internationaal Energie Agentschap<sup>4</sup> geven aan dat het voorgenomen beleid, dat wil zeggen de officiële verplichtingen<sup>5</sup> die landen in het kader van het Akkoord van Parijs zijn aangegaan, tot een emissieontwikkeling van broeikasgassen leidt die vergelijkbaar is met die in het IPCC-scenario RCP4.5. Dit zou leiden tot een mondiale temperatuurstijging van 2,6 °C aan het eind van deze eeuw. Er bestaat onzekerheid over de mate waarin de verplichtingen worden nagekomen en voldoende effect zullen hebben. Volgens Schwalm *et al.* (2020) is meer emissiereductie nodig om de

<sup>4</sup> Zie <https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2019>

<sup>5</sup> De zogenoemde 'nationally determined contributions'. Voor Nederland is dat 49% reductie van broeikasgasemissies ten opzichte van 1990.

temperatuurverwachting uit het RCP4.5-scenario waar te maken. De afgelopen maanden hebben wel steeds meer landen aangekondigd te willen streven naar klimaatneutraliteit rond 2050. Volgens de climate action tracker zou dat de temperatuurstijging kunnen beperken tot 2,1 °C aan het eind van deze eeuw.<sup>6</sup>

In dit rapport veronderstellen we dat het RCP4.5-scenario overeenkomt met uitvoering van het voorgenomen mondiale klimaatbeleid<sup>7</sup>, hoewel nog maar een deel daarvan hard is vastgelegd. Met andere woorden: dit scenario veronderstelt klimaatmaatregelen die verder gaan dan wat momenteel wettelijk is vastgelegd. Het huidige Nederlandse Klimaatakkoord met 49% vermindering van de Nederlandse CO<sub>2</sub>-emissies in 2030 maakt onderdeel uit van de Europese verplichting aan het Akkoord van Parijs (het voorgenomen klimaatbeleid). In het IPCC-scenario RCP4.5 stabiliseert de mondiale temperatuurstijging na 2100 rond de 2,6-4 °C temperatuurstijging ten opzichte van het pre-industriële niveau. Dat komt redelijk overeen met het KNMI'14-klimaatsscenario met gematigde temperatuurstijging (G).

Ter vergelijking gebruiken we het IPCC-scenario RCP8.5 als een illustratie van een toekomstbeeld waarin geen klimaatbeleid zou zijn of worden gevoerd. Dit scenario zou de komende eeuwen uitkomen op 8-12 °C temperatuurstijging ten opzichte van het begin van de vorige eeuw. Het warmste KNMI'14-klimaatsscenario (W) ligt in lijn met dat IPCC-scenario RCP8.5, zie Tabel 2.1. In deze tabel staan ook de scenariobenamingen (Shared Socioeconomic Pathways: SSP) uit het zesde assessment rapport van het IPCC (AR6), dat uitkomt in 2022.

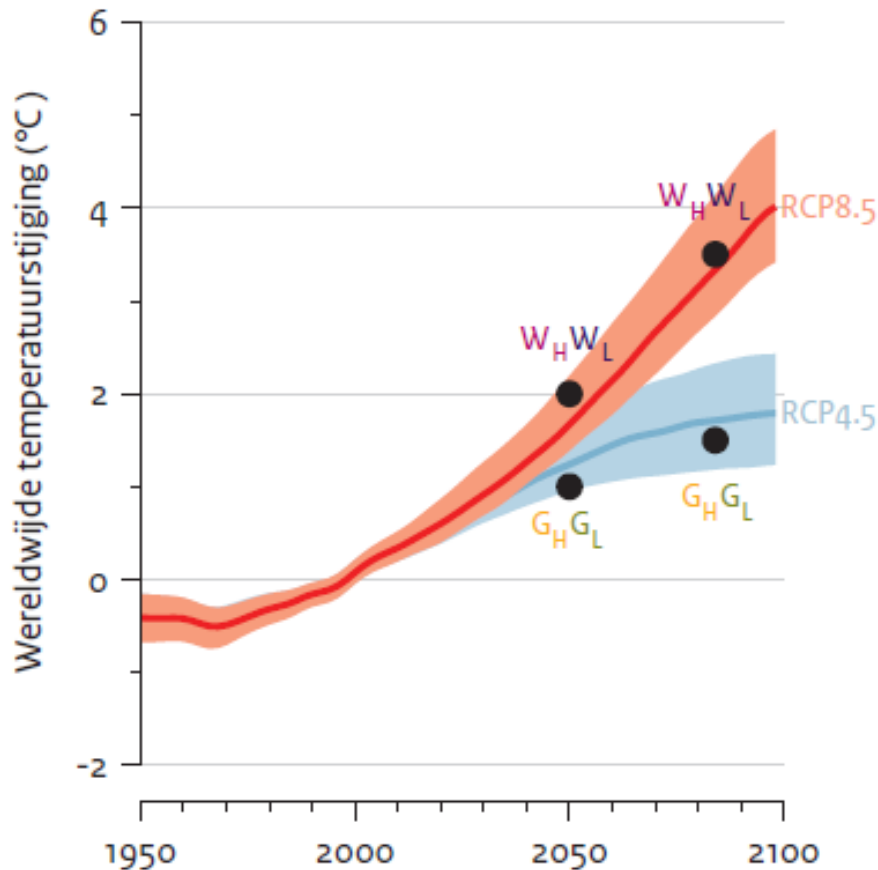
Klimaatverandering moet de komende decennia als onvermijdelijk worden gezien, zelfs bij verdere aanscherping van het nationale en internationale klimaatbeleid, zoals beschreven in het IPCC-scenario RCP2.6 en uitgewerkt in de EU-afspraken om de broeikasemissies in 2030 terug te brengen met 55% en in 2050 klimaatneutraliteit te bereiken. Door vertragingen in het klimaatsysteem is in elk geval in de komende tien jaar geen significant effect van het klimaatbeleid op de klimaatverandering te verwachten. De klimaatbaten liggen vooral op langere termijn. Bovendien zullen die baten voor Nederland grotendeels afhankelijk zijn van het klimaatbeleid in de rest van de wereld.

<sup>6</sup> Zie [https://climateactiontracker.org/documents/829/CAT\\_2020-12-01\\_Briefing\\_GlobalUpdate\\_Paris5Years\\_Dec2020.pdf](https://climateactiontracker.org/documents/829/CAT_2020-12-01_Briefing_GlobalUpdate_Paris5Years_Dec2020.pdf)

<sup>7</sup> De zogenoemde 'nationally determined contributions'. Voor Nederland is dat 49% reductie van broeikasgasemissies ten opzichte van 1990.

Tabel 2.1 Beschrijving klimaatscenario's.

KNMI'14	IPCC		Omschrijving	Verondersteld beleid	Emissies in 2050 t.o.v. 1990		CO <sub>2</sub> ppm 2100	Temperatuurstijging in °C t.o.v. circa 1900		
	AR5	AR6			wereld	Nederland		2100	marge	na 2100
-	RCP2.6	SSP1	Sustainability	Parijsdoel: max 2 °C	-15%	-95%	450	1,7	1,0-2,5	< 2
G	RCP4.5	SSP2	Middle of the road	Voorgenomen beleid	+100%	-49%	550	2,6	1,8-3,3	2,6-4,0
W	RCP8.5	SSP5	Fossil fueled	Geen klimaatbeleid	+250%	-25%	1250	4,6	3,3-5,9	8,0-12,0



Figuur 2.1 Wereldwijde temperatuurstijging ten opzichte van 1981-2010 volgens de modelberekeningen uit het IPCC AR5-rapport (2014) voor twee uitstootscenario's: RCP4.5 en RCP8.5. De gekleurde banden geven de spreiding tussen klimaatmodellen weer, de lijnen vormen het gemiddelde over de modellen. De punten geven de wereldwijde temperatuurstijging zoals toegepast in de KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland (KNMI, 2015).

#### KNMI'14-klimaatscenario's

De KNMI'14-klimaatscenario's (KNMI, 2015) dienen als basis voor de analyse van de gezondheids- en veiligheidseffecten van klimaatverandering in de periode 2036-2065 (= rond 2050) en de periode 2071-2100 (= rond 2085). Als basis is het klimaat in de periode 2016-2045 genomen (= rond 2030). De scenario's verschillen op de kortere termijn minder van elkaar dan op de langere termijn. Zonder mondiaal klimaatbeleid, oftewel door het terugdraaien van voorgenomen beleid, zou de toekomstige jaargemiddelde temperatuurstijging in Nederland volgens het warmste KNMI'14-klimaatscenario W (met als bandbreedtes W<sub>L</sub> en W<sub>H</sub>) uitkomen op 2,0-2,3 °C rond 2050 en 3,3-3,7 °C rond 2085, beide ten opzichte van 1995 (zie Figuur 2.1 en Tabel 2.2). Bij uitvoering van het voorgenomen beleid wordt het gematigde KNMI'14-klimaatscenario G (met als bandbreedtes G<sub>L</sub> en G<sub>H</sub>) waarschijnlijk, met in Nederland een jaargemiddelde temperatuurstijging van 1,3-1,7 °C rond 2085 ten opzichte van 1995. De bandbreedtes in deze cijfers hangen samen met de mogelijke veranderingen in het luchtstromingspatroon, die van invloed zijn op de klimaatverandering in Nederland. In de L-scenario's



(G<sub>L</sub> en W<sub>L</sub>) is de invloed van de verandering in luchtstromingspatroon klein; in de H-scenario's (G<sub>H</sub> en W<sub>H</sub>) is de invloed groot.

Naast het voorgenomen beleid bestaan er beleidsambities om de temperatuurstijging verder te beperken. Bij aanvullend beleid gericht op de '*well below 2 degrees*'-doelstelling<sup>8</sup> van het Parijsakkoord (IPCC-scenario RCP2.6), zal de temperatuurstijging in Nederland lager uitkomen. En dan vermoedelijk in de buurt van de temperatuurstijging die het KNMI nu voor 2030 verwacht en die wat betreft gemiddelde temperatuur vergelijkbaar is met de afgelopen drie jaar. Dat scenario zou voor EU-landen in 2050 een reductie van de broeikasemissies nodig maken van 95% ten opzichte van 1990.

<sup>8</sup> Let wel: 2 °C ten opzichte van rond 1900, wat overeenkomt met 1,3 °C ten opzichte van rond 1995.

Tabel 2.2 Trends in temperatuur en neerslag.<sup>9</sup>

	rond 1900	rond 1980	rond 1995	2017	2019	rond 2030	rond 2050	rond 2050	rond 2085	rond 2085
<b>Wereld</b>										
<i>IPCC-scenario</i>							<i>RCP4.5</i>	<i>RCP8.5</i>	<i>RCP4.5</i>	<i>RCP8.5</i>
temperatuur (gem.)	13,6	14,0	14,3	14,7	14,9	14,9	15,3-15,8	15,8-16,3	15,4-16,9	16,9-19,5
<b>Nederland</b>										
<i>KNMI'14-scenario</i>						<i>2030<sup>10</sup></i>	<i>G<sub>L</sub>-G<sub>H</sub></i>	<i>W<sub>L</sub>-W<sub>H</sub></i>	<i>G<sub>L</sub>-G<sub>H</sub></i>	<i>W<sub>L</sub>-W<sub>H</sub></i>
jaartemperatuur (gem.)	8,9	9,5	10,1	10,9	11,2	11,1	11,1-11,5	12,1-12,4	11,4-11,8	13,4-13,8
wintertemperatuur (gem.)	2,7	2,9	3,4	4,2	6,2	4,6	4,5-5,0	5,5-6,1	4,7-5,4	5,6-7,5
zomertemperatuur (gem.)	15,2	16,3	17,0	17,5	18,4	17,9	18,0-18,4	18,7-19,3	18,2-18,7	20,2-20,7
aantal zomerse dagen (max temp ≥ 25°C)	9	13	21	21	26		26-28	29-36	27-32	42-48
mm neerslag (gem.)		774	851			894	885-872	898-894	894-894	911-911

Rond 1900 = klimaat in de periode 1880-1910

Rond 1965 = klimaat in de periode 1951-1980

Rond 1995 = klimaat in de periode 1981-2010

Rond 2030 = klimaat in de periode 2016-2045

Rond 2050 = klimaat in de periode 2036-2065

Rond 2085 = klimaat in de periode 2071-2100

<sup>9</sup> De historische temperatuurtrends tot 2017 zijn ontleend aan het Compendium voor de Leefomgeving (<https://www.clo.nl/indicatoren/nl022613-temperatuur-mondiaal-en-in-nederland>).

Hierbij is voor de wereld de Berkeley Earth Project-reeks gebruikt. Voor 2019 is de feitelijke realisatie in dat jaar opgenomen. Voor de toekomst zijn voor de wereld de IPCC temperatuurprojecties van het RCP4.5 en RCP8.5 en voor Nederland die van de KNMI'14-klimaatsscenario's (<http://www.klimaatsscenarios.nl/kerncijfers/index.html>).

<sup>10</sup> Omdat KNMI voor 2030 een gemiddelde heeft berekend, en voor 2050 en 2085 vier hoekpunt-scenario's (*G<sub>L</sub>, G<sub>H</sub>, W<sub>L</sub>, W<sub>H</sub>*), zijn de waarden van enkele temperatuurindicatoren in 2030 groter dan in het minst warme scenario (*G<sub>L</sub>*) voor 2050 (KNMI, 2015).

### *Droogte en stormen*

In alle scenario's verwacht het KNMI een toename van jaarlijkse neerslag ten opzichte van 1995 (zie Tabel 2.2). Daarbij is de verwachting dat de neerslag vooral in de wintermaanden zal toenemen en dat gedurende het hele jaar meer hevige buien kunnen voorkomen. Ook impliceren alle scenario's een toename van het aantal zomerse dagen en meer verdamping. Naar verwachting zal het neerslagtekort in het groeiseizoen blijven toenemen. KNMI'14-klimaatscenario's  $G_H$  en  $W_H$  voorzien een grotere kans op perioden met (langdurige) droogte door meer oostenwind in de zomer, die warmer en droger weer met zich meebrengt.

Het KNMI verwachtte in 2015 geen significante veranderingen in het aantal stormdepressies en stormkracht, maar er bestaan grote onzekerheden over het toekomstig verloop van stormbanen over Europa. Recenter onderzoek van het KNMI<sup>11</sup> laat echter zien dat door klimaatverandering zware stormen naar verwachting frequenter optreden en de kans groter wordt dat (ex-)cyclonen West-Europa en daarmee Nederland kunnen bereiken.

Het KNMI verwacht een grotere kans op hevig onweer en hagel. Dat hangt samen met de sterkere verdamping. Meer condensatiewarmte zal de wolken hoger opstuwen, waardoor meer onweers- en hagelbuien optreden, met grotere hagelstenen (KNMI, 2015).

### *Zeespiegelstijging*

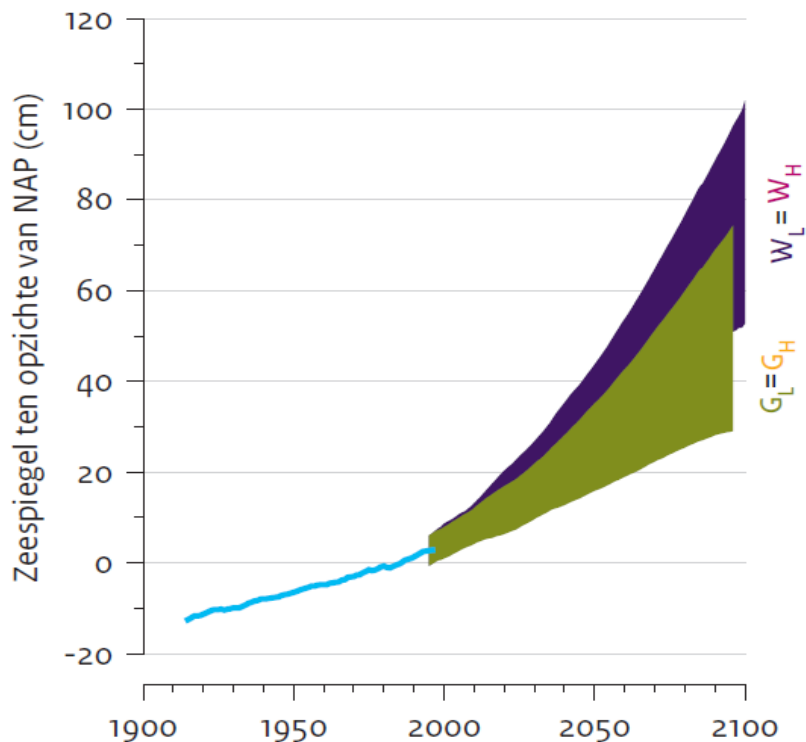
In alle IPCC-scenario's ligt het tempo van de zeespiegelstijging hoger dan 2,0 mm per jaar, als gevolg van opwarming en uitzetting van oceaanwater en het smelten van gletsjers en ijskappen op Groenland en Antarctica. In de KNMI-berekening van de zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust is hiernaast rekening gehouden met het zogeheten zelfgravitatie-effect (Figuur 2.2). Dat houdt in dat, door de veranderingen in het zwaartekrachtveld, smeltwater van ijskappen niet gelijkmatig wordt verdeeld over de oceanen, waardoor de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust de komende decennia vooralsnog minder is dan het mondiale gemiddelde. Dit leidt – volgens het KNMI'14 scenario zonder klimaatmitigatie (W) – in 2100 ten opzichte van 1995 tot 50-100 cm zeespiegelstijging. Bij uitvoering van het voorgenomen beleid zou de zeespiegelstijging 20-30 cm lager kunnen uitvallen.

Bodemdaling, bijvoorbeeld door het inklinken van veen, is niet in de KNMI'14-klimaatscenario's verwerkt. Bodemdaling treedt onder meer op door ontwatering van veengronden en kan de overstromingsrisico's vergroten. Bovendien draagt deze ontwatering bij aan het vrijkomen van broeikasgassen.<sup>12</sup>

Omdat het zeer lang duurt voordat oceanen en ijskappen zich hebben aangepast aan de wereldwijde opwarming, zal de zeespiegel nog eeuwenlang blijven stijgen, ook als de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer niet meer verder toeneemt. Voor het jaar 2300 is de geschatte zeespiegelstijging in het Noordzeegebied 50 cm tot enkele meters (KNMI, 2015).

<sup>11</sup> Zie <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/tropische-cyclonen-ook-een-bedreiging-voor-nederland>

<sup>12</sup> Zie <https://rli.nl/publicaties/2020/advies/stop-bodemdaling-in-veenweidegebieden-het-groene-hart-als-voorbeeld>



Figuur 2.2 Zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust volgens de KNMI'14-klimaatscenario's (KNMI, 2015).

Inmiddels zijn nieuwe onderzoeken verschenen die aangeven dat de zeespiegelstijging – zonder klimaatbeleid – hoger kan uitkomen. Shepherd *et al.* (2020) geven aan dat de bijdrage van het afsmelten van de Groenlandse ijskap aan de zeespiegelstijging overeenkomt met de bijdrage die de IPCC AR5 voorspelt bij het RCP8.5-scenario. Zij verwachten dat zonder klimaatbeleid in 2100 de gemiddelde mondiale zeespiegelstijging zou uitkomen op 1,5-2,75 meter ten opzichte van 1995. Haasnoot *et al.* (2020) verwachten dat door het versnelde afsmelten van Antarctica bij het RCP8.5-scenario de zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust in 2100 bijna twee meter (0,75-3,10 m) hoger kan liggen dan in 1995. Bij uitvoering van voorgenomen beleid (het RCP4.5-scenario) zal de zeespiegelstijging beperkt blijven tot ongeveer één meter (0,35-1,8 m) (Haasnoot *et al.*, 2020). Tot op dit moment lijken de mondiale zeespiegeltrends het hoogste (RCP8.5) scenario te volgen, dat uitkomt op een zeespiegelstijging met 2,75 tot meer dan 4 meter in 2100 ten opzichte van 1995 (KNMI klimaatbericht, Richard Bintanja, 12 januari 2021).<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Zie <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/het-afsmelten-van-de-grote-ijskappen-gaat-snel-er-uit>

### 3 Wat betekent klimaatverandering voor gezondheid en veiligheid in Nederland?

#### 3.1 **Introductie: klimaatverandering is van invloed op veel aspecten van de gezondheid**

Klimaatverandering verwijst naar een grootschalige, langdurige verschuiving in de weerpatronen en gemiddelde temperaturen. Sinds de industriële revolutie neemt de uitstoot van koolstofdioxide en andere broeikasgassen toe. Hierdoor stijgt de temperatuur op aarde, wat resulteert in moeilijk omkeerbare veranderingen in het klimaat.<sup>14</sup>

De opwarming gaat in Nederland sneller dan gemiddeld op aarde. De afgelopen drie decennia is de temperatuur in Nederland toegenomen met gemiddeld 1,1 graden. Dat is ruim twee keer zoveel als de toename van de wereldgemiddelde temperatuur in dezelfde periode.<sup>15</sup> Tussen 1901 en 2020 is de gemiddelde temperatuur in Nederland met ruim 2 graden gestegen. Niet alleen Nederland, maar heel Europa warmt sneller op dan de rest van de wereld. De winters zijn zachter geworden door meer westenwind en de lentes en zomers zijn extra opgewarmd door toename van de zonnestraling en afname van de luchtvervuiling.<sup>16</sup>

Er moet onder meer rekening gehouden worden met meer weersextremen: hittegolven, perioden met droogte en perioden met wateroverlast. Hittégolven leiden onder meer tot vroegtijdig overlijden van ouderen en mensen met een zwakke gezondheid. De sterfte tijdens hittegolven kan in de toekomst toenemen door de vergrijzing en omdat ouderen langer zelfstandig blijven wonen.

Meer warme, zonnige dagen nodigen uit tot meer buitenrecreatie en blootstelling aan de zon, wat de blootstelling aan UV-straling zal vergroten. Gedragsadviezen beogen het risico hiervan te beperken. Hogere temperaturen zullen ook leiden tot een langer pollenseizoen en dus tot meer hooikoortsklachten en daarmee samenhangend ziekteverzuim. Sommige ziekteverwekkers zijn temperatuurgevoelig, zoals *Vibrio*, en klimaatverandering lijkt te leiden tot een toename in gerelateerde ziektelast. Minder zeker zijn de gevolgen van temperatuurstijging voor het voorkomen van nieuwe ziekteverwekkers in Nederland, zoals het Westnijlvirus.

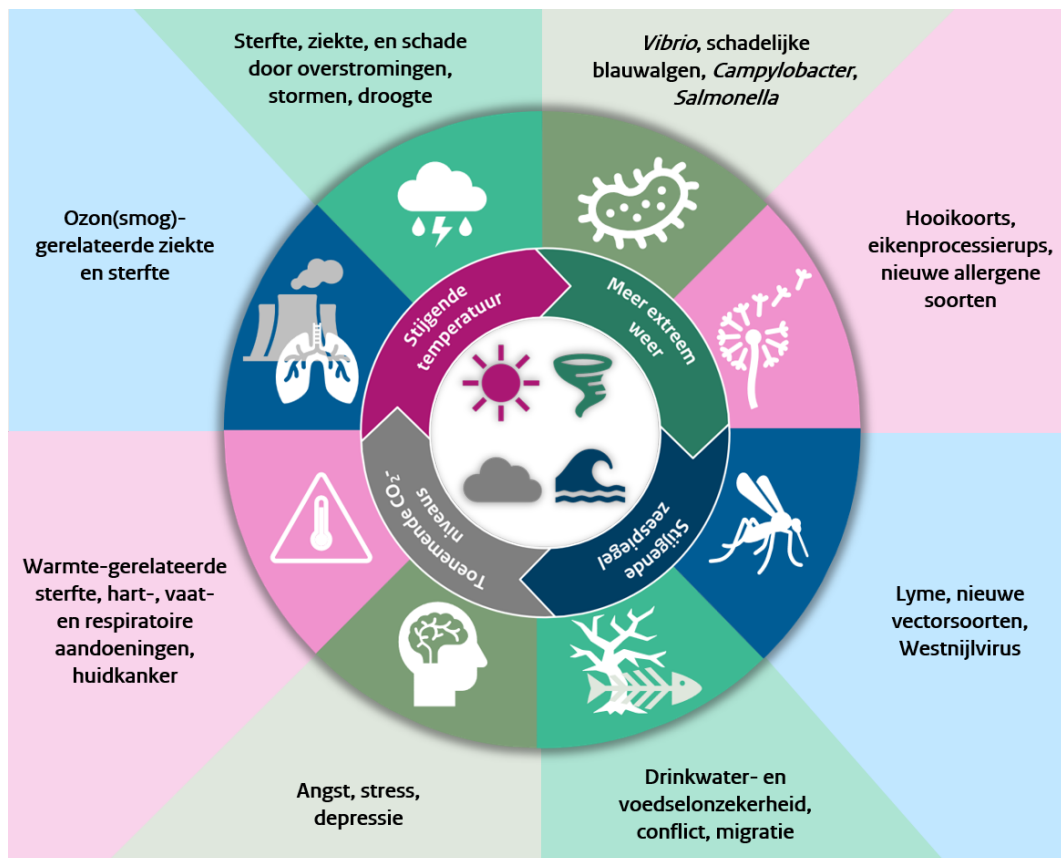
Door klimaatverandering worden maatschappelijke en economische toekomstverwachtingen onzekerder. Onduidelijk is wat de invloed van klimaatschade en klimaatbeleid zal zijn op de omvang van migratiebewegingen en op de economische ontwikkeling. Behalve de impact van extreem weer, zoals overstromingen en droogte, op de mentale gezondheid, is nog weinig bekend over de psychische gevolgen van klimaatverandering.

<sup>14</sup> Zie o.a. <https://www.metoffice.gov.uk/weather/climate-change/what-is-climate-change>

<sup>15</sup> Zie <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/nederland-warmt-ruim-2-keer-zo-snel-op-als-de-rest-van-de-wereld>

<sup>16</sup> Zie <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/nederland-warmt-ruim-2-keer-zo-snel-op-als-de-rest-van-de-wereld>

De mogelijke gezondheids- en veiligheidsrisico's van klimaatverandering zijn samengevat in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Gevolgen van klimaatverandering voor de gezondheid en veiligheid.<sup>17</sup>

De paragrafen in dit hoofdstuk gaan dieper in op de vraag wat er bekend is over de (kwantitatieve) relatie tussen klimaatverandering en gezondheid en veiligheid op basis van de beschikbare literatuur. Daarbij wordt onder meer voortgebouwd op Wuijts *et al.* (2014), de Kennisagenda klimaat en gezondheid (Huynen *et al.*, 2019) en Watts *et al.* (2018). De nadruk in de literatuur ligt op de negatieve gevolgen van klimaatverandering voor de gezondheid en veiligheid. Waar er wat over bekend is wordt in dit rapport ook aandacht besteed aan eventuele positieve effecten op de gezondheid.

Voor veel effecten worden al trends waargenomen, en kan een duiding worden gegeven van de richting waarin deze trend zich onder invloed van klimaatverandering zal voortzetten. Nog niet alle effecten kunnen (goed) gekwantificeerd worden. Belangrijke oorzaken zijn dat de huidige omvang van effecten vaak niet volledig bekend is, of dat de relaties met klimaatfactoren, of de mechanismen achter deze relaties, nog niet konden worden vastgesteld. Voor de effecten beschreven in dit hoofdstuk is een inschatting gemaakt over de zekerheid van het optreden van deze effecten. Daarnaast is een aantal effecten gekwantificeerd, in dit rapport of in de literatuur. Voor deze effecten is in dit hoofdstuk tevens een

<sup>17</sup> Aangepast naar G. Luber, Centers for Disease Control and Prevention: <https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/default.htm>

beoordeling gegeven van de waarschijnlijkheid van het berekende effect. De uitleg bij de beoordeling van de zekerheid en waarschijnlijkheid is te vinden in de tekstbox hierna.

## Zekerheids- en waarschijnlijkheidsbeoordeling

### Beoordelingscriteria

(o.b.v. <https://health2016.globalchange.gov/documenting-uncertainty>)

Voor de besproken gezondheidseffecten in dit rapport is op basis van *expert judgement* een inschatting gemaakt van de zekerheid en/of de waarschijnlijkheid van deze effecten. Zekerheid geeft aan in welke mate, op basis van de wetenschappelijke literatuur en consensus, verwacht kan worden dat het besproken effect op zal treden. Waarschijnlijkheid is alleen beoordeeld voor gekwantificeerde effecten, en geeft aan hoe waarschijnlijk het is dat de omvang van een gekwantificeerd effect binnen de gegeven onzekerheidsintervallen en/of ordegraote zal vallen.

#### Waarschijnlijkheid

Voor gekwantificeerde effecten. De waarschijnlijkheid dat het gekwantificeerde effect optreedt binnen de gegeven intervallen.

Zeër waarschijnlijk – Waarschijnlijk – Neutrale waarschijnlijkheid – Onwaarschijnlijk – Zeër onwaarschijnlijk

- **Zeër waarschijnlijk:** 90% of meer
- **Waarschijnlijk:** 67% of meer
- **Neutrale waarschijnlijkheid:** 50%
- **Onwaarschijnlijk:** 33% of minder
- **Zeër onwaarschijnlijk:** 10% of minder

#### Zekerheid van bewijs

Voor alle gezondheidseffecten.

Zeër hoog – hoog – matig – laag

- **Zeër hoog:** sterk bewijs (gevestigde theorie, meerdere bronnen, consistente resultaten, goed gedocumenteerde en geaccepteerde methoden etc.), hoge consensus.
- **Hoog:** gedeeltelijk bewijs (meerdere bronnen, deels consistente resultaten, methoden variëren en/of zijn matig gedocumenteerd etc.), redelijke consensus.
- **Matig:** suggestief bewijs (een aantal bronnen, beperkte consistentie in resultaten, modellen niet compleet, methoden in ontwikkeling (*emerging*) etc.), verschillende gevestigde denkrichtingen.
- **Laag:** geen eenduidig bewijs (beperkte bronnen, extrapolaties, inconsistente resultaten, slecht gedocumenteerde en/of niet geteste methoden etc.), onenigheid tussen experts of geen duidelijke meningen.

### 3.2 Overlijdensrisico's door temperatuurstijging

#### *Sterfte door hittegolven*

Het aantal dagen met een maximum temperatuur van 25 °C of hoger (zomerse dagen) is tussen 1907 en 2019 gestegen van 9 tot 26.<sup>18</sup> Het KNMI verwacht dat rond 2050 het aantal zomerse dagen tussen de 29 en 36 zal bedragen en rond 2085 42 à 48 bij het warmste KNMI'14-klimaatsscenario (W). Daarmee zal ook de kans op het optreden van hittegolven toenemen. Dit kan leiden tot een toename van het aantal ouderen en mensen met hart-, vaat-, en longproblemen dat vroegtijdig overlijdt tijdens hittegolven. Volgens Wuijts *et al.* (2014) overlijden gedurende een hittegolf 13% meer ouderen dan normaal, vooral vanwege de verergering van bestaande aandoeningen. De effecten van hittegolven kunnen zich extra laten gelden in steden, vanwege het hitte-eiland effect dat onder andere wordt veroorzaakt door de hoeveelheid verhard oppervlak. Dit probleem zal in de toekomst groter worden door de vergrijzing en omdat ouderen langer zelfstandig blijven wonen. Dat vraagt ook om meer aandacht van wijkverpleging en thuiszorg voor ouderen tijdens hittegolven.

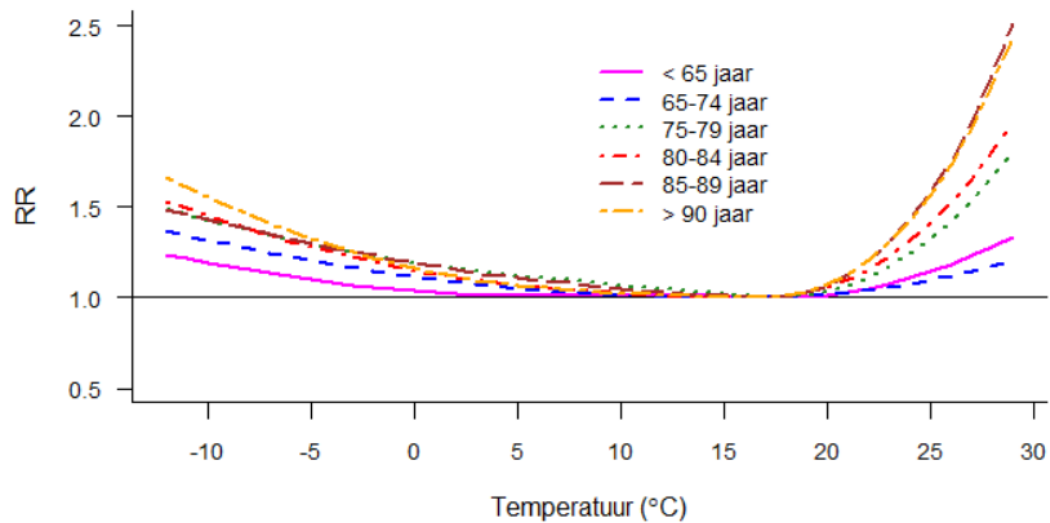
#### *Sterfte door afwijkingen van de optimale temperatuur*

Naast sterfte bij periode van extreme hitte, bestaat er ook een temperatuurgerelateerd sterfterisico dat is toe te schrijven aan afwijkingen van de 'optimale' dagtemperatuur. Daarbij gaat het om een V-vormige relatie tussen de gemiddelde dagelijkse temperatuur en sterfterisico, met een minimum tussen de 16 en de 18 graden, afhankelijk van de leeftijd, zie Figuur 3.2. Te zien is dat in Nederland de minste sterfte optreedt tussen ongeveer 10 en 20 graden. Vanaf 25 graden neemt de sterfte snel toe. Bij 30 graden is de sterfte onder 85-plussers meer dan twee keer zo groot als tussen de 10 en 20 graden.

In dit rapport wordt deze temperatuurgerelateerde sterfte berekend. Dit betekent dat niet alleen gekeken wordt naar de sterfte tijdens hittegolven (hittesterfte), maar naar alle sterfte die samenhangt met afwijkingen van de optimale dagtemperatuur (warmte- én koudesterfte), ook al zijn de overlijdensrisico's het hoogst bij extreme temperaturen (warmer dan 25 graden en kouder dan 10 graden).

<sup>18</sup> Compendium voor de Leefomgeving: temperatuurextremen in Nederland, 1907-2019  
<https://www.clo.nl/indicatoren/nl0589-temperatuur-extremen>





Figuur 3.2 Relatieve overlijdensrisico's (RR) bij verschillende temperaturen en leeftijdsklassen in Nederland (zie Bijlage 7.1 voor nadere toelichting).

#### Toelichting berekening

Voor de berekening van de temperatuur-gerelateerde sterfte is voor dit rapport gebruikgemaakt van een methode van Gasparinni *et al.* (2015; 2017; Vicedo-Cabrera *et al.*, 2019). In deze berekening is koudesterfte toe te schrijven aan temperaturen beneden de optimale temperatuur, terwijl warmtesterfte is toe te schrijven aan temperaturen boven de optimale temperatuur. Het aantal verloren levensjaren door deze warmte- en koudesterfte is voor Nederland niet bekend, maar volgens een internationale studie met data van 278 locaties in twaalf landen sterven mensen door temperatuurafwijkingen (ten opzichte van de optimale temperatuur) gemiddeld zo'n twaalf maanden eerder (Armstrong *et al.*, 2017). Wanneer dit wordt verondersteld, kan de ziektelast door sterfte in DALY's (Disability Adjusted Life Years) worden uitgedrukt, waarbij één sterfgeval overeenkomt met één DALY.

Voor deze studie zijn berekeningen gemaakt van de ontwikkeling in de koude- en warmtesterfte bij de door het KNMI verwachte ontwikkeling in de temperatuur tot 2100. Een uitgebreide beschrijving van de gebruikte methodologie staat in Bijlage 7.1. Daarbij is uitgegaan van de bevolkingstoename en vergrijzing op basis van de meest actuele demografische projecties zoals gebruikt in de Volksgezondheid-toekomstverkenning<sup>19</sup>, en bijbehorende verwachte ontwikkeling in de sterfterisico's voor zes leeftijdsklassen. Per leeftijdsklasse is het deel van het sterfterisico berekend dat is toe te schrijven aan afwijkingen van de 'optimale' dagtemperatuur.

Omdat de temperatuur van jaar tot jaar sterk kan fluctueren, vergelijkt het KNMI steeds dertigjarige perioden om klimaatverandering in beeld te brengen. In deze studie vergelijken we de huidige periode (2016-2045) met de temperatuurprojecties voor de periode 2036-2065 en 2071-2100. Dagelijkse temperatuurcijfers zijn ontleend aan het KNMI.<sup>20</sup> De bestaande temperatuurverdeling over Nederland is overal verhoogd met

<sup>19</sup> Zie <https://www.volksgezondheidtoekomstverkenning.nl/>

<sup>20</sup> Zie [http://www.klimaatsscenario's.nl/toekomstig\\_weer/transformatie/index.html](http://www.klimaatsscenario's.nl/toekomstig_weer/transformatie/index.html)

de temperatuurstijging die het KNMI voor De Bilt verwacht. De bevolkingsspreiding is voor de toekomst gelijk gehouden, dus er is geen rekening gehouden met verdere verstedelijking en toename van het aandeel van de mensen die te maken krijgen met hitte-eilanden. De effecten van het treffen van stedelijke adaptatiemaatregelen zijn ook niet meegenomen. De huidige relatie tussen temperatuur en sterfte is in de toekomst gelijk gehouden, dus fysiologische gewenning of aanpassingen in het blootstellingsgedrag zijn niet verondersteld. De feitelijke sterfte kan dus hoger of lager liggen dan de uitkomsten van de gemaakte berekeningen.

#### *Resultaten van de berekening*

De resultaten betreffen de gemiddelde oversterfte op dagen met een gemiddelde temperatuur hoger of lager dan de optimale dagtemperatuur in de huidige periode 2016-2045 (rond 2030 = referentieperiode), de periode 2036-2065 (rond 2050) en de periode 2071-2100 (rond 2085). In Tabel 3.1 wordt aangegeven wat de ziektelast is in DALY's per KNMI'14-klimaatscenario over de desbetreffende periodes. De berekende ziektelast voor de referentieperiode wordt in blauw weergegeven (rij 1). De berekende ziektelast voor de KNMI'14-klimaatscenario's G<sub>L</sub>-G<sub>H</sub> en W<sub>L</sub>-W<sub>H</sub> rond 2050 en 2085 wordt in groen weergegeven (rij 3, 4, 6, 7).

In de tabel is voor 2050 en 2085 ook weergegeven wat de uitkomsten zouden zijn op basis van alleen de demografische ontwikkeling zonder verdere klimaatverandering (de rood-gedrukte gegevens in rij 2 en 5). Voor 2050 wordt gerekend met de bevolking van 2050 en het KNMI'14-klimaatscenario voor de referentieperiode (2016-2045); voor 2085 wordt gerekend met de bevolking van 2060 (demografische projecties verder in de toekomst bestaan nog niet) met hetzelfde KNMI'14-klimaatscenario: 2016-2045.

#### *Warmte- en koudesterfte huidige periode*

In de referentieperiode (2016-2045) is de berekende warmtesterfte ongeveer 1350 personen, en de koudesterfte ongeveer 5700 (Tabel 3.1, rij 1). De berekende warmtesterfte is hoger dan het CBS rapporteert, omdat het CBS alleen kijkt naar de oversterfte gedurende hittegolven. Deze hittesterteft bedraagt ongeveer 25% van de totale oversterfte op dagen die warmer zijn dan circa 17 graden. Ongeveer 80% van de warmtesterfte betreft mensen ouder dan 80 jaar (zie Bijlage 7.1).

#### *Warmte- en koudesterfte door bevolkingstoename en vergrijzing*

Deze berekeningen laten zien dat ook zonder verdere klimaatverandering de oversterfte zal toenemen op dagen met warmere of koudere temperaturen. Rond 2050 worden alleen al vanwege bevolkingstoename en vergrijzing 2306 sterfgevallen door warm weer verwacht en rond 2085: 2382 per jaar (Tabel 3.1, rij 2 en 5).

Tabel 3.1 Verwachte ontwikkeling in de ziektelast door warmte- en koudesterfte (aantallen DALY<sup>21</sup>, waarbij één sterfgeval overeenkomt met één DALY)

	Jaar	Demografie scenario	KNMI'14-scenario	Omschrijving	Warmtesterfte (DALY's/jaar)	Koudesterfte (DALY's/jaar)
1	2016-2045	2020	2030	huidig klimaat, huidige bevolking	1350	5725
2	Rond 2050	2050	2030	huidig klimaat, bevolking 2050	2306	8316
3	Rond 2050	2050	G <sub>L</sub> -G <sub>H</sub>	met klimaatbeleid, bevolking 2050	2712-3202	7931-7326
4	Rond 2050	2050	W <sub>L</sub> -W <sub>H</sub>	zonder klimaatbeleid, bevolking 2050	3730-4614	6583-6120
5	Rond 2085	2060	2030	huidig klimaat, bevolking 2060	2382	8193
6	Rond 2085	2060	G <sub>L</sub> -G <sub>H</sub>	met klimaatbeleid, bevolking 2060	3162-3846	7352-6738
7	Rond 2085	2060	W <sub>L</sub> -W <sub>H</sub>	zonder klimaatbeleid, bevolking 2060	6618-7907	5163-4617

#### Effecten van klimaatbeleid op warmte- en koudesterfte

Onder het scenario zonder klimaatbeleid met sterke temperatuurstijging (het W-klimaatscenario) zal de warmtesterfte rond 2050 60-100% hoger uitkomen dan wanneer geen temperatuurstijging zou zijn opgetreden (Tabel 3.1, rij 4). Rond 2085 zal dat verschil oplopen tot 175-230% (Tabel 3.1, rij 7). Bij het scenario met voorgenomen klimaatbeleid (het G-klimaatscenario) zal de warmtesterfte rond 2050 20-40% hoger uitkomen dan wanneer geen temperatuurstijging zou zijn opgetreden (Tabel 3.1, rij 3); rond 2085 zal het verschil 30-60% zijn (Tabel 3.1, rij 6).

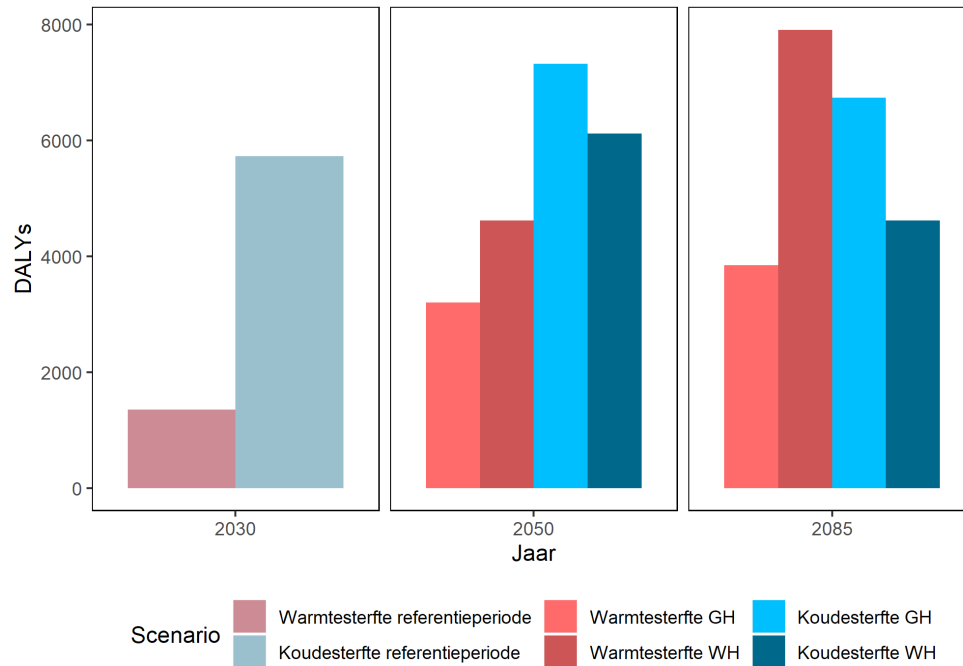
Bij het voorgenomen klimaatbeleid (het G-klimaatscenario) zal de jaarlijkse warmtesterfte rond 2050 1000-1400 DALY's lager uitkomen dan zonder klimaatbeleid (Tabel 3.1, rij 3). Rond 2085 zal het verschil tussen voorgenomen klimaatbeleid en geen klimaatbeleid opgelopen zijn tot 3500-4000 DALY's (Tabel 3.1, rij 6). Wel moet bedacht worden dat bij het voeren van klimaatbeleid de koudesterfte rond 2085 ruim 2000 gevallen lager zou uitvallen dan zonder klimaatbeleid.

In de tweede helft van deze eeuw zal zonder klimaatbeleid de ziektelast door warmere temperaturen geleidelijk groter wordt dan de ziektelast door koudere temperaturen. In de komende decennia blijft ook met het voorgenomen klimaatbeleid de ziektelast door koudere temperaturen domineren, zie Figuur 3.3.

Vooraf in de periode rond 2085 levert klimaatbeleid gezondheidswinst op. Rond 2085 zal in het scenario met klimaatbeleid de warmtesterfte aanzienlijk lager zijn dan in het scenario zonder klimaatbeleid. Deze gezondheidswinst zal dan het verschil in koudesterfte tussen de twee

<sup>21</sup> DALY = Disability Adjusted Life Years; het totaal van de verloren levensjaren in Nederland, plus het aantal jaren doorgebracht met ziekte, waarbij de ziektejaren gewogen zijn met ernst van de ziekte.

scenario's overtreffen (zonder klimaatbeleid neemt de koudesterfte meer af).



Figuur 3.3 Ziektelast in DALY's van temperatuurgerelateerde sterfte bij KNMI'14-klimaatscenario's: rond 2030 (referentieperiode), 2050 ( $G_H$  en  $W_H$ ) en 2085 ( $G_H$  en  $W_H$ ).

De uitkomsten zijn vergelijkbaar met de resultaten voor omliggende landen (Gasparrini *et al.*, 2017) en eerdere berekeningen van Botzen *et al.* (2020) en Huynen en Martens (2015). Huynen en Martens (2015) berekenden bij vergrijzing vooral meer koudesterfte dan in de RIVM-berekeningen. De verklaring van de verschillen vergt nader onderzoek.

Onduidelijk is wat precies de oorzaak is van verhoogde sterfte tijdens koude perioden. Huynen *et al.* (2001) vinden een relatie tussen koudere temperaturen en zowel cardiovasculaire als respiratoire mortaliteit. Infectiegevoeligheid neemt toe, doordat koude de weerstand van de slijmvliezen van de luchtwegen doet afnemen (Keatinge, 2002). Wat ook een rol kan spelen is dat mensen meer tijd met elkaar binnen doorbrengen, wellicht met onvoldoende ventilatie. Het is nog onduidelijk wat effectieve adaptatiemaatregelen zijn tegen koudesterfte. Nader onderzoek is ook nodig naar de effectiviteit van adaptatiemaatregelen die de specifieke sterfte en ziekte tijdens hittegolven beogen te verminderen.

**Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Zonder klimaatbeleid zal het aantal warmtegerelateerde sterfgevallen met enkele duizenden toenemen [**zeer waarschijnlijk, zeer hoge zekerheid**].

**Onderbouwing**

Kwantificering o.b.v. bekende en breed ingezette methode en beste beschikbare gegevens, effect is wereldwijd geobserveerd en projecties gaan dezelfde kant op.

**Waarschijnlijkheid/zekerheid**

De geprojecteerde toename in warmte sterfte kan rond 2085 zonder klimaatbeleid hoger zijn dan de afname in koudesterfte [**neutrale waarschijnlijkheid, hoge zekerheid**].

**Onderbouwing**

Gebaseerd op goede berekeningen, deze ontwikkeling komt in meerdere onderzoeken terug, maar zal voor een belangrijk deel afhangen van het effect van adaptatie (dus lagere waarschijnlijkheid).

*Ziekte door opwarming*

Bovenstaande berekeningen omvatten maar een deel van de gezondheidseffecten van opwarming. Er is alleen gekeken naar vroegtijdige sterfte en niet naar het optreden van ziekte en verlies aan welbevinden. Het is onbekend hoe hoog deze ziektelast is. Wel weten we dat vooral tijdens hittegolven zware inspanning tijdens de warmste momenten van de dag kan leiden tot hoofdpijn, duizeligheid en snellere uitputting en in sommige gevallen tot een hitteflauwte of een zonnesteek (De Meer *et al.*, 2012). Vooral ouderen en mensen met hartproblemen zijn hiervoor gevoelig, maar ook bij pasgeboren kinderen is de thermoregulatie van het lichaam soms onvoldoende.

De kans op zulke gezondheidsklachten is groter in stedelijke gebieden met veel verharding waar de temperatuur extra is verhoogd (de zogenaamde hitte-eilanden). Een hoge nachttemperatuur kan leiden tot slaapverstoring en vermoeidheid door onvoldoende nachtrust. Dat kan leiden tot een verminderde alertheid op school, werk of in het verkeer, een lagere productiviteit en toenemende prikkelbaarheid (De Meer *et al.*, 2012).

Arbeidsproductiviteit en leervermogen liggen tijdens hittegolven meestal lager dan gemiddeld, deels als gevolg van minder nachtrust zoals hierboven beschreven, meer geluidsoverlast en oplopende irritaties. Voor bepaalde beroepen is de kans op hittestress groter.<sup>22</sup> Ziekteverzuim is één van de factoren die van invloed is op de arbeidsproductiviteit. Ziekteverzuim tijdens hittegolven hangt ook samen met de slechte luchtkwaliteit die tijdens hittegolven op kan treden (Dechezleprêtre *et al.*, 2019).

Omdat het bij hittegolven veelal gaat om extreme situaties is de kans op fysiologische gewenning gering. Het gaat zowel om de hitte overdag,

<sup>22</sup> Zie <https://magazines.arboportaal.nl/arbomagazine/2019/06/meer-hulp-instrumenten-links-documenten-die-helpen-bij-werken-in-extreme-temperaturen>

maar vooral het gebrek aan afkoeling 's nachts. De nachttemperatuur neemt meer toe dan de dagtemperatuur, en dat zorgt ervoor dat het lichaam niet kan herstellen van de hittestress van de dag, waardoor een cumulatief effect ontstaat.<sup>23</sup> Aan de geleidelijke stijging van de gemiddelde dagtemperatuur zullen mensen waarschijnlijk wel geleidelijk hun leefstijl kunnen aanpassen.

### 3.3 Sterfte door ozon(smog)

De oversterfte van ouderen en mensen met longaandoeningen tijdens hittegolven wordt mede veroorzaakt door de slechtere luchtkwaliteit op zulke dagen. Hittegolven vallen vaak samen met smogepisodes. Enerzijds komt dit omdat bij hittegolven overwegend sprake is van oostenwind, waarmee fijnstof wordt aangevoerd vanuit het buitenland. Anderzijds wordt onder invloed van zonlicht op leefniveau ozon gevormd uit de in de lucht aanwezige stikstofoxiden, koolmonoxide en koolwaterstoffen. Door luchtvervuiling kunnen luchtwegklachten en hart- en vaatziekten ontstaan en verergeren (Gezondheidsraad, 2018).

Het optreden van ozonepisoden is alleen te voorkomen door de aanwezigheid van ozonvormende stoffen in de lucht structureel en internationaal te verminderen. Wanneer zich eenmaal een ozonepisode voor doet, is het treffen van lokale maatregelen, zoals het verminderen van het autoverkeer, niet meer effectief. Dan helpt het alleen om gevoelige groepen te adviseren af te zien van fysieke inspanningen of binnen te blijven.

De afgelopen decennia is in Europa en Noord-Amerika succesvol beleid gevoerd om het ontstaan van ozonepisoden te voorkomen door de aanwezigheid van ozonvormende stoffen te verminderen. Zo zijn er bijvoorbeeld strengere emissie-eisen gesteld aan voertuigen en is het gebruik van oplosmiddelen in verf en cosmetica verboden. In Nederland kwamen door dit beleid de afgelopen jaren aanzienlijk minder dagen voor met overschrijdingen van de waarschuwingdrempel van 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan in 1989. In 1989 ging het om 50 dagen met een overschrijding. Tijdens de hete zomers van 2018 en 2019 was er lokaal gedurende enkele dagen sprake van een overschrijding. Tijdens de langdurige hittegolf van 2020 ging het in Zuid-Nederland om circa 20 dagen.

De jaargemiddelde ozonconcentraties zijn niet afgenomen en blijven in Europa schommelen rond de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De oorzaak is dat de achtergrondconcentratie op het hele noordelijk halfrond toeneemt als gevolg van de stijgende emissies van methaan en stikstofoxiden in Azië en van de zeescheepvaart. Terwijl piekconcentraties vooral veroorzaakt worden door bronnen binnen Europa, wordt de gemiddelde blootstelling in Europa steeds meer bepaald door bronnen daarbuiten.

Tussen ozon op leefniveau en klimaatverandering bestaat een wederzijdse relatie: ozon werkt als een broeikasgas en hogere temperaturen leiden tot meer lokale emissies van biogene koolwaterstoffen (zoals isoprenen en terpenen), van stikstofoxiden uit de bodem, en van koolmonoxide door bosbranden. Lokale ozonpieken kunnen hierdoor met circa 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  toenemen (Van Pul *et al.*, 2011).

<sup>23</sup> Zie <https://www.who.int/globalchange/publications/heat-and-health/en/>

Ozon tast de bladeren van bomen en andere vegetatie aan, zodat minder CO<sub>2</sub> wordt opgeslagen, wat de klimaatverandering versterkt (Felzer, 2020). Maar toenemende CO<sub>2</sub>-concentraties kunnen de vorming van isoprenen en terpenen ook afremmen (Royal Society, 2008). Daarnaast speelt nog mee dat droogte de opname van ozon door vegetatie afremt.

Terugdringen van het gebruik van fossiele energiebronnen om klimaatverandering te beperken zal ook de emissie van ozonvormende stoffen zoals methaan, beperken. Die stoffen komen namelijk vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Zonder klimaatbeleid zou de gemiddelde ozonconcentratie in Europa in 2100 maximaal 4 µg/m<sup>3</sup> hoger kunnen uitkomen dan nu (Doherty *et al.*, 2013). Door Europees luchtbeleid, gericht op beperking van de emissies van stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen, zou die stijging beperkt kunnen worden tot 2 µg/m<sup>3</sup>. Bij uitvoering van de klimaatafspraken in het Akkoord van Parijs zal – in combinatie met uitvoering van het luchtbeleid – vooral na 2050 een daling met 3 µg/m<sup>3</sup> kunnen optreden (Maas & Grennfelt, 2016). Effectief ozonbeleid vergt dus een internationale aanpak en afstemming met het klimaatmitigatiebeleid (Thambiran & Diab, 2011).

Op dit moment wordt geschat dat jaarlijks circa 1000 mensen vroegtijdig overlijden tijdens ozonepisoden. De overlap met de eerdergenoemde 1350 vroegtijdige overlijdens door warmte is onbekend. Orru *et al.* (2019) verwachten voor Nederland tussen nu en 2050 een lichte toename van de oversterfte door ozon met ruim 1,5%. Dat is grotendeels het gevolg van vergrijzing en extra ozonvorming tijdens warme dagen (+8,5%), dat deels gecompenseerd wordt door het huidige luchtbeleid (-7%). Per saldo verandert het aantal gevallen van sterfte tijdens smogepisoden amper. Met ambitieus klimaatbeleid zou de ozonsterfte in 2050 ongeveer 50 sterfgevallen lager kunnen uitvallen.

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Zomerse weersomstandigheden leiden vaker tot de vorming van ozonsmog [**zeer hoge zekerheid**].  
Verbeteringen in luchtkwaliteit door het voorgenomen klimaatbeleid zijn mogelijk niet voldoende om dit effect te compenseren [**hoge zekerheid**].  
Dit kan leiden tot een lichte toename in ozongerelateerde sterfgevallen [**waarschijnlijk, hoge zekerheid**].

#### **Onderbouwing**

Dit is een waargenomen verandering, en de verwachtingen zijn hier eenduidig over.  
Hier is consensus over maar het bewijs specifiek voor NL is beperkt en het effect is waarschijnlijk klein (Orru *et al.*, 2019).

### **3.4 Huidkanker door UV-blootstelling**

Huidkanker is het belangrijkste negatieve gezondheidseffect van blootstelling aan UV-straling. Daarnaast kan UV-blootstelling onder andere leiden tot oogaandoeningen zoals staar, en onderdrukking van het immuunsysteem (Slaper *et al.*, 2017). De intensiteit van UV-straling hangt sterk af van de dikte van de ozonlaag en de bewolking (dikte en bedekkingsgraad). Beide kunnen beïnvloed worden door

klimaatverandering. Door aantasting van de ozonlaag is de jaarlijkse hoeveelheid beschikbare UV-straling in Nederland nu ongeveer 10% hoger dan begin jaren tachtig van de vorige eeuw.<sup>24</sup> Verwacht wordt dat door de wereldwijd afgesproken maatregelen ter bescherming van de ozonlaag, de mondiale ozonlaag langzaam zal herstellen en daarmee zullen de UV-stralingsniveaus lager worden (Bais *et al.*, 2018). Door klimaatverandering zal de tropopauze blijvend veranderen, waardoor de ozonlaag niet meer naar de oorspronkelijke dikte zal terugkeren, hoe goed ook het Montreal Protocol zal worden nageleefd. Ook kan door klimaatverandering de mate van herstel van de ozonlaag regionaal verschillen. Door de toename van de CO<sub>2</sub>- en methaanconcentraties herstelt de ozonlaag zich sneller op gematigde breedtegraden (WMO, 2018).

In de KNMI'14- klimaatscenario's wordt een kleine, maar beduidende afname van de bewolking in Nederland in de zomer berekend in het W<sub>H</sub>-scenario (en in mindere mate in het G<sub>H</sub>-scenario). Deze afname van de bewolking in de zomer doet de verminderde blootstelling aan UV-straling door het herstel van de ozonlaag deels teniet (KNMI, 2015).

De relatie tussen meer zonnige en warme dagen en daadwerkelijke UV-blootstelling is complex. In regio's waar het al heet is leiden hogere temperaturen juist tot minder tijd buiten, maar in koelere landen (zoals Nederland) leiden hogere temperaturen juist tot meer tijd buiten (EEAP, 2019). Dit door klimaatverandering uitgelokte gedragseffect speelt een belangrijke rol bij de berekening van de toekomstige ziektelast door UV-blootstelling. Het aantal zomerse dagen, met temperaturen tussen de 25 en 30 graden, lijkt belangrijk voor de blootstelling. Dan dragen mensen minder kleren waardoor meer huidoppervlak wordt blootgesteld en is het niet zo warm dat ze minder buiten zijn (Schmalwieser *et al.*, 2019).

Het KNMI heeft waargenomen dat het aantal zomerse dagen in Nederland in de afgelopen eeuw is verdubbeld. Het aantal zomerse dagen zal bij opwarming verder oplopen, van 21 dagen rond 1995 tot 26-28 dagen rond 2050 bij voorgenomen beleid (KNMI'14-klimaatscenario's G<sub>L</sub>-G<sub>H</sub>) en 29-36 dagen ingeval er geen klimaatbeleid zou zijn (KNMI'14-klimaatscenario's W<sub>L</sub>-W<sub>H</sub>). Aan het eind van de eeuw zouden dat respectievelijk 27-32 en 42-48 zomerse dagen zijn, zie Tabel 2.2

### **Relatie UV-straling en gezondheid**

De gevaarlijkste vorm van huidkanker is het melanoom. De International Agency for Research on Cancer (IARC) heeft uitgerekend dat 91,5% van de incidentie van melanoom in Nederland wordt veroorzaakt door UV-blootstelling (hoofdzakelijk van de zon), op basis van de melanoom incidentiecijfers van 2012.<sup>25</sup> Ongeveer een derde van de incidentie van staar hangt samen met UV-blootstelling in Nederland (Slaper *et al.*, 2017). Het Integraal Kankercentrum Nederland rapporteerde in 2017 bijna 70.000 nieuwe huidkankerpatiënten per jaar waarvan circa 6.200 melanoompatiënten (Schreuder *et al.*, 2019). De jaarlijkse sterfte aan melanoom steeg over de jaren naar ongeveer 4,6 per 100.000 volwassenen, maar is vanaf 2010 min of meer stabiel, met een mortaliteit

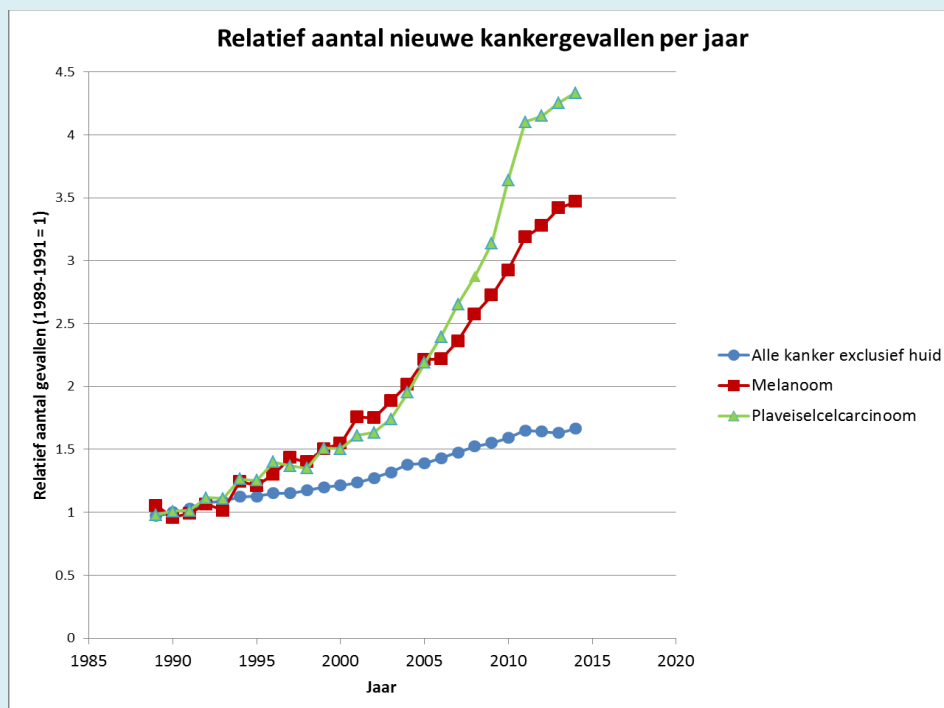
<sup>24</sup> Zie <https://www.rivm.nl/uv-ozonlaag-en-klimaat/historische-trends>

<sup>25</sup> Zie <https://gco.iarc.fr/causes/uv/tools-map>



van zo'n 800 patiënten per jaar. De sterfte aan niet-melanoom huidkankers is relatief laag, in totaal ongeveer 100 sterfgevallen per jaar (Schreuder *et al.*, 2019).

Sinds 1990 is het aantal nieuwe gevallen van de drie meest voorkomende soorten van huidkanker in Nederland ongeveer verviervoudigd (Slaper *et al.*, 2017), zie Figuur 3.4. Demografische ontwikkelingen (vergrijzing) nemen hiervan de helft voor hun rekening, veranderingen in de intensiteit van UV-straling maar een zeer klein deel. De waargenomen toename is dus veel sneller dan werd verwacht: een factor 2 is nog onverklaard en heeft deels te maken met het gedrag dat tot veel meer blootstelling heeft geleid. De incidentie in Nederland van het melanoom behoort tot de hoogste van Europa (Slaper *et al.*, 2017). Melanoom komt vaker voor bij vrouwen dan bij mannen. Ten opzichte van 30 jaar geleden is het aantal nieuwe gevallen van melanoom per jaar voor mannen bijna verviervoudigd en voor vrouwen bijna verdrievoudigd.<sup>26</sup>



Figuur 3.4 Relatieve toename van het aantal nieuwe gevallen per jaar voor de twee landelijk geregistreeerde typen huidkanker (melanoom en plaveiselcelcarcinoom) en voor alle andere geregistreeerde kankertypen. Toename is ten opzichte van 1989-1991. Gegevens afkomstig van de Nederlandse Kankerregistratie, beheerd door IKNL (januari 2016). Bron: Slaper *et al.*, 2017

Blootstelling aan UV-straling heeft ook positieve effecten op de gezondheid en is de voornaamste bron van vitamine-D. Deze vitamine is nodig voor gezonde botten en spieren en er zijn aanwijzingen dat het ook bijdraagt aan een gezond immuunsysteem (Aranow, 2011). De mogelijke positieve gezondheidseffecten van de door klimaatverandering toegenomen blootstelling aan UV-straling zijn in deze studie niet gekwantificeerd.

<sup>26</sup> Zie <https://www.volksgezondheidenzorg.info/onderwerp/huidkanker/cijfers-context/trends>

In de VTV 2018 (RIVM, 2018a) wordt aan huidkanker een jaarlijkse ziektelast van 19.000 DALY's toegerekend (RIVM, 2018b). RIVM-extrapolaties (op basis van modellering met een gelijkblijvend klimaat) resulteren er in dat de incidentie van huidkanker in 2050 140% hoger zal liggen dan in 2015, ofwel een factor 5,4 hoger dan in 1990 (Slaper & Van Dijk, persoonlijke mededeling). Die stijging kan voor 60% worden verklaard uit demografische ontwikkelingen (RIVM, 2018a) en voor 10% uit toename van de UV-straling. De resterende 30% hangt samen met overige factoren, waaronder veranderingen in het gedrag.

De relatie tussen gedrag en klimaat blijft onzeker. In dit rapport veronderstellen we dat de (extra) tijd die men in de zon doorbrengt en de daarmee samenhangende UV-blootstelling gelijk opgaat met (de toename in) het aantal zomerse dagen. Het is nog onduidelijk in welke mate Nederlanders hun gedrag aan deze warmere en zonnigere zomers zullen gaan aanpassen door het opzoeken van schaduw of door binnen te blijven. Met zulke adaptatiemaatregelen houden we geen rekening. Door de blootstelling aan UV-straling te koppelen aan het verwachte aantal zomerse dagen in de klimaatscenario's, bepalen we in welke mate klimaatbeleid van invloed is op de UV-blootstelling en de daarmee verbonden ziektelast.

Daarbij houden we geen rekening met het effect van voorlichtingscampagnes om minder onbeschermd in de zon te verblijven. We veronderstellen daarbij een lineair verband, en onderschatten daarmee mogelijk de effecten, omdat bijvoorbeeld de dosis-effectrelatie voor plaveiselcelkanker sterk niet-lineair is (zie Figuur 3.4). Bovendien zullen meer zonnige en warme dagen, en bijgevolg meer blootstelling aan de zon, niet direct doorwerken in de huidkankerincidentie, omdat er tientallen jaren overheen kunnen gaan voordat huidkanker zich manifesteert.

Onder deze veronderstellingen zou rond 2050, in het scenario zonder klimaatbeleid, de jaarlijkse ziektelast door huidkanker toegenomen kunnen zijn tot ruim 45.000 DALY's voor scenario  $W_H$ , waarbij de stijging voor circa 18.600 DALY's is toe te rekenen aan demografische ontwikkelingen en toename van de zonkracht, en voor bijna 8000 DALY's aan meer buiten zijn als gevolg van het optreden van meer zomerse dagen. In het scenario met klimaatbeleid zou de stijging als gevolg van meer zomerse dagen en meer blootstelling aan de zon dan in 2050 beperkt blijven tot ruim 6000 DALY's voor scenario  $G_H$ . In het scenario zonder klimaatbeleid (scenario  $W_H$ ) zou op basis van de toename van het aantal zomerse dagen aan het einde van de eeuw circa 10.000 DALY's kunnen worden toegeschreven aan meer zomerse dagen. In het scenario met voorgenomen klimaatbeleid (scenario  $G_H$ ) zou dat 7000 DALY's zijn. Dit alles onder de veronderstelling dat toenemende blootstelling aan de zon gelijk op zal gaan met de toename van het aantal zomerse dagen.

**Waarschijnlijkheid/zekerheid**

De verwachte toename in het aantal zomerse dagen zou, afhankelijk van veranderingen in recreatie- en adaptatiegedrag<sup>27</sup>, kunnen leiden tot een toename in de incidentie van UV-gerelateerde huidkanker [**neutrale waarschijnlijkheid, lage zekerheid**].

**Onderbouwing**

De projecties zijn in lijn met de geobserveerde trend maar de rol van klimaatverandering is onbekend en het effect van gedrag is erg onzeker.

**3.5 Allergieën en irritatieklachten**

Van de allergische aandoeningen komt hooikoorts het vaakst voor. Daarnaast zijn er diverse insecten die een allergische reactie of (huid)irritatie kunnen veroorzaken, zoals de eikenprocessierups. Klimaatverandering heeft op verschillende manieren een negatieve invloed op allergische aandoeningen. Zowel planten als insecten zijn onderhevig aan veranderingen in temperatuur en vochtigheid en zullen daarom veranderen van leefgebied. Hierdoor verandert de blootstelling aan de allergenen die deze planten en insecten produceren. Binnenshuis zijn veel mensen allergisch voor allergenen van onder andere huisstofmijten en schimmels. De blootstelling aan deze allergenen hangt af van bijvoorbeeld temperatuur en vochtigheid binnenshuis. Ook deze factoren worden beïnvloed door klimaatverandering.

*Allergische rhinitis*

Allergische rhinitis is een ontsteking van het neusslijmvlies door een overgevoeligheid voor allergenen, en wordt voornamelijk veroorzaakt door blootstelling aan boom- en graspollen, huisstofmijt, schimmels en huisdieren. De prevalentie van allergische rhinitis ligt naar schatting tussen de 23 en 30% van de Nederlandse bevolking (NHG, 2018). Allergische rhinitis is een risicofactor voor het ontwikkelen van astma en ongeveer 40% van de patiënten met een allergische rhinitis heeft ook astma (NHG, 2018). Naast deze directe gezondheidseffecten kan allergische rhinitis leiden tot een slechtere nachtrust, concentratieproblemen en slechter functioneren. Dit kan leiden tot ziekteverzuim en verlies van arbeidsproductiviteit (Hellgren *et al.*, 2010; De la Hoz Caballer *et al.*, 2013) en verslechterde schoolprestaties (Walker *et al.*, 2007, Blaiss *et al.*, 2018).

*Hooikoorts*

In het geval van hooikoorts – allergische rhinitis door blootstelling aan pollen – heeft ruim 20% van de Nederlanders gedurende een periode van een aantal jaren in hun leven lichte tot ernstige klachten.<sup>28</sup> Deze klachten ontstaan als pollen waarvoor men gevoelig is in de lucht voorkomen. In 2018 gebruikten 7,5% van de Nederlandse bevolking medicatie tegen hooikoorts en overige allergieën (antihistaminica), die vergoed werd uit de basisverzekering voor geneeskundige zorg (CBS, 2018). Omgerekend zijn dit rond de 1,3 miljoen mensen die voorgeschreven medicatie (antihistaminica) gebruiken voor deze klachten. Dit is waarschijnlijk een onderschatting van het totale

<sup>27</sup> Zie bijvoorbeeld <https://www.kwf.nl/standpunten/smeren-kleren-weren>

<sup>28</sup> Zie <https://www.lumc.nl/org/longziekten/patientenzorg/pollen-en-hooikoorts/>

antihistaminicagebruik. Veel patiënten behandelen allergieklachten zelf met vrij verkrijgbare geneesmiddelen (NHG, 2018).

Cijfers van ziekteverzuimkosten vanwege hooikoorts zijn beperkt beschikbaar. Hooikoorts heeft wel invloed op arbeidsproductiviteit en ziekteverzuim (Hellgren *et al.*, 2010; De la Hoz Caballer *et al.*, 2013) maar het is nog lastig hier directe cijfers aan te koppelen. Onderzoek naar graspollenallergie in enkele Europese landen (waaronder Nederland) vond gemiddeld bijna vier uur ziekteverzuim per patiënt tijdens het pollenseizoen (Bachert *et al.*, 2007).

#### *Langer pollenseizoen en toenemende pollenconcentraties*

De verwachting is dat het pollenseizoen door de stijging van de gemiddelde jaartemperatuur langer wordt. Zowel hogere temperaturen als hogere concentraties van CO<sub>2</sub> in de lucht kunnen leiden tot een hogere pollenproductie door planten en kunnen mogelijk de allergeniciteit van de pollen versterken (Ziska *et al.*, 2019; Barnes, 2018; De Weger & Hiemstra, 2009). Door deze factoren kunnen de klachten heviger zijn. Een recente analyse van langetermijntrends in pollenconcentraties en de duur van het pollenseizoen op het noordelijk halfrond vond een verband tussen veranderingen in de maximum- en/of minimumtemperaturen, geassocieerd met klimaatverandering, en toenemende pollenconcentraties en een langer pollenseizoen (Ziska *et al.*, 2019). Hierdoor worden de perioden dat de verschillende pollensoorten in de lucht voorkomen langer en kunnen klachten over een langere periode optreden.

Sapkota *et al.* (2019) hebben voor de VS onderzocht of er een verband is tussen het voorkomen (de prevalentie) van hooikoorts onder Amerikaanse volwassenen en een verandering in het groei- en bloeiseizoen (plantfenologie), die in verband wordt gebracht met klimaatverandering en klimaatvariabiliteit. Zij vonden een associatie tussen een hogere prevalentie van hooikoorts en zowel een heel vroeg begin van het voorjaar (> 3 weken vroeger dan het langetermijngemiddelde) als een heel laat begin van het voorjaar (> 3 weken later dan het langetermijngemiddelde). Een vroeg begin van het voorjaar wordt in verband gebracht met een langere blootstelling aan pollen. Bij een laat begin van het voorjaar komen meer planten in een kortere periode tot bloei, met een sterke piek in pollenconcentraties als gevolg (Sapkota *et al.*, 2019).

#### *Nieuwe allergene soorten*

Daarnaast is er nog een ander fenomeen dat de periode van allergene pollen in de lucht kan verlengen. Omdat de gemiddelde temperatuur in Nederland stijgt, breidt het leefgebied van diverse warmteminnende zuidelijke boom- en plantensoorten zich uit naar het noorden. Hierdoor krijgen wij te maken met nieuwe soorten die allergene pollen produceren, zoals de olijfboom of de *Ambrosia*-plant. Omdat *Ambrosia* pas gaat bloeien als de inheemse allergene pollen uit de lucht verdwenen zijn, zal vestiging van deze soort het allergene pollenseizoen verlengen (De Weger *et al.*, 2009).

### *Ambrosia*

Lake *et al.* (2017) hebben gekeken naar de verandering van *Ambrosia* onder invloed van klimaatverandering volgens twee IPCC-scenario's (RCP4.5 en RCP8.5) en de verwachte gezondheidsrisico's. De verwachting is dat *Ambrosia* gaat uitbreiden in Europa en dat bijna twee keer zoveel mensen gevoelig zullen worden voor deze pollen in 2041-2060 bij IPCC-scenario RCP4.5. Met name in gebieden waar *Ambrosia* nu nog niet veel voorkomt. Dit komt neer op 77 miljoen Europeanen (in zowel EU- als niet-EU-landen) met hooikoortsklachten, waar nu 33 miljoen mensen klachten hebben. Voor Nederland hebben de onderzoekers berekend dat waar nu circa 2,2 miljoen mensen volgens hun modellen gevoelig zijn voor *Ambrosia*-pollen, dit aantal in 2041-2060 zal oplopen tot 3,5 miljoen (Lake *et al.*, 2017). Hierbij is rekening gehouden met ontwikkelingen van de bevolkingsomvang. Zij verwachten dat in de toekomst de voor *Ambrosia*-pollen gevoelige mensen hevigere hooikoortsklachten zullen ervaren vanwege zowel de toegenomen concentraties *Ambrosia*-pollen als de langere duur van het *Ambrosia*-pollenseizoen. Het seizoen kan daarbij tot aan oktober reiken in veel Europese landen. In hun studie, schatten Hamaoui-Laguel *et al.* (2015) dat de concentraties *Ambrosia*-pollen in de Europese lucht in 2050 vier keer hoger zullen zijn door onder andere klimaatverandering en verandering in landgebruik.

Een recentere schatting van het aantal mensen in Nederland dat een gevoeligheid voor *Ambrosia*-pollen heeft die klinisch relevant is (dat wil zeggen die zich uit in symptomen) pakte lager uit (Schaffner *et al.*, 2020). De onderzoekers schatten dat 558.000 mensen in Nederland (circa 3%) een klinisch relevante gevoeligheid voor *Ambrosia* hebben. Wanneer de projecties uit Lake *et al.* (2017) worden toegepast op de schatting van Schaffner *et al.* (2020) zouden circa 875.000 Nederlanders (circa 5%) in 2050 een klinisch relevante gevoeligheid voor *Ambrosia* pollen hebben bij het IPCC-scenario RCP4.5. Met een DALY-gewicht van 0,006 voor hooikoorts (Haagsma *et al.*, 2015) betekent dit een huidige ziektelast door *Ambrosia*-veroorzaakte hooikoorts van 386 DALY's, die oploopt tot 606 DALY's in 2050. Hierbij wordt aangenomen dat de duur van het *Ambrosia*-pollenseizoen, en daarbij ook de duur van de klachten, zes weken bedraagt.<sup>29</sup> De totale ziektelast door hooikoorts in Nederland wordt geschat op circa 2.400 DALY's per jaar. Daarbij is aangenomen dat circa 20% van de Nederlandse populatie hooikoorts heeft, waarbij de klachten zes weken aanhouden. Voor andere allergene planten dan *Ambrosia* zijn geen projecties bekend in de literatuur van de ziektelast onder verschillende klimaatscenario's.

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Het pollenseizoen wordt langer en pollenproductie neemt toe [**zeer hoge zekerheid**]. Dit kan ertoe leiden dat meer mensen pollengevoeligheid ontwikkelen, en hooikoortsklachten ervaren [**zeer hoge zekerheid**]. Circa 300.000 extra mensen (+60%) kunnen rond 2050 gevoelig zijn voor *Ambrosia* pollen [**neutrale waarschijnlijkheid, hoge zekerheid**].

#### **Onderbouwing**

Dit is wereldwijd geobserveerd (ook in NL) en er is consensus dat deze trend zich voortzet.

<sup>29</sup> Zie <https://www.lumc.nl/org/longziekten/patientenzorg/pollen-en-hooikoorts/105828/90924115751450/>

### *Eikenprocessierups*

De (eiken)processierups is een probleem waar we nu al mee te maken hebben. Na een eeuw van afwezigheid in Nederland heeft de eikenprocessierups zich sinds 1991 binnen een decennium vanuit Zuid-Limburg noordwaarts verspreid door Nederland. Toenemende temperaturen en veranderingen in landgebruik hebben hieraan bijgedragen (De Boer & Harvey, 2020). De rups produceert brandharen die zowel huid-, en oogklachten kunnen geven als klachten van de bovenste luchtwegen. Daarnaast kunnen ook klachten van algemene aard optreden, zoals koorts en malaise (Ass *et al.*, 2008). Contact met de brandharen kan verschillende type reacties veroorzaken: mechanische/toxische irritatie, een niet-allergische of pseudo-allergische reactie en een allergische reactie. In 2008 is door Jans en Franssen een schatting gemaakt dat zo'n 80.000 Nederlanders ieder jaar gezondheidsklachten ervaren na contact met de eikenprocessierups.

Er is veel aandacht voor het bestrijden van de eikenprocessierups waardoor het onzeker is wat de gezondheidseffecten onder klimaatverandering in de toekomst zullen zijn. Wel is er ook sprake van de dennenprocessierups die zich nu vanuit het Middellandse Zeegebied verspreidt en Noord-Frankrijk al heeft bereikt. Deze rups heeft dezelfde irriterende brandharen als de eikenprocessierups (De Boer & Harvey, 2020).

In 2020 hebben de GGD'en veel minder meldingen binnengekregen van klachten door de eikenprocessierups dan in 2019.<sup>30</sup> Het Kennisplatform Processierups constateert dat burgers zich veel meer bewust lijken van de aanwezigheid en gezondheidsrisico's die samenhangen met de eikenprocessierups, want het aantal meldingen van nesten was nog steeds groot, ondanks minder meldingen van klachten. Betere voorlichting, (preventieve) bestrijding alsook andere weersomstandigheden zijn factoren die mogelijk verklaren waarom er minder overlast was dan in 2019.<sup>31</sup>

### *Huisstofmijt en schimmels*

De aanwezigheid van huisstofmijt en schimmels in woningen is afhankelijk van vocht en temperatuur. Door klimaatverandering kunnen deze allergenen binnenshuis een (grotere) rol gaan spelen. De winters worden zachter en natter. Hierdoor neemt de temperatuur en de vochtigheid in huizen ook toe. Deze omstandigheden zijn gunstig voor huisstofmijten en schimmelgroei (Huynen *et al.*, 2008). Hierdoor zullen mensen die gevoelig zijn voor huisstofmijt en schimmels meer last ondervinden.

## **3.6 Vectoroverdraagbare infectieziekten**

Vectoren zijn organismen, met name bloedzuigende geleedpotigen, die ziekteverwekkers kunnen overdragen tussen twee gastheren. Bekende vectoren zijn bijvoorbeeld muggen en teken. In Nederland veroorzaken vectoren een ziektelast van ongeveer 2200 DALY's per jaar. Deze ziektelast wordt bijna volledig toegeschreven aan Lyme borreliose, een infectieziekte die wordt overdragen door teken (De Gier *et al.*, 2018).

<sup>30</sup> Zie <https://processierups.nu/tussenbalans-2020-minder-overlast-dan-vorig-jaar/>

<sup>31</sup> Zie <https://processierups.nu/tussenbalans-2020-minder-overlast-dan-vorig-jaar/>

Onderzoek naar de mogelijke effecten van klimaatverandering en andere (globale) trends, zoals in mobiliteit en landgebruik, op vectoroverdraagbare infecties is de laatste jaren sterk geïntensiveerd. Er zijn echter nog geen schattingen gemaakt van de toekomstige ziektelast veroorzaakt door vectoroverdraagbare infectieziekten in Nederland. Wel is bekend dat klimaatfactoren, zoals temperatuur en neerslag, een belangrijke invloed hebben op vectoren, ziekteverwekkers, en de overdracht van de ziekte (het transmissieproces). Het uiteindelijke effect van klimaatverandering is sterk afhankelijk van de lokale situatie (Braks *et al.*, 2013) en zal samenhangen met veranderingen in bijvoorbeeld landgebruik, mobiliteit en wildstand. Om deze reden zijn observaties of verwachtingen voor specifieke regio's moeilijk te generaliseren.

#### *Teken en teekoverdraagbare infectieziekten*

De incidentie van Lyme borreliose in Nederland is sterk gestegen tussen 1994 en 2009. Verschillende factoren, waaronder veranderd landgebruik (bijv. toename van bebost gebied), verbeterde gewaarwording door voorlichting (bijv. over risico's en herkenning van een tekenbeet) en ook klimaatverandering, hebben mogelijk bijgedragen aan deze toename (Sprong *et al.*, 2012). Observaties in Nederland laten zien dat hogere temperaturen in de winter en lente kunnen leiden tot een vroegere start van het tekenseizoen (momenteel één maand extra ten opzichte van de jaren vijftig van de vorige eeuw (Hartemink *et al.*, 2019)). De afgelopen tien jaar is, in tegenstelling tot de periode van 1994-2009, de incidentie van Lyme borreliose nog maar zeer licht gestegen. Dit is waarschijnlijk het resultaat van voorlichtingscampagnes, waardoor een tekenbeet en mogelijke symptomen van Lyme eerder worden herkend, en door een arts behandeld kunnen worden.<sup>32</sup> Dit kan ook voorkomen dat patiënten ernstigere vormen van de ziekte van Lyme (zoals neuroborreliose) ontwikkelen.

Hoewel op basis van veranderingen in klimaat en landgebruik geprojecteerd is dat het Lyme-risico in Nederland onder de meeste scenario's zal toenemen (Li *et al.*, 2019, toename van maximaal 50% ten opzichte van 2010 onder RCP4.5 in 2050), hoeft dit niet te leiden tot een (evenredige) toename in ziektelast. Dit zou in lijn zijn met observaties in andere Europese landen (Kriz *et al.*, 2012; Nah *et al.*, 2019; Trájer *et al.*, 2013). Het uiteindelijke risico en de ziektelast zullen verder afhangen van factoren die nog onvolledig in beeld zijn. Zo houden de projecties van Li *et al.* (2019) geen rekening met effecten van droogte op de teek, terwijl het vaker voorkomen van perioden van aanhoudende droogte ongunstig kan zijn voor de in Nederland gevestigde tekensoorten (Perret *et al.*, 2004). Ook wordt het uiteindelijke risico bepaald door de blootstelling. Deze factor kan veranderen zowel onder invloed van klimaatverandering, bijvoorbeeld door veranderingen in recreatiegedrag, als andere ontwikkelingen, zoals vergroening van de leefomgeving. Mocht het risico toenemen, dan zal beleid ten aanzien van preventie steeds belangrijker worden.

In het voorjaar van 2016 werd voor het eerst de aanwezigheid van het tekenencefalitisvirus in de natuur in Nederland aangetoond (Brandwagt

<sup>32</sup> Zie <https://www.atlasleefomgeving.nl/nieuws/steeds-meer-mensen-naar-huisarts-met-rode-vlek-na-tekenbeet>

*et al.*, 2017). Sindsdien lopen jaarlijks enkele mensen dit teekoverdraagbare virus in Nederland op. Deze ontwikkeling is niet direct gerelateerd aan klimaatverandering. Hogere temperaturen lijken de overdracht van tekenencefalitisvirus wel te bevorderen (Daniel *et al.*, 2018). Op basis van klimaat en ecologische factoren is men tegenwoordig goed in staat om de incidentie van tekenencefalitis voor de nabije toekomst te voorspellen (Rubel & Brugger, 2020). Dit biedt perspectief voor het maken van projecties op de langere termijn waarin ook een effect van klimaatverandering gezien zou kunnen worden.

### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Klimaatverandering leidt tot het vaker voorkomen van weersomstandigheden die gunstig zijn voor transmissie van bepaalde teekoverdraagbare infectieziekten, en kunnen bijdragen aan een eerdere start van het tekenseizoen, en een hogere tekenactiviteit [**waarschijnlijk, hoge zekerheid**]. Het risico op blootstelling aan teken kan hierdoor toenemen [**neutrale waarschijnlijkheid, hoge zekerheid**], hoewel de invloed van droogte en niet-klimaatfactoren nog niet (volledig) in beeld is.

### **Onderbouwing**

Deze effecten zijn wereldwijd geobserveerd, waaronder in Nederland. Er is consensus over het effect van klimaatverandering op het voorkomen en de verspreiding van teken. De ontwikkeling van het blootstellingsrisico, en dus de ziektelast door teekoverdraagbare infectieziekten, onder invloed van klimaatverandering is onzekerder omdat integrale kwantificeringen ontbreken.

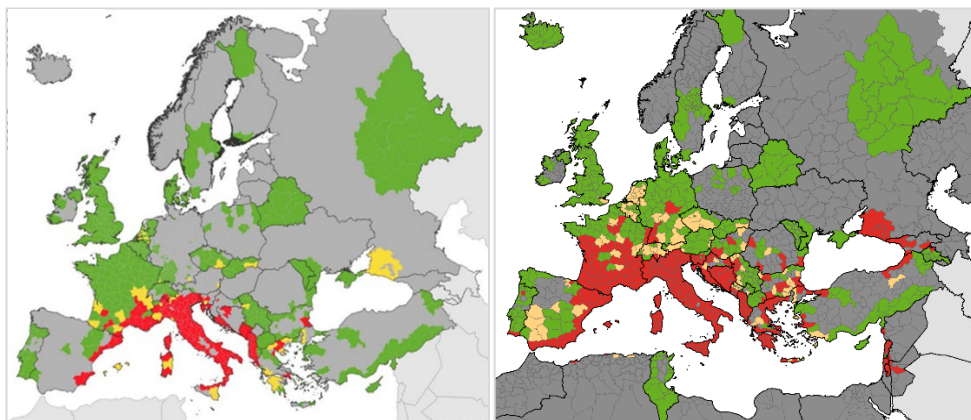
### *Muggen en mugoverdraagbare infectieziekten*

Klimaatverandering kan er ook toe leiden dat het Nederlandse klimaat geschikt wordt voor vestiging van nieuwe muggensoorten en het uitbreken van nieuwe infectieziekten. Voor sommige soorten, zoals de Aziatische tijgermug (*Aedes albopictus*), die het Dengue-, Zika- en Chikungunyavirus kan overbrengen, is het klimaat in Nederland al geschikt voor vestiging. Uitbreiding van de habitat binnen een klimatologisch geschikt gebied, en mogelijke vestiging in Nederland, wordt nu vooral beperkt door niet-klimaatfactoren zoals het uitroeiingsbeleid (Figuur 3.5). De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) kan bij melding van exotische invasieve muggensoorten bijvoorbeeld verschillende bestrijdingsmaatregelen inzetten, zoals het verwijderen van broedplaatsen.<sup>33</sup> Indien de tijgermug zich onverhoopt toch zal vestigen dan is de kans aanwezig dat zich in warme zomers incidenteel lokale clusters van Dengue, Zika of Chikungunya voordoen, zoals nu al het geval is in verschillende landen in het Middellandse Zeegebied. Het Nederlandse klimaat zal echter niet optimaal worden voor grootschalige overdracht van de ziektes (Liu-Helmersson *et al.*, 2016; Messina *et al.*, 2019; Kraemer *et al.*, 2019). Het is daarnaast zeer onwaarschijnlijk dat de tropische gelekoortsmug *Aedes aegypti* zich in Nederland zal gaan vestigen (Iwamure *et al.*, 2020).

<sup>33</sup> NVWA: <https://www.nvwa.nl/nieuws-en-media/nieuws/2020/07/17/specifiek-interventiebeleid-exotische-muggen>



De afgelopen jaren is Nederland al geconfronteerd met verschillende nieuwe mugoverdraagbare infectieziekten. In 2016 vond er een wijdverbreide Usutuvirusuitbraak plaats onder merels in Nederland (Rijks *et al.*, 2016). Dit virus lijkt zich hier gevestigd te hebben. In 2020 werd er voor het eerst melding gemaakt van Westnijlviruscirculatie tussen vogels en muggen<sup>34</sup>, (Sikkema *et al.*, 2020) en tevens lokale overdracht naar de mens (Vlaskamp *et al.*, 2020). De introductie van het Westnijlvirus in Nederland is niet direct te relateren aan klimaatverandering. Wel heeft klimaatverandering bijgedragen aan een goed vestigingsklimaat waar het virus zich voldoende kan vermenigvuldigen en verspreiden. De droogte van de afgelopen jaren (Brown *et al.*, 2014) en het warme weer hebben er mogelijk aan bijgedragen dat het Westnijlvirus zich in 2020 in Nederland heeft kunnen verspreiden (Groen *et al.*, 2017). De overwinteringsmechanismen van het Westnijlvirus zijn onduidelijk. Hoewel gewone steekmuggen het virus kunnen overdragen, is het wel onzeker of het virus in Nederland zal overwinteren, of na de winter opnieuw geïntroduceerd moet worden. In Europa lijkt Westnijlviruscirculatie geconcentreerd te zijn in specifieke locaties. Dit is een indicatie dat naast temperatuur andere factoren een belangrijke rol spelen, zoals landgebruik en de aanwezigheid van een geschikte vector- en gastheerpopulatie (vogels voor het Westnijlvirus).



*Figuur 3.5 Distributie van vectoren in Europa wordt gemonitord in het kader van het VectorNet-initiatief van het Europees Centrum voor Ziektebestrijding- en preventie (ECDC), en de Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid (EFSA). De afbeeldingen laten de distributie van de Aziatische Tijgermug (*Aedes albopictus*) in maart 2013 (links) en september 2020 (rechts) zien. In de roodgekleurde gebieden heeft deze soort zich gevestigd, en in geelgekleurde gebieden is deze soort geïntroduceerd (groen = niet aanwezig, grijs = geen gegevens). Het huidige verspreidingsgebied van *Aedes albopictus* is groter dan in 2013, en de soort komt ook in noordelijker gebieden voor. Het klimaat van met name meer noordelijke gebieden (ten opzichte van het Mediterraans gebied) is de afgelopen decennia geschikter geworden voor vestiging. Ondanks introductie en een geschikt klimaat heeft de soort zich echter nog niet in Nederland gevestigd. Uitbreiding lijkt momenteel effectief beperkt te worden door andere factoren, zoals het uitroeiingsbeleid. Bron: ECDC 2013/2020.<sup>35</sup>*

<sup>34</sup> Zie <https://www.rivm.nl/nieuws/eerste-patient-in-nederland-met-westnijlvirus>

<sup>35</sup> VectorNet kaarten: <https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps>

**Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Het Nederlandse klimaat wordt geschikter voor nieuwe muggen- en tekensoorten (vectoren) zoals de Aziatische tijgermug en voor de overdracht van vectoroverdraagbare infectieziekten [**zeer hoge zekerheid**]. Vestiging van nieuwe vectorsoorten is waarschijnlijk [**waarschijnlijk, hoge zekerheid**]. Mocht vestiging plaatsvinden dan kunnen onder gunstige omstandigheden lokale uitbraken van bepaalde nieuwe geïntroduceerde vectoroverdraagbare infectieziekten plaatsvinden [**waarschijnlijk, zeer hoge zekerheid**].

**Onderbouwing**

Consensus op basis van beschikbare onderzoeken van goede kwaliteit. Trendindicaties zijn niet veranderd door nieuwer onderzoek. De mate van verandering is niet gelijk onder alle scenario's. De rol van beleid, gedrag, en andere niet-klimaatfactoren is nog niet volledig integraal onderzocht en daardoor onzeker.

**3.7 Milieu- en voedseloverdraagbare infectieziekten**

Er zijn veel ziekteverwekkers die via het milieu (water, lucht, bodem) of via voedsel kunnen worden overgedragen. De totale ziektelast veroorzaakt door deze ziekteverwekkers in Nederland is niet bekend. Voor een groep van veertien<sup>36</sup> voedselgerelateerde ziekteverwekkers is bepaald dat zij jaarlijks een ziektelast van ongeveer 11.000 DALY's veroorzaken. Overdracht via voedsel is verantwoordelijk voor bijna 40% (4300 DALY's) van deze ziektelast, en overdracht via het milieu voor ruim 20% (2300 DALY's) (Pijnacker *et al.*, 2019).<sup>37</sup> Er zijn echter nog geen projecties van de toekomstige ziektelast veroorzaakt door deze ziekteverwekkers in Nederland.

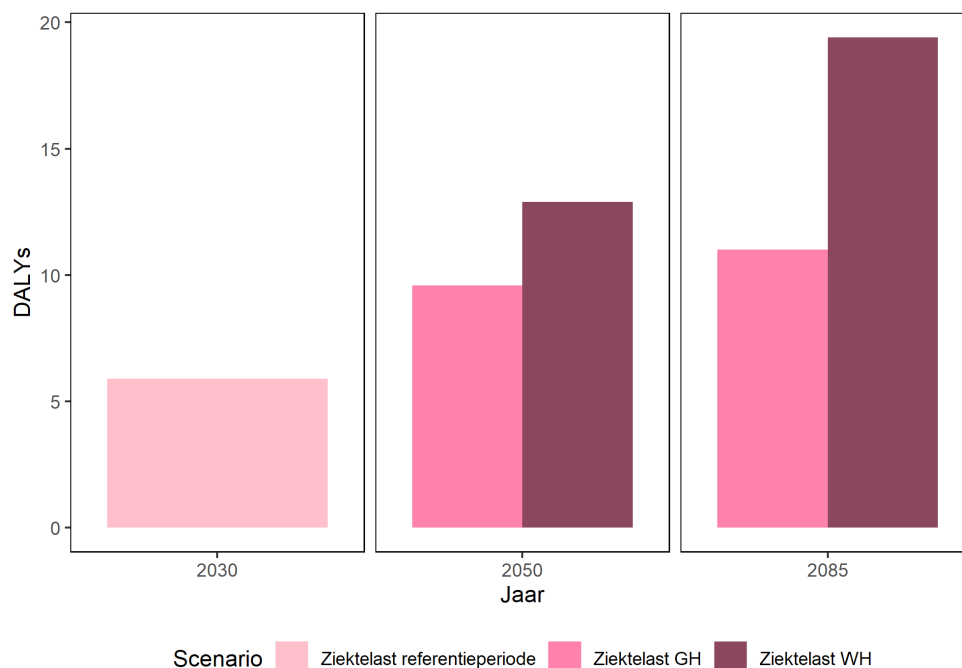
Van veel milieu- en voedseloverdraagbare ziekteverwekkers is bekend dat zij sterk worden beïnvloed door klimaatfactoren. De incidentie van veel van deze infectieziekten laat mede daarom een seizoensgebonden patroon zien. De invloed van klimaatfactoren kan zowel direct als indirect zijn. Relevante veranderingen in het klimaat zijn onder andere veranderende neerslagpatronen en stijgende (water)temperaturen. Het effect van deze veranderingen beïnvloedt via allerlei mechanismen het uiteindelijke blootstellingsrisico, en de ziektelast. Nog niet al deze mechanismen zijn goed in beeld. Toch kan van sommige micro-organismen al met enige zekerheid worden gezegd dat klimaatverandering kan leiden tot een hogere ziektelast.

Voor *Vibrio*-soorten zijn trends in voorkomen en incidentie van gerelateerde aandoeningen op het Noordelijk halfrond al gerelateerd aan klimaatverandering (Baker-Austin *et al.*, 2013; Logar-Henderson *et al.*, 2019; Vezzulli *et al.*, 2016). Ook voor Nederland zou het risico op een *Vibrio*-infectie door recreatie in kustwater kunnen toenemen (Sterk *et al.*, 2015), met een hogere ziektelast tot gevolg; uitgaande van een huidige ziektelast van ongeveer 6 DALY's, wordt een toename in relatieve ziektelast van 49% – 97% berekend voor 2050 ( $G_H - W_H$ ), en een toename van 66% – 193% voor 2085 ( $G_H - W_H$ ) (Bijlage 7.2 en

<sup>36</sup> *Campylobacter* spp.; STEC O157; *Salmonella* spp.; *L. monocytogenes*; *B. cereus*; *C. perfringens*; *S. aureus*; Norovirus; Rotavirus; Hepatitis-A virus; Hepatitis-E virus; *Cryptosporidium* spp.; *Giardia* spp.; *T. gondii*

<sup>37</sup> Overdracht tussen mensen (~20%), direct contact met dieren (10%), en reizen (~10%), verklaart de overige 40% van de totale ziektelast.

Figuur 3.6). De daadwerkelijke ziektelast van *Vibrio*-soorten in Nederland is niet bekend, en deze schatting dient dus vooral ter indicatie van de relatieve toename tussen de referentieperiode en de twee klimaatscenario's. Klimaatverandering lijkt tevens gerelateerd aan het vaker voorkomen van schadelijke groei van bepaalde soorten blauwalgen (Gobler *et al.*, 2017; Ho *et al.*, 2019). Hoewel dit geen ziekteverwekkers zijn, kunnen door blauwalgen uitgescheiden toxinen wel gezondheidsschade veroorzaken. In Nederland is de huidige ziektelast veroorzaakt door blauwalgen echter laag, en risico's op aangewezen zwemlocaties worden beperkt door middel van het blauwalgenprotocol (Schets *et al.*, 2020).



Figuur 3.6 Ziektelast in DALY's van *Vibrio parahaemolyticus* door recreatie bij KNMI'14-klimaatscenario's: rond 2030 (referentieperiode), 2050 ( $G_H$  en  $W_H$ ) en 2085 ( $G_H$  en  $W_H$ ).

Sterk *et al.* (2016) onderzochten effecten van klimaatverandering op oppervlaktewaterconcentraties van *Campylobacter* en *Cryptosporidium* afkomstig uit mest. Dit onderzoek laat zien dat concentraties van deze ziekteverwekkers onder invloed van klimaatverandering ten opzichte van 1981-2010 mogelijk maar weinig zullen veranderen. Wel zijn er duidelijke effecten zichtbaar op individuele onderdelen van het transportproces. Zo kan de totale belasting van het oppervlaktewater toenemen, onder invloed van toegenomen afspoeling door toegenomen neerslag in de winter (en heviger buien in de zomerperiode), maar treedt er tegelijkertijd sterkere verdunning op. Inactivatie van de onderzochte ziekteverwekkers is ook hoger onder hogere (water)temperaturen.

Recent onderzoek (Mulder *et al.*, 2020) laat zien dat concentraties van *Campylobacter* in oppervlaktewater het laagst zijn in de zomer en het hoogst in de herfst en winter. Een waarschijnlijke verklaring hiervoor is de hogere afsterving door hogere UV-straling en watertemperaturen.

Onder invloed van klimaatverandering zou dit effect belangrijker kunnen worden, ook in andere seizoenen. Desondanks is het waarschijnlijk dat de blootstelling aan wateroverdraagbare ziekteverwekkers wel toeneemt, bijvoorbeeld doordat extreme buien vaker voorkomen waarbij wateroverlast kan ontstaan, zoals in paragraaf 3.8 verder wordt toegelicht. Ook worden tijdens warmere zomers gemiddeld meer zwemwatergerelateerde klachten gerapporteerd (Limaheluw *et al.*, 2020). Als het weer in de toekomst vaker geschikt is voor (water)recreatie, wordt er waarschijnlijk meer gezwommen in oppervlaktewater, waaronder op niet-officiële zwemlocaties (waar de waterkwaliteit niet gemonitord wordt). Veranderingen in gedrag zullen dus een belangrijke rol spelen in het bepalen van de uiteindelijke invloed van klimaatverandering op infectieziektenrisico's (en ziektelast) gerelateerd aan water.

Voor *Campylobacter* is niet water, maar voedsel de belangrijkste overdrachtsroute. De incidentie van een aantal voedseloverdraagbare infectieziekten, zoals die veroorzaakt door *Campylobacter* maar ook door *Salmonella*, is hoger in de zomer (Hellberg & Chu, 2016; Lake & Barker, 2018; Smith *et al.*, 2019). Voor dit rapport is bekeken of een effect van klimaatverandering op de ziektelast van *Campylobacter* door consumptie van kip kan worden vastgesteld op basis van een bekende relatie tussen temperatuur en de prevalentie van *Campylobacter* in groepen vleeskuikens. Observaties laten zien dat prevalentie hoger is onder hogere temperaturen. Via enkel deze route lijkt de invloed van klimaatverandering echter minimaal (Bijlage 7.3): de berekende toename in (relatieve) ziektelast wordt voor slechts 1-2% verklaard door de berekende toename in prevalentie binnen groepen kippen, het overige deel door bevolkingsgroei. Er zijn echter veel andere, nog niet onderzochte, factoren die ook beïnvloed worden door klimaatveranderingen en daarmee tot een andere ziektelast kunnen leiden. Dit is onder andere de aanwezigheid van *Campylobacter* in het milieu, of verschillende gedragsfactoren (Patrick *et al.*, 2004; Rushton *et al.*, 2019). Buiten eten is bijvoorbeeld aangemerkt als risicofactor voor ziekte door voedselgerelateerde ziekteverwekkers (Rushton *et al.*, 2019). Afhankelijk van de infectieuze dosis van de ziekteverwekker, kunnen dergelijke factoren snel leiden tot een hoger infectierisico, bijvoorbeeld door kruisbesmetting.

Ten slotte kan klimaatverandering ook van invloed zijn op de incidentie van luchtoverdraagbare infectieziekten, zoals legionellose. De incidentie van legionellose in Nederland is de afgelopen jaren toegenomen tot ongeveer 500 gevallen per jaar.<sup>38</sup> Het is niet bekend in welke mate klimaatverandering aan deze ontwikkeling heeft bijgedragen. Wel lijkt er een associatie te zijn met temperatuur en neerslag die ertoe leidt dat er in warmere zomers met meer neerslag meer gevallen worden gemeld (Brandsema *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2019). Hoewel *Legionella* beter groeit in warmer water, is het ook de verwachting dat toekomstige zomers droger zijn. Dit lijkt ongunstig te zijn voor de verspreiding van *Legionella*, omdat meer neerslag en een hogere luchtvochtigheid gerelateerd zijn aan een hoger aantal gevallen (Brandsema *et al.*, 2014; Gleason *et al.*, 2016). Echter zijn de mechanismen achter de relatie

<sup>38</sup> Zie <https://www.atlasinfectieziekten.nl/Legionella>

tussen incidentie van legionellose en deze factoren nog niet goed in beeld (Brandsema *et al.*, 2014). Het is dus ook onzeker hoe bijvoorbeeld verspreiding door koeltorens beïnvloed wordt door klimaatverandering. Tegelijkertijd lijken verwachte veranderingen in windsnelheid en meer UV-straling te kunnen leiden tot lagere overdrachtsrisico's van luchtoverdraagbare infectieziekten (Van Leuken *et al.*, 2016).

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

De blootstellings- en ziekterisico's van *Vibrio*-soorten, *Campylobacter*, en schadelijke blauwalgen nemen toe [**neutrale waarschijnlijkheid, zeer hoge zekerheid**].

Door tegengestelde effecten kan de netto verandering in de risico's gerelateerd aan bepaalde water- en luchtoverdraagbare ziekteverwekkers zoals *Cryptosporidium* of *Legionella* neutraal zijn, afhankelijk van het dominante effect [**neutrale waarschijnlijkheid, zeer hoge zekerheid**].

#### **Onderbouwing**

Voor alle genoemde ziekteverwekkers is klimaatgevoeligheid bekend en voor een aantal zijn ook trends geassocieerd met klimaatverandering (consensus). Hoewel het belang van gedragsfactoren bekend is, is deze factor slecht/niet gekwantificeerd. Dit beïnvloedt de beoordeling van de waarschijnlijkheid.

### **3.8 Gevolgen van extreem weer**

De kans dat Nederland door klimaatverandering vaker te maken krijgt met extreem weer neemt toe. Voor deze rapportage wordt onderscheid gemaakt in een toename in neerslagextremen, overstromingen vanuit de zee en de rivieren, periodes van droogte, natuurbranden en stormen.

#### *Neerslagextremen*

Voor neerslagextremen geldt dat deze in het algemeen zijn toegenomen over de laatste 50 tot 100 jaar.<sup>39</sup> De buien worden intenser, er valt meer regen in een kortere tijd. Extreme buien kunnen zorgen voor problemen met de afvoercapaciteit van het riool waardoor water op straat kan blijven staan en in woningen kan stromen. Blootstelling aan dit overstromingswater, dat mogelijk verontreinigd is met ziekteverwekkers, kan leiden tot gezondheidsklachten. Uit Nederlands onderzoek blijkt dat personen die in aanraking komen met overstromingswater vaker last hebben van maag-darm- en luchtweginfecties dan personen die niet in aanraking komen met het overstromingswater (Mulder *et al.*, 2019). De risicofactoren voor acute maag-darminfecties (gastro-enteritis) zijn huidcontact met overstromingswater, schoonmaakwerkzaamheden na een overstroming en fietsen door overstromingswater. Huidcontact met overstromingswater en schoonmaakwerkzaamheden na overstromingen werden ook geïdentificeerd als risicofactoren voor acute luchtweginfecties.

Extreme regenval na droogte zorgt voor een extra risico op ziekten vanwege vuile straten en extra vervuilende stoffen in het oppervlaktewater (door afspoeling van straatvuil en bestrijdingsmiddelen en overstort van afvalwater).

<sup>39</sup> Zie <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/extreme-neerslag>

**Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Extreme buien komen vaker voor (in de zomer) [**zeer hoge zekerheid**]. Dit leidt naar verwachting tot toegenomen infectieziekte-risico's door blootstelling aan overstromingswater [**hoge zekerheid**].

**Onderbouwing**

Geobserveerd, consensus in projecties.

Sterk bewijs voor deze relatie dus hoge zekerheid dat bij toename de blootstelling ook toeneemt, maar geen ondersteunende onderzoeken.

*Overstromingen*

Tussen 1200 en 1900 vonden er in Nederland dikwijls overstromingen plaats en verdronken gemiddeld 100 mensen per jaar door overstromingen van zee en rivieren. In de 20ste eeuw zijn er rond de 2000 mensen verdronken waarvan ruim 1800 mensen tijdens de watersnoodramp van 1953. De verdrinkingskansen door overstromingen liggen naar verwachting dankzij de Deltawerken en bij uitvoering van het voorgenomen beleid in 2050 een factor 100-1000 lager.<sup>40</sup>

Overstromingen van rivieren is veelal het gevolg van hoge waterstanden tijdens perioden met (extreme) neerslag. Zowel neerslag in Nederland, als stroomopwaarts in het buitenland kan voor problemen zorgen. Vooral in de winter en het vroege voorjaar kunnen veel smeltwater en langere perioden met veel neerslag leiden tot hoge waterstanden. Overstromingen van rivieren hebben een direct veiligheidsrisico vanwege het verdrinkingsgevaar. Maar door mensen tijdig te waarschuwen en laten evacueren kan dit risico beperkt worden. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) heeft berekend dat de kans dat weersextremen en hoogwater rond 2050 tot overstromingen leiden waarbij meer dan 10 slachtoffers vallen ongeveer eens in de 50 jaar zal zijn. Bij gerichte dijkversterking die rekening houdt met verdrinkingskansen, gecombineerd met evacuatieplannen, kan die kans verlaagd worden tot eens in de 500 jaar (PBL, 2014).

Het garanderen van de veiligheid van de bevolking en het beheersen van de kans op overstromingen is afhankelijk van investeringen in dijken en het creëren van overstroomgebieden (zoals beoogd met het bieden van ruimte voor de rivieren). Vooralsnog gaan waterstaatsingenieurs ervan uit dat zeespiegelstijging en stijging van rivierwater deze eeuw nog technisch beheersbaar zijn, bij uitvoering van het Deltaprogramma.<sup>41</sup> Zonder internationaal klimaatbeleid zou de uitdaging voor de waterbescherming vooral na 2100 aanzienlijk toenemen en zijn wellicht alternatieve plannen nodig voor de inrichting van Nederland om de veiligheid van de bevolking te waarborgen (Groeskamp & Kjellson, 2020; Haasnoot *et al.*, 2019).

Ook voor Europa geldt dat relatief weinig mensen sterven door overstromingen (EASAC, 2019, Tabel 3.1). De gezondheidsrisico's

<sup>40</sup> Zie Deltaprogramma 2021: De kern van de deltabeslissing Waterveiligheid is dat de individuele kans op overlijden door een overstroming voor iedereen achter de dijken uiterlijk in 2050 niet groter is dan  $10^{-5}$  ofwel 0,001% (zie <https://dp2021.deltaprogramma.nl>)

<sup>41</sup> Zie Deltaprogramma 2021: De kern van de deltabeslissing Waterveiligheid is dat de individuele kans op overlijden door een overstroming voor iedereen achter de dijken uiterlijk in 2050 niet groter is dan  $10^{-5}$  ofwel 0,001% (zie <https://dp2021.deltaprogramma.nl>)



betreffen vooral de mentale gezondheid (Tong, 2017; Munro *et al.*, 2017), zie ook paragraaf 3.10. Onderzoek in Engeland liet zien dat de risico's op depressie, angstgevoelens en post-traumatische stressstoornis tot een jaar na de overstroming aanwezig waren bij enkele honderden mensen die geëvacueerd moesten worden of hun huizen definitief moesten achterlaten. Deze mentale risico's zijn onder andere afhankelijk van de vraag of mensen van tevoren voldoende waren gewaarschuwd voor de kans op een overstroming (Munro *et al.*, 2017).

### *Natuurbranden*

In de KNMI'14-klimaatsscenario's  $G_H$  en  $W_H$  wordt het droger in Nederland. De kans op droogte verschilt per regio. In het Nederlandse kustgebied wordt geen trend in toename van periodes met droogte gezien, in het binnenland wel. Tijdens lange periodes van droogte neemt de kans op natuurbranden toe. Natuurbranden kunnen ontstaan door bliksem, dan wel door een menselijke oorzaak (roken, BBQ, vonken van de trein). Een natuurbrand vormt een direct veiligheidsrisico voor mensen. Het persoonlijk letsel dat is ontstaan door natuurbranden is tot nu gering. Bij natuurbranden kan ook een gezondheidsrisico ontstaan door het inademen van rook.

In Nederland zijn 949 natuurbranden uitgebroken in het hele droge jaar 2018 en in 2019 waren er 547 natuurbranden.<sup>42</sup> Recentelijk, in april 2020, heeft de grootste natuurbrand in Nederland ooit gewoed in de Deurnsche Peel. Achthonderd hectare natuurgebied is hierbij verwoest.<sup>43</sup> In het zuiden van Europa komen vanwege droogte meer natuurbranden voor. Daar heeft onderzoek aangetoond dat er een direct effect is op sterfte door cardiovasculaire en luchtwegaandoeningen vanwege blootstelling aan slechte luchtkwaliteit door natuurbranden (Analitis *et al.*, 2012). Omdat er nog veel onzekerheid is over de toekomst van droogte in Nederland, is ook de frequentie van natuurbranden in Nederland onzeker. Maar experts op het gebied van natuurbranden verwachten wel dat natuurbranden in Nederland gaan toenemen en ook heftiger van aard worden.<sup>44</sup> Dit kan leiden tot meer cardiovasculaire- en luchtwegaandoeningen.

### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

De kans op natuurbranden neemt mogelijk toe [**hoge zekerheid**], en natuurbranden worden heftiger van aard [**matige zekerheid**].

### **Onderbouwing**

Consensus bij experts, nog niet in de literatuur.

### *Droogte*

Extreme droogte vormt een risico voor natuur, landbouw, waterbeheer en uitdroging van (veen-)dijken. Vooral voor de landbouwsector heeft droogte grote financiële gevolgen. De problemen door droogte (irrigatieverboden, verbod op het uitrijden van mest) komen bovenop de reeds bestaande milieubeperkingen voor de landbouw, wat de mentale

<sup>42</sup> Zie <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Beter-voorbereid-op-natuurbranden-in-Nederland.htm>

<sup>43</sup> Zie <https://www.staatsbosbeheer.nl/over-staatsbosbeheer/nieuws/2020/11/onderzoekresultaten-brand-deurnsche-peel>

<sup>44</sup> Zie <https://www.wur.nl/nl/nieuws-wur/radio-televisie/rtv/Cathelijne-Stoof-in-de-media-over-natuurbranden.htm>

druk op boerengezinnen vergroot (Vins *et al.*, 2015). Wanneer de grondwaterstand daalt tot onder de wortelzone zullen gewassen verdrogen. De kans op misoogsten kan toenemen en bijdragen aan de financiële onzekerheid in de sector.

Droogte kan leiden tot het uitdrogen en inklinken van veengronden, waarbij extra broeikasgassen vrijkomen. Uitdroging van veendijken leidt tot een toenemende kwetsbaarheid voor overstromingen van het land achter de dijken en daarmee tot toenemende veiligheidsrisico's voor mensen die daar wonen.

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Perioden van droogte worden langer en komen vaker voor [**zeer hoge zekerheid**].

#### **Onderbouwing**

Geobserveerd, consensus in projecties.

#### *Stormen*

In Nederland wordt gesproken van een zware storm bij windkracht 10 of hoger op de schaal van Beaufort. Gemiddeld ligt de windsnelheid dan op 88 km/uur. Naast de hoge gemiddelde windsnelheid zijn er tijdens zware stormen windstoten van 100 tot meer dan 150 km/uur mogelijk. Sinds 2000 zijn in Nederland 14 zware stormen gepasseerd. De getallen over slachtoffers tijdens stormen verschillen, maar in de afgelopen 50 jaar zijn tijdens stormen zo'n 44 sterfgevallen op land gevallen en 8 op zee. Gemiddeld gezien overlijdt er dus één persoon per jaar als gevolg van een zware storm.

Om het bewustzijn van mensen te verhogen en mensen aan te zetten tot actie om schade en letsel te voorkomen, krijgen de stormen met code oranje of rood sinds september 2019 een naam. Klimaatmodellen lieten eerder geen toename zien in (winter)stormen. De windsnelheid neemt landinwaarts juist af sinds de jaren zestig, waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door toenemende bebouwing die de wind remt (KNMI, 2015). Recenter onderzoek van het KNMI<sup>45</sup> laat echter zien dat door klimaatverandering zware stormen naar verwachting frequenter optreden en de kans groter wordt dat (ex-)cyclonen West-Europa en daarmee Nederland kunnen bereiken. Wereldwijd wordt er geen significant effect gevonden op het aantal sterfgevallen vanwege zware stormen. Als oorzaak hiervan wordt betere zorg en betere waarschuwingssystemen gegeven (Watts *et al.*, 2018).

### **3.9 Risico's voor drinkwater**

De Nederlandse drinkwaterkwaliteit is goed, en de gerelateerde negatieve gezondheidseffecten zijn minimaal.<sup>46</sup> De kwaliteit van drinkwaterbronnen voldoet nog niet altijd aan de wettelijke eisen, en tijdens lang aanhoudende droogte kan ook de beschikbaarheid van voldoende bronnen van goede kwaliteit afnemen.<sup>47</sup> Klimaatverandering

<sup>45</sup> Zie <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/tropische-cyclonen-ook-een-bedreiging-voor-nederland>

<sup>46</sup> Zie <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/geneesmiddelen/documenten/rapporten/2018/12/20/kwaliteit-drinkwater-van-nederlandse-drinkwaterbedrijven-2017>

<sup>47</sup> Zie <https://www.atlasleefomgeving.nl/meer-weten/water/drinkwater>



vergroot deze risico's voor de drinkwaterproductie. Tegelijkertijd kan het vaker leiden tot perioden waarin er een verhoogde vraag is naar water.<sup>48</sup>

Een lagere afvoer van rivieren leidt tot hogere concentraties van verontreinigingen en kan ook bijdragen aan verzilting van oppervlaken en grondwater in de kustgebieden (Wuijts *et al.*, 2013; Whitehead *et al.*, 2009). Bovendien neemt de invloed van riooloverstorten toe (Wuijts *et al.*, 2013). Goede waterzuivering zal nog belangrijker worden, maar de toegepaste technieken zijn momenteel voldoende om ook tijdens perioden van verminderde waterkwaliteit een goede drinkwaterkwaliteit te garanderen. Sommige stoffen, zoals medicijnresten, kunnen nog niet goed uit het water verwijderd worden. Hoewel de concentraties van deze stoffen in drinkwater zeer laag zijn, zijn gezondheidseffecten van deze en andere zogenaamde '*contaminants of emerging concern*' nog niet altijd goed in beeld (Baken *et al.*, 2018; Moermond *et al.*, 2016). Daarnaast verandert ons stoffengebruik, en neemt bijvoorbeeld het medicijngebruik onder invloed van vergrijzing toe. Dergelijke ontwikkelingen kunnen in combinatie met klimaatverandering leiden tot nieuwe risico's.

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Kwaliteit van water voor drinkwaterproductie komt als gevolg van klimaatverandering en een veranderend stoffengebruik verder onder druk te staan [**zeer hoge zekerheid**], met een steeds belangrijker rol voor (de al geborgde) waterzuivering.

#### **Onderbouwing**

Consensus vanuit literatuur, direct effect klimaatfactoren en waterkwaliteit goed in beeld. Verwachte veranderingen in klimaatfactoren consistent in projecties.

Opwarming van water in het leidingnet tot boven de 25 °C als gevolg van een opwarmende bodem kan ertoe leiden dat achtergebleven micro-organismen in het drinkwaternetwerk kunnen groeien (Agudelo-Vera *et al.*, 2017), zie ook paragraaf 3.7. Dit is met name in het stedelijk gebied aangemerkt als een mogelijk toenemend gezondheidsrisico in de zomermaanden, al is er nog geen (kwantitatief) onderzoek naar de mogelijke gezondheidsimpact uitgevoerd.

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Watertemperaturen in het leidingnet komen mogelijk vaker uit boven de 25 °C [**matige zekerheid**]. Dit kan de nagroei van achtergebleven micro-organismen bevorderen.

#### **Onderbouwing**

Consensus vanuit literatuur, geobserveerd probleem, maar nog geen projecties voor toekomst en effect van adaptatiebeleid dus onbekend.

Er bestaan verschillende scenario's voor de drinkwatervraag voor de komende decennia. In de deltasenario's<sup>49</sup> loopt de drinkwatervraag uiteen van een afname van 10% tot een toename van 35% in 2050 ten

<sup>48</sup> Zie <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/drinkwater/documenten/beleidsnota-s/2014/04/25/beleidsnota-drinkwater>

<sup>49</sup> Zie [https://media.deltares.nl/deltascenarios/Deltascenarios\\_actualisering2017\\_hoofdrapport.pdf](https://media.deltares.nl/deltascenarios/Deltascenarios_actualisering2017_hoofdrapport.pdf)

opzichte van het verbruik in 2017. Hoewel de gemiddelde drinkwatervraag dus nog sterk kan variëren kunnen pieken en aanhoudende perioden van hoge vraag wel vaker voorkomen (Leerdam, 2019). Zolang het drinkwater aan de wettelijke normen voldoet, zijn negatieve gezondheidseffecten niet te verwachten; tekorten kunnen in extreme scenario's worden opgevangen door beperkingen op niet-essentieel gebruik van water (Leerdam, 2019). Hier wordt ook aandacht aan besteed in de Beleidsnota drinkwater.<sup>50</sup> Zo kunnen waterschappen oproepen om geen water meer te gebruiken om zwembadjes te vullen of de tuin te sproeien.

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Niet-essentieel gebruik van water moet mogelijk vaker worden ingeperkt [**zeer hoge zekerheid**].

#### **Onderbouwing**

O.b.v. observaties uit voorgaande jaren en consistente verwachtingen voor de toekomst.

### **3.10 Toenemende onzekerheid en mentale gezondheid**

De laatste jaren is er steeds meer aandacht voor de psychologische impact van klimaatverandering. Ook mensen die niet direct te maken krijgen met de gevolgen van klimaatverandering kunnen psychische effecten ervaren, waarbij de media als stressoren kunnen dienen. Gevoelens van angst, depressie, verdriet of woede behoren tot de range van emoties. Maar ook ontkenning van klimaatverandering is een mogelijke psychologische reactie op deze existentiële dreiging. Jongere mensen en meer milieubewuste mensen rapporteren meer klimaatgerelateerde angst dan ouderen en degenen die niet zo om het milieu geven (Clayton, 2020). De verwachting is dat niveaus van klimaatgerelateerde angst zullen toenemen naarmate de gevolgen van klimaatverandering steeds voelbaarder worden.

Angst kan als motivator fungeren, waarbij mensen actie ondernemen om klimaatverandering tegen te gaan. Wanneer mensen vertrouwen krijgen in het feit dat ze zelf een rol kunnen spelen in het voorbereiden op en tegengaan van klimaatverandering worden ze ook weerbaarder tegen de psychische gevolgen van klimaatverandering. Het communiceren van specifieke oplossingen en het benadrukken van co-benefits (bijvoorbeeld over de eigen gezondheidswinst door meer fietsen of minder vlees eten) kan hierbij helpen (Clayton *et al.*, 2014).

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Gevoelens van o.a. angst over klimaatverandering zullen bij meer mensen voorkomen naarmate de effecten van klimaatverandering toenemen [**matige zekerheid**].

#### **Onderbouwing**

Dit is een relatief recent onderkend probleem, er lijkt consensus over te zijn maar literatuurbasis is beperkt (evidence emerging).

<sup>50</sup> Zie <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/drinkwater/documenten/beleidsnota-s/2014/04/25/beleidsnota-drinkwater>

*Psychologische gevolgen van extreem weer*

Door klimaatverandering nemen weersextremen in zowel ernst als frequentie toe. Deze weersextremen, zoals overstromingen en natuurbranden, kunnen zowel fysieke als psychologische gevolgen hebben voor slachtoffers (Clayton *et al.*, 2014). Slachtoffers kunnen psychologisch trauma ervaren als gevolg van persoonlijk leed en verlies van of schade aan persoonlijke eigendommen (Neria & Shultz, 2012; Simpson *et al.*, 2011). Vaak wordt de psychologische impact verergerd door een opeenstapeling van infrastructurele en technische problemen die de ramp heeft veroorzaakt, zoals storingen in waterlevering, riolering en stroom- en communicatiestoringen (Simpson *et al.*, 2011). Ook op de lange termijn kunnen slachtoffers psychologische stress ondervinden, die gepaard kan gaan met angst, depressie, zorgen over toekomstige rampen en gevoelens van kwetsbaarheid en hulpeloosheid (Neria & Shultz, 2012). Veel slachtoffers van een overstroming blijken zelfs jaren na de gebeurtenis nog psychische problemen te vertonen (Simpson *et al.*, 2011; Crabtree, 2012; Alderman *et al.*, 2012).

Een toename van weersextremen, zoals stormen, hagelbuien, overvloedige regenval en droogte, vormen in Nederland vooral voor de landbouw een extra bron van onzekerheid, zie ook paragraaf 3.8. Buitenlandse studies hebben een relatie gevonden tussen droogte en een verhoogde mentale druk (stress) bij boeren (Stanke *et al.*, 2013). Een verhoogde alcoholconsumptie, veel zorgen en gevoelens van verdriet als gevolg van aanhoudende droogte werden hierbij ook gevonden.

**Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Veel mensen die blootgesteld worden aan weersextremen, zoals overstromingen of extreme droogte, ervaren negatieve gevolgen voor hun mentale gezondheid die vaak voor langere tijd voortduren [**zeer hoge zekerheid**].

**Onderbouwing**

Consensus, bekend en breed geobserveerd effect van weersextremen, bewijslast voor NL wel beperkt.

*Psychologische gevolgen van hitte*

Extreme hitte heeft naast fysieke effecten op de gezondheid ook een impact op de geestelijke gezondheid. Vooral personen met een psychische aandoening zijn kwetsbaar voor extreme hitte of hittegolven. Mullins & White (2019) vonden voor de Verenigde Staten een verband tussen een toename in temperatuur en een toename in zelfmoord en bezoeken aan de spoedeisende hulp voor psychische problemen. Een recente meta-analyse van de relevante literatuur vond een relatie tussen een toename in temperatuur en de incidentie van zelfmoord waarbij 1 °C toename in temperatuur werd geassocieerd met 1% toename in zelfmoord (Gao *et al.*, 2019). Deze meta-analyse is gebaseerd op 16 papers inclusief een aantal uit landen met een koeler klimaat. Het is dan niet onaannemelijk dat een vergelijkbare relatie ook in Nederland gevonden kan worden. Burke *et al.* (2018) hebben voor de VS en Mexico een vergelijkbare toename in zelfmoord geconstateerd: voor de VS vonden ze een 0,7% toename en voor Mexico een 2,1% toename in zelfmoord per 1 °C stijging in de gemiddelde maandelijkse temperatuur. Mullins & White (2019)

suggereren dat slaapverstoring een belangrijk mechanisme is achter deze effecten op de mentale gezondheid.

Een Amerikaanse studie onder bijna 2 miljoen burgers vond dat een 1 °C toename in de gemiddelde maximumtemperatuur (gedurende een vijf jaar lange periode van opwarming) geassocieerd werd met 2% toename in de prevalentie van zelf-gerapporteerde mentale gezondheidsproblemen, zoals stress en depressie (Obradovich *et al.*, 2018). Dit effect was groter in het voorjaar en de zomer dan in de herfst en winter. Mogelijk is er ook een verband tussen hittestress en toenemend geweld en agressief gedrag (Miles-Novelo & Anderson, 2019).

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Hitte wordt geassocieerd met een toename in mentale gezondheidsproblemen en zelfmoordincidentie, vooral bij mensen met een bestaande psychische aandoening [**hoge zekerheid**].

#### **Onderbouwing**

Consensus vanuit literatuur, causale verbanden niet bekend en geen bewijs specifiek voor NL.

De gevolgen van klimaatverandering voor de geestelijke gezondheid van Nederlanders is nog niet duidelijk. Gezien de hoeveelheid aan studies die de psychologische gevolgen van extreem weer/natuurrampen hebben onderzocht is het aannemelijk dat deze effecten ook in Nederland zullen optreden. Daarnaast zou de gevonden relatie tussen een toename in temperatuur en de incidentie van zelfmoord en psychische problemen in Nederland van toepassing kunnen zijn.

### **3.11 Hoog-risico groepen**

Hoog-risico groepen zijn extra gevoelig voor de negatieve gezondheid- en veiligheidseffecten van klimaatverandering. Hoog-risico groepen kunnen op twee manieren gedefinieerd worden. Enerzijds is de blootstelling aan hetgeen dat gezondheidsschade kan veroorzaken ongelijk verdeeld en kunnen mensen daarom een hogere risico op gezondheidseffecten hebben. Daarnaast kunnen mensen van zichzelf gevoeliger zijn voor een ziekte dan de rest van de populatie, hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan ouderen, baby's en kinderen, chronisch zieken en gebruikers van medicijnen, alcohol en drugs.

Blootstelling aan hitte blijkt bijvoorbeeld ongelijk verdeeld te zijn over de bevolking: mensen in woningen die slecht gekoeld kunnen worden, mensen die buiten zware lichamelijke arbeid verrichten, sporters en buiten spelende kinderen worden relatief meer aan hitte blootgesteld (kans op zonnesteek). Bij lagere inkomensgroepen kan een cumulatie optreden van verschillende problemen: slechte woningen (vochtproblemen, schimmelvorming), een slechte binnen- en buitenlucht, weinig groen en dus een substantieel hitte-eilandeffect (EEA, 2019).

Hoog-risico groepen zoals ouderen en kinderen zijn bij hitte vaak afhankelijk van anderen om voor afkoeling en voldoende vocht te zorgen. De risico's bij het oplopen van een infectieziekte zijn ook groter bij deze groep. De komende jaren komen, naast klimaatverandering,

een aantal trends samen die elkaar (in negatieve zin) kunnen versterken: veroudering van de bevolking maakt de populatie als geheel meer kwetsbaar voor klimaatverandering, omdat ouderen gevoeliger zijn voor hitte. Daarnaast kan verdichting in de bebouwing leiden tot meer of grotere hitte-eilanden in steden, en ten slotte blijven ouderen langer zelfstandig wonen, waardoor zeker tijdens hittegolven de zorg tekort kan schieten. Maar ook ouderen in slecht gekoelde verpleeghuizen lopen tijdens hittegolven extra risico (Garssen *et al.*, 2005).

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Klimaatverandering zal niet alle bevolkingsgroepen in gelijke mate beïnvloeden [**zeer hoge zekerheid**].

#### **Onderbouwing**

Consensus, sterke bewijslast.

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Een lage sociaaleconomische positie is een belangrijke risicofactor voor negatieve gezondheidseffecten [**zeer hoge zekerheid**], door een versterkend effect van bestaande problemen (bijv. slechte woning, ongezonde leefomgeving), en een beperkte adaptatiecapaciteit.

#### **Onderbouwing**

Consensus, sterke bewijslast.

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Ontwikkelingen zoals vergrijzing en verdichting leiden tot een groei van de kwetsbare bevolking [**zeer hoge zekerheid**] en kunnen de negatieve effecten van klimaatverandering versterken.

#### **Onderbouwing**

Consensus, sterke bewijslast en geobserveerde ontwikkelingen met consistente projecties.

### **3.12 Global health: klimaatmigratiestromen en veiligheid in de wereld**

Klimaatverandering zal wereldwijd gevolgen hebben voor gezondheid en veiligheid. De gevolgen van klimaatverandering zullen naar verwachting het grootst zijn in lage- en middeninkomensregio's. Deze gebieden hebben vaak beperkte middelen om negatieve effecten op te vangen. Bovendien kunnen bestaande knelpunten, bijvoorbeeld in gezondheidssystemen, of politieke spanningen onder invloed van klimaatverandering verder onder druk komen te staan (McMichael, 2013). Politieke instabiliteit en migratiestromen als gevolg van klimaatverandering kunnen ook effect hebben op Europa, inclusief Nederland.

Hoewel de directe effecten van klimaatverandering met name lokaal of regionaal optreden, staan ontwikkelingen elders niet los van de situatie in Nederland. Door de sterk geglobaliseerde samenleving kunnen lokale klimaatgerelateerde problemen, bijvoorbeeld op het gebied van voedselvoorziening, waterbeschikbaarheid, of werkgelegenheid, gevolgen hebben die wereldwijd doorwerken, bijvoorbeeld in de prijzen van goederen. Zo kan een lokaal productiviteitsverlies door hitte leiden tot

welvaartsverlies in andere landen (Wenz & Levermann, 2016). Extreem weer kan ook langdurige negatieve effecten hebben op de leefbaarheid van een gebied. Wereldwijd is een toenemende trend zichtbaar in het aantal klimaatgerelateerde natuurrampen, en lage- en middeninkomensregio's worden het zwaarst getroffen door deze gebeurtenissen (IFRC, 2020). Daarnaast vormt zeespiegelstijging zonder adaptatiemaatregelen een bedreiging voor kustregio's wereldwijd. Bijna 10% van de wereldbevolking woont in kustgebieden die minder dan 10 meter boven zeeniveau liggen en twee derde van de steden met meer dan 5 miljoen inwoners ligt in gebieden met overstromingsrisico's.<sup>51</sup>

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

De grootste gezondheidsimpact van klimaatverandering treedt op in lage- en middeninkomenslanden [**zeer hoge zekerheid**]. De effecten daar kunnen gevolgen hebben die wereldwijd doorwerken, bijvoorbeeld op de welvaart in Nederland [**matige zekerheid**].

#### **Onderbouwing**

Consensus, redelijke bewijslast.

In deze context wordt klimaatmigratie in toenemende mate genoemd als potentiële uitdaging. Verwacht wordt dat klimaatverandering in lage en middeninkomensregio's met name zal leiden tot een toename in interne migratie (migratie binnen de landsgrenzen) (Rigaud *et al.*, 2018). Desondanks wordt er ook rekening gehouden met een effect op migratiestromen naar Europa, omdat de factoren die momenteel aanleiding geven tot onvrijwillige migratie, zoals armoede, droogte of oorlog, versterkt kunnen worden door klimaatverandering (Kraler *et al.*, 2020).

#### **Waarschijnlijkheid/zekerheid**

Bestaande oorzaken van onvrijwillige migratie, zoals natuurrampen, oorlog of armoede, kunnen versterkt worden door klimaatverandering [**hoge zekerheid**], en leiden tot een verdere toename in de migratie [**matige zekerheid**].

#### **Onderbouwing**

Bepaalde wetenschappelijke onderbouwing, wel een erkend risico maar geen duidelijkheid over de uiteindelijke omvang van de gevolgen.

Deze ontwikkelingen zijn nog erg onzeker, en zullen zich niet direct vertalen naar volksgezondheidseffecten voor Nederland. Het is echter wel duidelijk dat een grensoverstijgende blik van belang is om ook de diffusere (gezondheids)effecten van klimaatverandering in kaart te brengen, en hierop te anticiperen. Net als klimaatverandering zelf, kunnen ook de gevolgen van klimaatverandering alleen door internationale samenwerking effectief worden beperkt.

<sup>51</sup> Zie <https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2017/05/Ocean-fact-sheet-package.pdf>

## 4 Wat betekent klimaatbeleid voor gezondheid in Nederland?

In dit hoofdstuk geven we een samenvatting van de te kwantificeren gevolgen voor de gezondheid van een scenario zonder klimaatbeleid en het scenario bij uitvoering van het thans voorgenomen klimaatbeleid in binnen- en buitenland. Daarbij kijken we naar de verwachte situatie rond 2050 en die aan het einde van de eeuw (2071-2100).

### 4.1 Kwantificering gezondheidseffecten

Met dit rapport is een eerste stap gezet richting een kwantitatief overzicht van de gezondheidseffecten van klimaatverandering (zie Tabel 4.1). Voor vijf gezondheidsindicatoren is te becijferen hoeveel klimaatverandering zal bijdragen aan de toekomstige ziektelast. De gebruikte berekeningsmethode en de betrouwbaarheid daarvan is verschillend voor de geanalyseerde indicatoren en de resultaten mogen dan ook niet bij elkaar worden opgeteld.

De ziektelast door temperatuurgerelateerde sterfte, UV-blootstelling en twee infectieziekten konden deels worden gekwantificeerd. Dat betekent niet dat andere gezondheids- en veiligheidseffecten, zoals allergieën, andere infectieziekten, mentale problemen en effecten van extreem weer of overstroming niet bestaan of onbelangrijk zijn.

De te kwantificeren gezondheidssuitkomsten zijn samen gebracht in Tabel 4.1. Zoals volgt uit hoofdstuk 3 zullen nog meer gezondheidsrisico's en blootstellingsroutes beïnvloed worden door klimaatverandering. De kwantificering die ten behoeve van dit rapport is uitgevoerd vormt dus geen totaaloverzicht. Voor sommige indicatoren, zoals hooikoorts, is wel zeker dat de ziektelast gaat toenemen, maar zowel de omvang van de huidige ziektelast als de toekomstige trend kon niet voor alle KNMI'14-klimaatscenario's worden gekwantificeerd. Voor Lyme is wel de huidige ziektelast bekend, maar is het effect van klimaatverandering nog ongewis. Voor andere indicatoren, zoals mentale druk, infecties door overstromingswater, of legionellose is wel aannemelijk dat de risico's kunnen gaan veranderen, maar is niet te zeggen hoeveel.

De gekwantificeerde gezondheidseffecten in Tabel 4.1. zijn niet direct vergelijkbaar, omdat de berekeningsmethoden verschillen en omdat niet alle blootstellingsroutes zijn meegenomen. Ze geven wel een eerste beeld van de richting waarin deze specifieke gezondheidssuitkomsten zullen veranderen, zoals een verschuiving van koude- naar warmtesterfte of de toename van de ziektelast van milieu- en wateroverdraagbare infectieziekten. Ook geven ze een indicatie van de ordegrrootte van de (relatieve) ziektelast die nu en in de toekomst aan deze gezondheidseffecten is toe te schrijven.

Het berekenen van effecten van temperatuur op sterfte is gedaan op basis van wetenschappelijk geaccepteerde methoden. Het verband tussen UV-blootstelling en huidkankerincidentie is op zich robuust, maar de relatie tussen huidkankerincidentie en het aantal zomerse dagen is gebaseerd op een onzekere gedragsveronderstelling en vraagt om nader

onderzoek. Bovendien kan de tijd tussen UV-blootstelling en de diagnose van huidkanker (de latentietijd) enkele decennia bedragen. Huidkanker is vanwege het potentieel grote effect op de ziektelast toch in het overzicht opgenomen. De omvang in de ziektelast door huidkanker is ook op dit moment al wel aanzienlijk. Met de nu bekende gegevens gaat het om twee derde van de in deze studie gekwantificeerde ziektelast die aan klimaatfactoren gekoppeld kan worden.

Voor de berekeningen over infectieziekten is een deels nieuwe aanpak gebruikt. Klimaatverandering zal voor alle onderzochte gezondheidswinsten leiden tot een toename in ziektelast. De uitzondering is de koudesterfte, die onder alle scenario's afneemt. De mogelijke positieve gezondheidseffecten van de door klimaatverandering toegenomen blootstelling aan UV-straling zijn in deze studie niet doorgerekend.

*Tabel 4.1 Ontwikkelingen in de ziektelast (in DALY's) in 2050 en 2085 van een aantal geselecteerde gezondheidseffecten van klimaatverandering bij de KNMI'14-klimaatscenario's G en W. Hierbij is alleen de bovenmarge van die klimaatscenario's weergegeven:  $G_H$  resp.  $W_H$ . De veranderingen door demografische oorzaken zijn afzonderlijk weergegeven.*

	<b>Klimaatscenario</b>	<b>Warmte-sterfte</b>	<b>Koude-sterfte</b>	<b>Huid-kanker</b>	<b>Vibrio (recreatie)</b>	<b>Campylobacter (kip)</b>
1	<b>Huidig klimaat/ huidige bevolking</b>	1350	5725	19000	6	720
2	<b>Huidig klimaat/ bevolking 2050</b>	2306	8316	37800		
3	<b>2050 <math>G_H</math></b>	3202	7326	43800	10	800
4	<b>2085 <math>G_H</math></b>	3846	6738	44700	11	810
5	<b>2050 <math>W_H</math></b>	4614	6120	45600	13	800
6	<b>2085 <math>W_H</math></b>	7907	4617	48300	19	810
<b>Verskil tussen scenario's zonder en met klimaatbeleid (<math>W_H-G_H</math>)</b>						
7	<b>2050</b>	1412	-1206	1800	3	0
8	<b>2085</b>	4061	-2121	3600	8	0

Ook zonder klimaatverandering zal de (in deze studie gekwantificeerde) klimaatgerelateerde ziektelast toenemen vanwege bevolkingsgroei en vergrijzing, zie Tabel 4.1. De tweede regel in de tabel geeft aan wat de toekomstige sterfte zal worden bij gelijkblijvend klimaat in 2050. De gezondheidseffecten in de klimaatscenario's moeten met deze cijfers vergeleken worden, omdat anders de effecten van vergrijzing en bevolkingsgroei onterecht aan klimaatverandering zouden worden toegerekend.

In Tabel 4.1 regel 7 is te zien welke gezondheidswinst het mondiaal klimaatbeleid zou opleveren in 2050 in Nederland voor de in deze studie gekwantificeerde gezondheidseffecten. Voor warmtegerelateerde sterfte is het verschil tussen het scenario met klimaatbeleid  $G_H$  en zonder



klimaatbeleid  $W_H$  zo'n 1400 DALY's. Deze winst zal rond 2085 toenemen met circa 2600 DALY's tot zo'n 4000 DALY's (regel 8). Daarentegen zullen er zonder klimaatbeleid minder mensen vroegtijdig overlijden tijdens koude periodes. De gezondheidswinst die het mondiaal klimaatbeleid zou opleveren rond 2085 in Nederland voor huidkanker in vergelijking met het scenario zonder klimaatbeleid bedraagt zo'n 3600 DALY's (regel 8).

Daarbij moet wel gezegd worden dat de verschillen tussen de klimaatscenario's gedomineerd worden door de onzekere raming van de huidkankerprojecties. In Tabel 4.1 kon nog niet de ziektelast worden opgenomen door *Ambrosia* veroorzaakte hooikoorts (ruwe schatting huidige ziektelast van circa 400 DALY's, die oploopt tot circa 600 DALY's in 2050 bij het IPCC-scenario RCP4.5) vanwege onvolledigheid van de beschikbare gegevens.

De verandering in relatieve ziektelast (in DALY's) per 100.000 inwoners geeft inzicht in de specifieke bijdrage van de verschillende klimaatrisico's. Zo neemt het overlijdensrisico door warmte zonder klimaatbeleid toe van 7,8 per 100.000 inwoners in de huidige situatie tot 40 per 100.000 inwoners rond 2085 bij scenario  $W_H$ . Met klimaatbeleid blijft die toename beperkt tot circa 20 per 100.000 inwoners bij scenario  $G_H$ . Voor huidkanker gaat het om een toename van de ziektelast van ruim 109 per 100.000 inwoners nu tot 247 per 100.000 inwoners rond 2085 in het scenario zonder klimaatbeleid ( $W_H$ ). Met klimaatbeleid zal dat risico 229 per 100.000 inwoners zijn ( $G_H$ ). Voor *Vibrio* en *Campylobacter* is de relatieve ziektelast in 2085 respectievelijk 0,10 en 4,14 per 100.000 inwoners bij scenario  $W_H$  vergeleken met respectievelijk 0,03 en 4,13 per 100.000 inwoners in de huidige situatie.



## 5 Discussie en conclusies

Klimaatverandering is de komende decennia onafwendbaar. Uit onze analyse blijkt dat er op dit moment al effecten zichtbaar zijn voor een aantal gezondheidsrisico's. Zonder mondiaal klimaatbeleid zal de stijgende trend na 2050 voortzetten of zelfs sterker worden. Het voeren van klimaatbeleid, en daarmee het beperken van de wereldwijde klimaatverandering, is nodig om de gezondheids- en veiligheidseffecten te beperken. Deze studie laat zien dat vooral op langere termijn de invloed van mondiaal klimaatbeleid zijn vruchten zal afwerpen, ook voor Nederland. Daarnaast onderstrepen de bevindingen het belang van klimaatadaptatiemaatregelen om de impact van onvermijdelijke klimaatverandering te verminderen.

Niet alle onderzochte gezondheids- en veiligheidseffecten zijn kwantitatief goed in kaart te brengen. Voor sommige effecten is niet helder hoe de blootstelling zich gaat ontwikkelen, zoals bij teekoverdraagbare infectieziekten. Voor andere effecten ontbreken betrouwbare gegevens over de huidige ziektelast, zoals bij hooikoorts. Soms zijn de causale verbanden nog niet duidelijk, zoals de relatie tussen hitte en mentale gezondheidsproblemen. Voor de gezondheidseffecten die met de huidige kennis kunnen worden gekwantificeerd, zoals temperatuurgerelateerde sterfte en huidkanker door UV-blootstelling, zullen de baten van klimaatbeleid vooral na 2050 toenemen.

De effecten van aanvullend klimaatbeleid, dat ambitieuzer is dan het voorgenomen beleid, kon in deze studie niet worden gekwantificeerd omdat het KNMI-klimaatscenario daarvoor ontbrak. In 2022 worden de nieuwe IPCC AR6-rapporten verwacht en in 2023 zal het KNMI de KNMI'23-klimaatscenario's uitbrengen. De KNMI'23-klimaatscenario's worden gebaseerd op zowel SSP1/RCP2.6, SSP2/RCP4.5 als SSP5/RCP8.5. Aan de hand van de indicatoren voor RCP2.6/SSP1, kunnen daarmee de gevolgen voor gezondheid en veiligheid bij aanvullend beleid in kaart worden gebracht.

### 5.1 Vragen voor toekomstig onderzoek

Hieronder staat een aantal onderzoeksvragen dat tijdens de studie naar voren is gekomen. Toekomstige onderzoeksprogramma's (o.a. gebaseerd op de uitkomsten van de ZonMw Kennisagenda klimaat en gezondheid<sup>52</sup>) kunnen worden ingezet om de gesignaleerde leemtes in de kennis waar mogelijk op te vullen. Bij de meeste ontwikkelingen zullen gedrag, beleid en andere niet-klimaatfactoren een rol spelen. Dit maakt de ramingen divers en onzeker. Daarom is het belangrijk dat wetenschappers uit verschillende vakgebieden samenwerken, zoals milieuwetenschappers en gedragsdeskundigen.

<sup>52</sup> Zie <https://www.zonmw.nl/nl/actueel/nieuws/detail/item/kennisagenda-onderzoeksprogramma-klimaat-en-gezondheid/>

### *Temperatuur- en ozonsmog-gerelateerde gezondheidseffecten*

Voor andere gezondheidseffecten dan sterfte, zoals het optreden van hart- en longklachten tijdens hittegolven en smogepisoden zijn nog geen risicorelaties bepaald. Die zijn wel nodig om de effecten van klimaatverandering op de totale ziektelast te berekenen. Maar ook de invloed van de temperatuur op de levensverwachting is afgeleid uit buitenlandse studies en een specifieke studie voor Nederland zou duidelijker kunnen maken of die relatie ook hier geldt. In het bijzonder de relatie tussen koude en virusaandoeningen (zoals griep) vraagt meer aandacht om afdoende adaptatiemaatregelen te kunnen nemen. Is er een directe relatie tussen griep en lage temperatuur, of is die relatie indirect, bijvoorbeeld omdat men juist meer tijd binnen doorbrengt in slecht geventileerde ruimtes.

Nader onderzoek is nodig naar de gecombineerde blootstelling aan extreme temperaturen en luchtverontreiniging in steden (zowel bij hitte-eilanden als achterstandswijken). Hiermee kan de ruimtelijke variatie in gezondheidseffecten beter in beeld worden gebracht en de basis vormen voor gerichte beleidsmaatregelen. Daarbij speelt de uitdaging om de effecten van temperatuur en luchtkwaliteit uit elkaar te houden. Welk deel van de ziektelast is toe te rekenen aan temperatuur, en welk deel aan ozon of fijnstof? Hitegolven en ozonpieken doen zich tegelijkertijd voor en in de winter gaan koudegolven en fijnstofpieken vaak samen.

Het is in elk geval nodig om de projecties voor de toekomstige effecten van ozon en fijnstof te corrigeren voor demografische veranderingen. Door vergrijzing wordt de bevolking gevoeliger en zal bij gelijkblijvende luchtkwaliteit de ziektelast substantieel toenemen. Vergrijzing is in deze studie meegenomen voor de effecten van ozon, maar dat is in RIVM-rapporten over de relatie tussen fijnstof en gezondheid nog niet gedaan (zoals in de rapporten voor het Schone Luchtakkoord en het rapport van Kelfkens *et al.*, 2021). Die rapporten geven daarom een onderschatting van het totale effect met en zonder maatregelen die het gebruik van fossiele energie beperken.

### *Huidkanker*

Nader onderzoek is nodig naar de invloed van meer zonnige dagen en hogere temperaturen op het gedrag en de blootstelling aan UV-straling. Hiermee kan de bijdrage van klimaatverandering aan de incidentie van huidkanker nauwkeuriger worden gekwantificeerd. Tevens geeft meer inzicht in het blootstellingsgedrag en overige risicofactoren aanknopingspunten voor adaptatiemaatregelen.

### *Allergieën*

De huidige ziektelast van pollenallergieën is onvoldoende in beeld. Onderzoek hiernaar is nodig om de toekomstige ziektelast bij een veranderende blootstelling aan pollenallergenen te kunnen kwantificeren.

Daarnaast is nog onvoldoende in kaart gebracht welke nieuwe allergene planten zich zullen vestigen in Nederland en hoe de pollenproductie en -blootstelling zich zal ontwikkelen onder verschillende klimaatscenario's. Voor *Ambrosia* is onderzoek nodig naar de verspreiding en blootstelling in Nederland nu en onder verschillende klimaatscenario's. Daarnaast is

nog niet bekend of de gevoeligheid voor *Ambrosia* in Nederland vergelijkbaar is met die in andere landen waar *Ambrosia* veel voorkomt.

Luchtverontreiniging kan bijdragen aan de ziektelast door allergieën. Onderzoek is nodig naar het huidige gezondheidsrisico van gecombineerde blootstelling aan pollen en luchtverontreiniging en hoe dit zich gaat ontwikkelen onder verschillende klimaatscenario's.

#### *Infectieziekten*

De huidige ziektelast als gevolg van veel infectieziekten, en de invloed van klimaatfactoren hierop, is niet of onvolledig in beeld. Verbetering of ontwikkeling van methoden om huidige en toekomstige infectierisico's in kaart te brengen kan gegevens leveren om ziektelast te kwantificeren.

Inzichten over de huidige aanwezigheid van bepaalde ziekteverwekkers en vectoren en hun aantallen in het milieu kunnen verbeterd worden door het intensiveren van vectorsurveillance<sup>53</sup> en monitoring van microbiologische lucht-, bodem-, en waterkwaliteit. Om ook de effecten van klimaatverandering op deze parameters in kaart te brengen kan (gelijktijdig) worden ingezet op ontwikkeling van ruimtelijke modellen die geschikt zijn voor toepassing in scenario-analyse. Hierbij is het belangrijk dat ook verschillende niet-klimaatfactoren zoals (ontwikkelingen in) landgebruik, inrichting van de leefomgeving, of mobiliteit integraal beschouwd worden.

Risico's en ziektelast van milieu- en voedseloverdraagbare infectieziekten kunnen ingeschat worden met kwantitatieve microbiologische risicomodellen. In het kader van klimaatverandering kan toepassing van deze methode verbeterd worden door het genereren van meer kwantitatieve meetgegevens, het integreren van meerdere transmissieroutes, en van klimaateffecten op individuele modelparameters. Dit kan gedetailleerd inzicht opleveren in de invloed van klimaatverandering op verschillende aspecten van het blootstellingsproces, en de infectierisico's. Dit zal uiteindelijk bijdragen aan verbeterde ziektelastschattingen en -projecties.

Om de invloed van klimaat op gezondheid te onderzoeken is kennis over gedrag van mensen belangrijk. Gedragsmodellen kunnen een grote bijdrage leveren aan het verbeteren van projecties van toekomstige blootstellingsrisico's en de ziektelast van infectieziekten. Het is belangrijk meer inzicht te krijgen in hoe gedrag te beïnvloeden is, en hoeveel de ziektelast hierdoor kan worden teruggebracht.

#### *Extreem weer*

Voor extreem weer zijn veel van de onderzoeksvragen afhankelijk van de nieuwe KNMI-klimaatscenario's, die beschikbaar komen in 2023. Dan krijgen we meer inzicht in de kans dat extreem weer optreedt en ook de kans dat gezondheids- en veiligheidsrisico's optreden. Vooral voor droogte en natuurbranden bestaat nog veel onzekerheid in de kans van voorkomen en daarom zijn de gezondheids- en veiligheidsrisico's ook nog onzeker.

<sup>53</sup> Zie <https://www.ecdc.europa.eu/en/about-us/partnerships-and-networks/disease-and-laboratory-networks/vector-net>

*Drinkwater*

Opwarming van het leidingnet kan de microbiologische kwaliteit van drinkwater verslechteren en leiden tot infectierisico's. Toekomstig onderzoek kan bijdragen aan het in kaart brengen van de (potentiële) omvang van dit probleem, het kwantificeren van de risico's, en het evalueren van (al reeds geïmplementeerde) maatregelen.

Klimaatverandering gaat gelijk op met andere ontwikkelingen die de kwaliteit van drinkwaterbronnen kunnen beïnvloeden, zoals veranderend stoffengebruik (bijvoorbeeld door vergrijzing en ontwikkelingen in de landbouw). Beter inzicht in de gecombineerde effecten hiervan is noodzakelijk voor de beoordeling van toekomstige risico's en knelpunten.

*Mentale gezondheid*

Het is onduidelijk in welke mate de Nederlandse bevolking getroffen wordt door gevoelens van angst en onzekerheid door klimaatverandering. Onderzoek hiernaar en naar welke groepen het meest getroffen zullen worden, is nodig om effectieve interventies hiertegen te kunnen ontwikkelen.

In buitenlands onderzoek worden effecten van hitte op de mentale gezondheid gevonden, zoals een toename van zelfmoord en bezoeken aan de spoedeisende hulp voor psychische klachten. Of deze effecten ook optreden in de Nederlandse populatie dient nader te worden onderzocht. Daarnaast is het van belang om te achterhalen wat de achterliggende mechanismes zijn.

*Global Health*

Klimaatverandering versterkt mogelijk factoren die aanleiding kunnen geven tot onvrijwillige migratie. Vervolgonderzoek kan verbeterd inzicht geven in waar de risico's voor dergelijke processen het grootst zullen worden, wanneer dit leidt tot onvrijwillige emigratie, en welke invloed dit zal hebben op migratiestromen richting Europa.

## **5.2 Gezondheidswinst als neveneffect van klimaatmitigatiebeleid**

Klimaatmitigatiebeleid levert, afgezien van minder ziektelast door klimaatverandering, ook gezondheidswinst op door schonere lucht die samenhangt met minder gebruik van fossiele energie (Kelfkens *et al.*, 2021 en Van der Ree *et al.*, 2019). Daarmee neemt de ziektelast met tienduizenden DALY's af. Daarnaast is gezondheidswinst mogelijk door aanvullende gedragsmaatregelen, zoals het bevorderen van actieve mobiliteit of verschuiving naar duurzamere en gezonde voedingspatronen. Deze zullen leiden tot minder emissies van broeikasgassen en luchtvervuiling door autoverkeer en veeteelt en tegelijkertijd leiden tot minder overgewicht.

Daarentegen kunnen de nieuwe energiebronnen en maatregelen die worden ingezet ter vervanging van fossiele energiebronnen onbedoeld negatieve effecten hebben op de gezondheid en veiligheid (Gooijer & Mennen, 2021). Windturbines kunnen bijvoorbeeld geluidhinder veroorzaken en bij het verbranden van biomassa kunnen mensen last krijgen van de daarmee gepaard gaande luchtverontreiniging. De effecten

zullen afhangen van welke keuzes gemaakt worden en of aanvullende maatregelen worden getroffen om de negatieve effecten te verminderen.

### **5.3 Gezondheidswinst door klimaatadaptatiebeleid**

Onvermijdelijke gezondheidseffecten van klimaatverandering zijn wat te beperken door klimaatadaptatiebeleid. Het Nationaal Hitteplan, lokale hitteplannen, groen en water in de stad kunnen voor een deel het gezondheidsverlies voorkomen dat in 2050 wordt verwacht als gevolg van onvermijdelijke opwarming. Het gezondheidsverlies door blootstelling aan UV kan aanzienlijk verminderd worden door gedragsadviezen en duidelijke UV-waarschuwingen.

Sommige adaptatiemaatregelen vereisen een integrale beoordeling om tot een zo gezond mogelijke leefomgeving te komen. Zo kan de temperatuur van hitte-eilanden in steden verminderd worden door inpassing van water(-berging) en het aanplanten van groen. Daarbij moet dan wel goed gekeken worden naar onbedoelde neveneffecten, zoals risico's van infectieziekten, hooikoorts en huidirritaties (door bijvoorbeeld de eikenprocessierups).

### **5.4 Conclusies**

Klimaatverandering heeft nu al negatieve gezondheidseffecten en in de toekomst zullen de negatieve gevolgen van klimaatverandering voor de gezondheid en veiligheid van de Nederlandse bevolking groter worden. Mondiaal klimaatbeleid, waar Nederland aan deelneemt, zal de toename van de gezondheids- en veiligheidseffecten door klimaatverandering afremmen. Voor de eerstkomende decennia zijn deze baten nog relatief beperkt voor zover ze op dit moment te kwantificeren zijn. In de loop van de tijd worden de baten van het beleid echter steeds groter. De komende decennia zijn klimaatverandering en de gevolgen ervan onvermijdelijk ondanks het mondiale klimaatbeleid. Naast mitigatiemaatregelen zijn ook adaptatiemaatregelen van belang om de toenemende gezondheids- en veiligheidsrisico's te beheersen.

## Dankwoord

De auteurs zijn Maciek Strak, Caroline Ameling, Danny Houthuijs (allen RIVM) zeer erkentelijk voor de berekeningen die ze hebben gedaan van temperatuurgerelateerde sterfte bij verschillende klimaatscenario's. De omschrijving van de methodologie die ze hebben gebruikt staat in Bijlage 7.1.

De aanpak voor de berekeningen van de ziektelast van *Campylobacter* is opgezet door Carmijn Meulenbroek (student Universiteit Utrecht), zie Bijlage 7.3.

Daarnaast bedanken we alle experts die de onderdelen van dit rapport hebben gereviewd waar zij expertise op hebben:

- Maud Huynen, Universiteit Maastricht
- Janette Bessembinder, KNMI
- Letty de Weger, Leids Universitair Medisch Centrum
- Marieta Braks, RIVM
- Ciska Schets, RIVM
- Arjan van Dijk, RIVM
- Ana Maria de Roda Husman, RIVM
- Guus Velders, RIVM
- Femke de Zwart, RIVM
- Susanne Wuijts, RIVM
- Robin van Leerdam, RIVM
- Annelike Dusseldorp, RIVM
- Dieneke Schram-Bijkerk, RIVM



## 6 Referenties

Agudelo-Vera, C.M., Blokker, M., Kater, H. de, and Lafort, R. (2017). Identifying (subsurface) anthropogenic heat sources that influence temperature in the drinking water distribution system. *Drink. Water Eng. Sci.*, 10, 83-91. <https://doi.org/10.5194/dwes-10-83-2017>

Alderman, K., Turner, L. and Tong, S. (2012). Floods and human health: A systematic review. *Environment International* 47 (2012) 37-47  
DOI: [10.1016/j.envint.2012.06.003](https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.06.003)

Analitis, A, Georgiadis, I. and Katsouyanni, K. (2012). Forest fires are associated with elevated mortality in a dense urban setting. *Occup Environ Med.* 2012 Mar;69(3):158-62. DOI: [10.1136/oem.2010.064238](https://doi.org/10.1136/oem.2010.064238)

Aranow, C. (2011). Vitamin D and the Immune System. *J Investig Med.* 2011; 59(6): 881-886. DOI: [10.2310/JIM.0b013e31821b8755](https://doi.org/10.2310/JIM.0b013e31821b8755)

Armstrong, B., Bell, M.L, De Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Leon Guo, Y.L., Guo, Y., Goodman, P., Hashizume, M., Honda, Y., Kim, H., Lavigne, E., Michelozzi, P., Hilario Nascimento Saldiva, P., Schwartz, J., Scortichini, M., Sera, F., Tobias, A., Tong, S., Wu, C.F., Zanobetti, A., Zeka, A., Gasparrini, A. (2017). Longer-Term Impact of High and Low Temperature on Mortality: An International Study to Clarify Length of Mortality Displacement, *Environmental Health Perspectives.* 2017 Oct 27;125(10):107009 DOI: [10.1289/EHP1756](https://doi.org/10.1289/EHP1756)

Ass, M., Franssen, A.E.M., Jans, H.W.A., Lelie, S. van der, Schoeters, K., Vliet, A.J.H. van, Brederode, N.E. van (2008). GGD-richtlijn medische milieukunde. De eikenprocessierups en gezondheid. RIVM Rapport 609330007/2008.

Bachert, C., Vestenbaek, U., Christensen, J., Griffiths, U.K., Poulsen, P.B. (2007). Costeffectiveness of grass allergen tablet (GRAZAX) for the prevention of seasonal grass pollen induced rhinoconjunctivitis - a Northern European perspective. *Clin Exp Allergy* 2007;37(5):772-9.  
DOI: [10.1111/j.1365-2222.2007.02706.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2007.02706.x)

Bais, A.F., Lucas, R.M., Bornman, J.F. *et al.* (2018). Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017. *Photochem. Photobiol. Sci.* 2018, 17, 127. DOI: [10.1039/c7pp90043k](https://doi.org/10.1039/c7pp90043k)

Baken, K.A., Sjerps, R.M.A., Schriks, M., Wezel A.P. van (2018). Toxicological risk assessment and prioritization of drinking water relevant contaminants of emerging concern. *Environment International.* Volume 118, September 2018, Pages 293-303  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.05.006>

Baker-Austin, C., Trinanes, J.A., Taylor, N.G.H., Hartnell, R., Siitonen, A. and Martinez-Urtaza, J. (2013). Emerging *Vibrio* risk at high latitudes in response to ocean warming. *Nature Climate Change*, 3(1), 73-77.  
<https://doi.org/10.1038/nclimate1628>

Barnes, C.S. (2018). Impact of Climate Change on Pollen and Respiratory Disease. *Current Allergy and Asthma Reports* 18(11): 59.  
 DOI: [10.1007/s11882-018-0813-7](https://doi.org/10.1007/s11882-018-0813-7)

Blaiss, M.S., Hammerby, E., Robinson, S., Kennedy-Martin, T., Buchs, S. (2018). The burden of allergic rhinitis and allergic rhinoconjunctivitis on adolescents: A literature review. *Ann Allergy Asthma Immunol* 121 (2018) 43–52 DOI: [10.1016/j.anai.2018.03.028](https://doi.org/10.1016/j.anai.2018.03.028)

Boer, J.G. de and Harvey, J.A. (2020). Range-Expansion in Processionary Moths and Biological Control. *Insects*, 11(5), 267.  
<https://doi.org/10.3390/insects11050267>

Botzen W.J.W., Martinius, M.L., Bröde, P., Folkerts, M.A., Ignjacevic, P., Estrada, F., Harmsen, C.N. and Daanen, H.A.M. (2020). Economic valuation of climate change-induced mortality: age dependent cold and heat mortality in the Netherlands. *Climatic Change*  
<https://doi.org/10.1007/s10584-020-02797-0>

Braks, M., Ginkel, R. van, Wint, W., Sedda, L. and Sprong, H. (2013). Climate Change and Public Health Policy: Translating the Science. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2013 Dec 19;11(1):13-29. doi: [10.3390/ijerph110100013](https://doi.org/10.3390/ijerph110100013)

Brandsema, P.S., Euser, S.M., Karagiannis, I., Boer, J.W. den, Hoek, W. van der (2014). Summer increase of Legionnaires' disease 2010 in The Netherlands associated with weather conditions and implications for source finding. *Epidemiol Infect* 142(11): 2360-2371.  
 DOI: [10.1017/S0950268813003476](https://doi.org/10.1017/S0950268813003476)

Brandwagt, D., Spit, S., Sprong, H., Hofhuis, A., Stroo, C.J., Gassner, F., Fanoy, E. (2017). Tekenencefalitis, een nieuwe ziekte in Nederland? *Infectieziekten Bulletin Nummer 4 | Jaargang 28 | 2017*.

Brown, L., Medlock, J. and Murray, V. (2014). Impact of drought on vector-borne diseases - how does one manage the risk? *Public Health*. 2014 Jan;128(1):29-37. doi: [10.1016/j.puhe.2013.09.006](https://doi.org/10.1016/j.puhe.2013.09.006)

Burke, M., González, F., Baylis, P., Heft-Neal, S., Baysan, C., Basu, S. and Hsiang, S. (2018). Higher temperatures increase suicide rates in the United States and Mexico. *Nature Climate Change*, 8: 723-729  
<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0222-x>

CBS (2018). Statline. Personen met verstrekte geneesmiddelen; leeftijd en geslacht, R06 Antihistaminica v systemisch gebruik.

Chardon, J.E. and Evers, E.G. (2017). Improved swift Quantitative Microbiological Risk Assessment (sQMRA) methodology. *Food Control*, 73, 1285-1297. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.10.049>

Clayton, S. (2020). Climate anxiety: Psychological responses to climate change. *Journal of Anxiety Disorders* 74 (2020) 102263

<https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2020.102263>

Clayton, S., Manning, C. and Hodge, C. (2014). *Beyond storms & droughts: the psychological impacts of climate change*. Washington, D.C: American Psychological Association and ecoAmerica; 2014.

Crabtree, A. (2012). Climate change and mental health following flood disasters in developing countries, A review of the epidemiological literature: What do we know, what is being recommended? *Australasian Journal of Disaster and Trauma Studies* 2012(1): 21-30.

Daniel, M., Danielová, V., Fialová, A., Malý, M., Kříž, B. and Nuttall, P.A. (2018). Increased relative risk of tick-borne encephalitis in warmer weather. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2018 Mar 22;8:90. DOI: [10.3389/fcimb.2018.00090](https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00090)

Dechezleprêtre, A., Rivers, N. and Stadler, B. (2019). The economic cost of air pollution: evidence from Europe, OECD, Economics department working papers No. 1584 - ECO/WKP(2019)54.

Doherty, R.M., Wild, O., Shindell, D.T., Zeng, D., MacKenzie, I.A., Collins, W.J., Fiore, A.M., Stevenson, D.S., Schultz, M.G., Hess, P., Derwent, R.G. and Keating, T.J. (2013). Impacts of climate change on surface ozone and intercontinental ozone pollution: A multimodel study. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 3744-3763, DOI:[10.1002/jgrd.50266](https://doi.org/10.1002/jgrd.50266)

EASAC policy report 38 (2019). The imperative of climate action to protect human health in Europe. German National Academy of Sciences Leopoldina 2019. ISBN 978-3-8047-4011-2.

EEA (2019). *Air Quality in Europe – 2019 report* (report 10/2019).

EEAP (2019). *Environmental Effects and Interactions of Stratospheric Ozone Depletion, UV Radiation, and Climate Change. 2018 Assessment Report*. Nairobi: Environmental Effects Assessment Panel, United Nations Environment Programme (UNEP) 390 pp.  
<https://ozone.unep.org/science/assessment/eeap>

Felzer, B.S. (2020). Cleaner air is a win-win, *Nature Climate Change*. 10: 104-105. DOI: [10.1038/s41558-019-0685-4](https://doi.org/10.1038/s41558-019-0685-4)

Gao, J., Cheng, Q., Duan, J., Xu, Z., Bai, L., Zhang, Y., Zhang, H., Wang, S., Zhang, Z., Su, H. (2019). Ambient temperature, sunlight duration, and suicide: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2019; 646: 1021-1029. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.07.098](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.098)

Garssen, J., Harmsen, C. and Beer, J. de (2005). The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *Euro Surveillance* 2005;10(7): 165-8.

Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M.L., Guo, Y.L., Wu, C.F., Kan, H., Yi, S.M., De Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P.H., Honda, Y., Kim, H. and Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet* 2015; 386: 369–75. DOI: [10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)

Gasparrini, A., Guo, Y., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A.M., Huber, V., Tong, S., De Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Nascimento Saldiva, P.H., Lavigne, E., Matus Correa, P., Valdes Ortega, N., Kan, H., Osorio, S., Kyselý, J., Urban, A., Jaakkola, J.J.K., Rytö, N.R.I., Pascal, M., Goodman, P.G., Zeka, A., Michelozzi, P., Scortichini, M., Hashizume, M., Honda, Y., Hurtado-Diaz, M., Cesar Cruz, J., Seposo, X., Kim, H., Tobias, A., Iñiguez, C., Forsberg, B., Åström, D.O., Ragettli, M.S., Guo, Y.L., Wu, C.F., Zanobetti, A., Schwartz, J., Bell, M.L., Dang, T.N., Van, D.D., Heaviside, C., Vardoulakis, S., Hajat, S., Haines, A. and Armstrong, B. (2017). Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *The Lancet Planetary Health*. 2017 Dec;1(9): e360-e367. DOI: [10.1016/S2542-5196\(17\)30156-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0)

GBD (2017). Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2016. Disability Weights. Seattle, United States: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2017.

Gerlofs-Nijland, M.E., Ruysenaars, P.G., Marra, M., Vries, W.J. de, Maas, R.J.M., Ameling, C.B., Houthuijs, D.J.M., Fischer, P.H., Wesseling, J.P. en Swart, W.J.R. (2019). Methodrapport gezondheidsindicatoren. Schone Lucht Akkoord. RIVM-rapport 2019-0209.

Gezondheidsraad. (2018). Gezondheidseffecten luchtverontreiniging. Achtergronddocument bij het advies Gezondheidswinst door schonere lucht. Den Haag: Gezondheidsraad, 2018; publicatienr. 2018/01A.

Gier, B. de, Schimmer, B., Mooij, S.H., Raven, C.F.H., Leenstra, T. and Hahné, S.J.M. (2018). Staat van infectieziekten in Nederland, 2018. Bilthoven: RIVM; 2018.

Gleason, J.A., Kratz, N.R., Greeley, R.D. and Fagliano, J.A. (2016) Under the Weather: Legionellosis and Meteorological Factors. *EcoHealth* 2016 13, 293-302 DOI: [10.1007/s10393-016-1115-y](https://doi.org/10.1007/s10393-016-1115-y)

Gobler, C.J., Doherty, O.M., Hattenrath-Lehmann, T.K., Griffith, A.W., Kang, Y. and Litaker, R.W. (2017). Ocean warming since 1982 has expanded the niche of toxic algal blooms in the North Atlantic and North Pacific oceans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(19), 4975-4980. DOI: [10.1073/pnas.1619575114](https://doi.org/10.1073/pnas.1619575114)

Gooijer, L. en Mennen, M. (2021). Klimaataakkoord: effecten van nieuwe energiebronnen op gezondheid en veiligheid in Nederland. RIVM-rapport: 2021-0054.

Groen, T.A., L'Ambert, G., Bellini, R., Chaskopoulou, A., Petric, D., Zgomba, M., Marrama, L. and Bicout, D.J. (2017). Ecology of West Nile virus across four European countries: empirical modelling of the *Culex pipiens* abundance dynamics as a function of weather. *Parasit Vectors*. 2017 Oct 26;10(1):524. DOI: [10.1186/s13071-017-2484-y](https://doi.org/10.1186/s13071-017-2484-y)

Groeskamp, S. and Kjellsson, J. (2020). NEED - The Northern European Enclosure Dam for if Climate Change Mitigation Fails. *Bulletin of the American Meteorological Society* 101 (7): E1174–E1189. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0145.1>

Haagsma, J.A., Maertens de Noordhout, C., Polinder, S., Vos, T., Havelaar, A.H., Cassini, A., Devleeschauwer, B., Kretzschmar, M.E., Speybroeck, N. and Salomon, J.A. (2015). Assessing disability weights based on the responses of 30,660 people from four European countries. *Population Health Metrics*. 2015 13:10 DOI: [10.1186/s12963-015-0042-4](https://doi.org/10.1186/s12963-015-0042-4)

Haasnoot, M., Diermanse, F., Kwadijk, J., Winter, R. de en Winter, G. (2019). Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging - Een verkenning, Deltares.

Haasnoot, M., Kwadijk, J., Alphen, J. van, Le Bars, D., Hurk, B. van den, Diermanse, F., Spek, A. van der, Oude Essink, G., Delsman, J. and Mens M. (2020). Adaptation to uncertain sea-level rise; how uncertainty in Antarctic mass-loss impacts the coastal adaptation strategy of the Netherlands. *Environmental Research Letters*, Volume 15, Number 3. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab666c>

Hamaoui-Laguél, L., Vautard, R., Liu, L., Solmon, F., Viovy, N., Khvorostyanov, D., Essl, F., Chuine, I., Colette, A., Semenov, M.A., Schaffhauser, A., Storkey, J., Thibaudon, M. and Epstein, M.M. (2015). Effects of climate change and seed dispersal on airborne ragweed pollen loads in Europe. *Nature Climate Change*, 5, 8, 766-771. <https://doi.org/10.1038/nclimate2652>

Hartemink, N., Vliet, A. van, Sprong, H., Jacobs, F., Garcia-Martí, I., Zurita-Milla, R. and Takken, W. (2019). Temporal-Spatial Variation in Questing Tick Activity in the Netherlands: The Effect of Climatic and Habitat Factors. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. Jul 2019.494-505. <http://doi.org/10.1089/vbz.2018.2369>

Hellberg, R.S. and Chu, E. (2016). Effects of climate change on the persistence and dispersal of foodborne bacterial pathogens in the outdoor environment: A review. *Critical Reviews in Microbiology*, 42(4), 548-572. DOI: [10.3109/1040841X.2014.972335](https://doi.org/10.3109/1040841X.2014.972335)

Hellgren, J., Cervin, A., Nordling, S., Bergman, A. and Cardell, L.O. (2010). Allergic rhinitis and the common cold – high cost to society. *Allergy* 2010; 65: 776-783. DOI: [10.1111/j.1398-9995.2009.02269.x](https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2009.02269.x)

Ho, J.C., Michalak, A.M. and Pahlevan, N. (2019). Widespread global increase in intense lake phytoplankton blooms since the 1980s. *Nature*, 574(7780), 667-670. DOI: [10.1038/s41586-019-1648-7](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1648-7)

Hoek, G., Brunekreef, B., Verhoeff, A., Wijnen, J. van and Fischer, P. (2000). Daily mortality and air pollution in The Netherlands. *J Air Waste Manag Assoc.* 2000 Aug; 50(8):1380-1389. DOI: [10.1080/10473289.2000.10464182](https://doi.org/10.1080/10473289.2000.10464182)

Hofhuis, A., Bennema, S., Harms, M., Vliet, A.J. van, Takken, W., Wijngaard, C.C. van den and Pelt, W. van (2016). Decrease in tick bite consultations and stabilization of early Lyme borreliosis in the Netherlands in 2014 after 15 years of continuous increase. *BMC Public Health.* 2016;16:425. DOI: [10.1186/s12889-016-3105-y](https://doi.org/10.1186/s12889-016-3105-y)

Hoz Caballer, B. de la, Rodriguez, M., Fraj, J., Cerecedo, I., Antolin-Amerigo, D. and Colas, C. (2013). Allergic rhinitis and its impact on work productivity in primary care practice and a comparison with other common diseases: the Cross-sectional study to evaluate work Productivity in allergic Rhinitis compared with other common diseases (CAPRI) study. *Am J Rhinol Allergy* 2013;26:390-394. DOI: [10.2500/ajra.2012.26.3799](https://doi.org/10.2500/ajra.2012.26.3799)

Huynen, M.M.T.E., Hollander A.E.M. de, Martens, P. en Mackenbach, J.P. (2008). *Mondiale milieuveranderingen en volksgezondheid; Stand van de Kennis.* Universiteit Maastricht in samenwerking met Erasmus MC Rotterdam, Planbureau voor de Leefomgeving en het RIVM voor ZonMw.

Huynen, M., Vliet, A. van, Staatsen, B., Hall, L., Zwartkruis, J., Kruize, H., Betgen, C., Verboom, J. en Martens, P. (2019). *Kennisagenda klimaat en gezondheid.* ZonMw.

Huynen, M.M.T.E. and Martens, P. (2015). Climate Change Effects on Heat-and Cold-Related Mortality in the Netherlands: A Scenario-Based Integrated Environmental Health Impact Assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 13295-13320. DOI: [10.3390/ijerph121013295](https://doi.org/10.3390/ijerph121013295)

Huynen, M.M.T.E., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M.P. and Kunst, A.E. (2001). The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environ. Health Perspect.* 2001, 109, 463-470. DOI: [10.1289/ehp.01109463](https://doi.org/10.1289/ehp.01109463)

IBO (2019). *IBO Luchtkwaliteit.* <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/07/02/eindrapport-ibo-luchtkwaliteit-21-mei-2019>

IFRC (2020). *World Disasters Report 2020. Come heat or high water.* International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC). [https://media.ifrc.org/ifrc/wp-content/uploads/2020/11/20201116\\_WorldDisasters\\_Full.pdf](https://media.ifrc.org/ifrc/wp-content/uploads/2020/11/20201116_WorldDisasters_Full.pdf)

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)].* IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Iwamura, T., Guzman-Holst, A. and Murray, K.A. (2020). Accelerating invasion potential of disease vector *Aedes aegypti* under climate change. *Nature Communications*. 2020;11(1):2130. DOI: [10.1038/s41467-020-16010-4](https://doi.org/10.1038/s41467-020-16010-4)

Jans, H. en Franssen, E. (2008). De brandharen van de eikenprocessierups, een reëel probleem voor de huisarts. *HUWE* 51, 396-399 (2008). <https://doi.org/10.1007/BF03086843>

Keatinge, W.R. (2002). Winter mortality and its causes, *International Journal of Circumpolar Health*, 61:4, 292-299, DOI: [10.3402/ijch.v61i4.17477](https://doi.org/10.3402/ijch.v61i4.17477)

Kelfkens, G., Ruysenaars, P. en Ree, J. van der (2021). Klimaataakkoord: Gevolgen van het uitfaseren van fossiele energie voor veiligheid, gezondheid en stikstofdepositie; een update. RIVM Rapport 2020-0143.

KNMI (2015). KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt. Herziene uitgave 2015.

Kraemer, M.U.G., Reiner, R.C., Brady, O.J., Messina, J.P., Gilbert, M. and Pigott, D.M., *et al.* (2019). Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Nature Microbiology*. 2019;4(5):854-63. DOI: [10.1038/s41564-019-0376-y](https://doi.org/10.1038/s41564-019-0376-y)

Kraler, A., Katsiaficas, C. and Wagner, M. (2020). Climate Change and Migration; Legal and policy challenges and responses to environmentally induced migration. Policy Department for Citizens' Rights and Constitutional Affairs, Directorate-General for Internal Policies, European Union.

Kriz, B., Maly, M., Benes, C. and Daniel, M. (2012). Epidemiology of tick-borne encephalitis in the Czech Republic 1970-2008. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. 2012;12(11):994-9. DOI: [10.1089/vbz.2011.0900](https://doi.org/10.1089/vbz.2011.0900)

Lake, I.R., Jones, N.R., Agnew, M., Goodess, C.M., Giorgi, F., Hamaoui-Laguel, L., Semenov, M.A., Solomon, F., Storkey, J., Vautard, R. and Epstein, M.M. (2017). Climate change and future pollen allergy in Europe. *Environmental Health Perspectives* 125(3): 385-391. DOI: [10.1289/EHP173](https://doi.org/10.1289/EHP173)

Lake, I.R. and Barker, G.C. (2018). Climate Change, Foodborne Pathogens and Illness in Higher-Income Countries. *Current environmental health reports*, 5(1), 187-196.

Leerdam, R.C. van (2019). Ervaringen met drinkwaterrestricties in het buitenland en verkenning van de mogelijkheden voor Nederland. RIVM Briefrapport 2019-0116.



Leuken, J.P.G. van, Swart, A.N., Droogers, P. *et al.* (2016). Climate change effects on airborne pathogenic bioaerosol concentrations: a scenario analysis. *Aerobiologia* 32(4): 607-617.  
<https://doi.org/10.1007/s10453-016-9435-5>

Li, S., Gilbert, L., Vanwambeke, S.O., Yu, J., Purse, B.V. and Harrison, P.A. (2019). Lyme Disease Risks in Europe under Multiple Uncertain Drivers of Change. *Environmental health perspectives*. 2019;127(6):67010. DOI: [10.1289/EHP4615](https://doi.org/10.1289/EHP4615)

Limaheluw, J., Roda Husman, A.M. de en Schets, F.M. (2020). Gezondheidsklachten door waterrecreatie in de zomers van 2017, 2018 en 2019. *Infectieziekten Bulletin*, 31(1).

Liu-Helmersson, J., Quam, M., Wilder-Smith, A., Stenlund, H., Ebi, K. and Massad, E., *et al.* (2016). Climate Change and Aedes Vectors: 21st Century Projections for Dengue Transmission in Europe. *EBioMedicine*. 2016;7:267-77. DOI: [10.1016/j.ebiom.2016.03.046](https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.03.046)

Logar-Henderson, C., Ling, R., Tuite, A.R. and Fisman, D.N. (2019). Effects of large-scale oceanic phenomena on non-cholera *Vibriosis* incidence in the United States: Implications for climate change. *Epidemiology and Infection*, 2019 Jan; 147. DOI: [10.1017/S0950268819001316](https://doi.org/10.1017/S0950268819001316)

Maas, R., Grennfelt, P. (eds) (2016). Towards Cleaner Air, Scientific Assessment Report 2016, Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution.

McMichael, A.J. (2013). Globalization, climate change, and human health. *New England Journal of Medicine*, 368(14), 1335-1343.  
<https://doi.org/10.1056/NEJMra1109341>

Meer, G. de *et al.* (2012). Gezondheidsrisico's van zomerse omstandigheden; GGD-richtlijn medische milieukunde, RIVM Rapport 609400007/2012.

Messina, J.P., Brady, O.J., Golding, N., Kraemer, M.U.G., Wint, G.R.W., Ray, S.E., *et al.* (2019). The current and future global distribution and population at risk of dengue. *Nature Microbiology*. 2019;4(9):1508-15.  
<https://doi.org/10.1038/s41564-019-0476-8>

Miles-Novelo, A. and Anderson, C.A. (2019). Climate Change and Psychology: Effects of Rapid Global Warming on Violence and Aggression. *Current Climate Change Reports*, 5, 36-46. 2019. DOI: [10.1007/s40641-019-00121-2](https://doi.org/10.1007/s40641-019-00121-2)

Moermond, C.T.A. Smit, C.E., Leerdam, R.C. van, Aa, N.G.F.M. van der, en Montforts M.H.M.M. (2016). Geneesmiddelen en waterkwaliteit. RIVM Briefrapport 2016-0111.  
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0111.pdf>



Mulder, A., Pijnacker, R., Man, H., de, *et al.* (2019). 'Sickenin' in the rain'—increased risk of gastrointestinal and respiratory infections after urban pluvial flooding in a population-based cross-sectional study in the Netherlands. *BMC Infectious Diseases* (2019) 19:377.  
<https://doi.org/10.1186/s12879-019-3984-5>

Mulder, A.C., Franz, E., Rijk, S. de, Versluis, M.A.J., Coipan, C., Buij, R., Müskens, G., Koene, M., Pijnacker, R., Duim, B., Bloois, L.V.G., Veldman, K., Wagenaar, J.A., Zomer, A.L., Schets, F.M., Blaak, H. and Mughini-Gras, L. (2020). Tracing the animal sources of surface water contamination with *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*. *Water Res.* 2020 Sep 20;187:116421. Epub ahead of print.  
 DOI: [10.1016/j.watres.2020.116421](https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116421)

Mullins, J. and White, C. (2019). Temperature and mental health: Evidence from the spectrum of mental health outcomes. *Journal of Health Economics* 2019 68: 102240.  
 DOI: [10.1016/j.jhealeco.2019.102240](https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2019.102240)

Munro, A., Kovats, R.S., Rubin, G.J. *et al.* (2017). Effect of evacuation and displacement on the association between flooding and mental health outcomes: a cross-sectional analysis of UK survey. *Lancet Planetary Health* 2017 Jul; 1(4), e134–e141. DOI: [10.1016/S2542-5196\(17\)30047-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30047-5)

Nah, K., Magpantay, F.M.G., Bede-Fazekas, Á., Röst, G., Trájer, A.J., Wu, X., *et al.* (2019). Assessing systemic and non-systemic transmission risk of tick-borne encephalitis virus in Hungary. *PLoS ONE*. 2019;14(6).  
 DOI: [10.1371/journal.pone.0217206](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217206)

NAS (2016). Nationale adaptatie strategie. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

NHG (2018). NHG-Standaard. Allergische en niet-allergische rinitis (M48). Versie 3.0, januari 2018. Nederlands Huisartsen Genootschap.

Neria, Y. and Shultz J.M. (2012). Mental health effects of Hurricane Sandy: characteristics, potential aftermath, and response. *JAMA* 308(24): 2571-2572. DOI: [10.1001/jama.2012.110700](https://doi.org/10.1001/jama.2012.110700)

Obradovich, N., Migliorini, R., Paulus, M.P., Rahwan, I. (2018). Empirical evidence of mental health risks posed by climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*; 2018 Oct 23 115(43):10953-10958. DOI: [10.1073/pnas.1801528115](https://doi.org/10.1073/pnas.1801528115)

Ogden, N.H., Lindsay, L.R. (2016). Effects of Climate and Climate Change on Vectors and Vector-Borne Diseases: Ticks Are Different. *Trends in Parasitology*. 2016;32(8):646-56.  
<https://doi.org/10.1016/j.pt.2016.04.015>

Orru, H., Åström, C., Andersson, C., Tamm, T., Ebi K.L. and Forsberg, B. (2019). Ozone and heat-related mortality in Europe in 2050 significantly affected by changes in climate, population and greenhouse gas emission, *Environ. Res. Lett.* 14 (2019) 074013  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1cd9>

Park, S.H., Jin, Y.H., Ahn, M.J., Han, S.H., Kim, H.S., Kim, J.S., Park, J.H., Hong, C.K., Park, S.Y., Oh, A.R., Lee, J.H., Kim, I.Y. and Shin, Y.S. (2019). Epidemiology of *Legionella* and climatic variables in Seoul, Korea. *Journal of Bacteriology and Virology*, 49(2), 59-68.

Patrick, M.E., Christiansen, L.E., Waino, M., Ethelberg, S., Madsen, H. and Wegener, H.C. (2004, Dec). Effects of climate on incidence of *Campylobacter* spp. in humans and prevalence in broiler flocks in Denmark. *Appl Environ Microbiol*, 70(12), 7474-7480.  
DOI: [10.1128/AEM.70.12.7474-7480.2004](https://doi.org/10.1128/AEM.70.12.7474-7480.2004)

PBL (2014). Kleine kansen – grote gevolgen. Slachtoffers en maatschappelijke ontwrichting als focus voor het waterveiligheidsbeleid. Den Haag: PBL (Planbureau voor de Leefomgeving). ISBN: 978-94-91506-69-7, PBL-publicatienummer: 1031.

Perret, J.L., Rais, O. and Gern, L. (2004). Influence of climate on the proportion of *Ixodes ricinus* nymphs and adults questing in a tick population. *J Med Entomol.* 2004 May;41(3):361-5. DOI: [10.1603/0022-2585-41.3.361](https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.3.361)

Pijnacker, R., Friesema, I., Mughini Gras, L., Lagerweij, G., Pelt, W. van and Franz, E. (2019). Disease burden of food-related pathogens in the Netherlands, 2018 (Ziektelast van via voedsel overdraagbare ziekteverwekkers in Nederland in 2018, Issue. RIVM Letter report 2019-0086.

Pul W.A.J. van, Fischer, P.H., Leeuw, F.A.A.M. de, Maas, R.J.M., Mooibroek, D., Noije, T.P.C. van, Roemer, M.G.M., Sterkenburg, A. (2011). Dossier Ozon 2011, Een overzicht van de huidige stand van kennis over ozon op leefniveau in Nederland, RIVM-rapport 680151001

Rijks, J.M., Kik, M.L., Slaterus, R., Foppen, R., Stroo, A., IJzer, J., Stahl, J., Gröne, A., Koopmans, M., Jeugd, H.P. van der, Reusken, C. (2016) Widespread Usutu virus outbreak in birds in the Netherlands, 2016. *Euro Surveillance.* 2016 Nov 10;21(45):30391. DOI: [10.2807/1560-7917.ES.2016.21.45.30391](https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2016.21.45.30391)

Rigaud, K.K., Sherbinin, A.de , Jones, B., Bergmann, J., Clement, V., Ober, K., Schewe, J., Adamo, S., McCusker, B., Heuser, S. and Midgley, A. (2018). *Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration.* Washington, DC: The World Bank.

RIVM (2018a). *Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2018. Een gezond vooruitzicht.*

RIVM (2018b). Integratiematen voor de Volksgezondheid Toekomst Verkenning (VTV) 2018. Resultaten en methodologie. p. 27.  
 Royal Society (2008). Ground-level ozone in the 21st century: future trends, impacts and policy implications, Policy document 15/08, p. 37.

Rubel, F. and Brugger K. (2020). Tick-borne encephalitis incidence forecasts for Austria, Germany, and Switzerland, *Ticks and Tick-borne Diseases*, Volume 11, Issue 5, 2020, 101437.  
 DOI: [10.1016/j.ttbdis.2020.101437](https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101437)

Rushton, S.P., Sanderson, R.A., Diggle, P.J., Shirley, M.D.F., Blain, A.P., Lake, I., Maas, J.A., Reid, W.D.K., Hardstaff, J., Williams, N., Jones, N.R., Rigby, D., Strachan, N.J.C., Forbes, K.J., Hunter, P.R., Humphrey, T.J. and O'Brien, S.J. (2019). Climate, human behaviour or environment: Individual-based modelling of *Campylobacter* seasonality and strategies to reduce disease burden. *Journal of Translational Medicine*, 17(1):34. DOI: [10.1186/s12967-019-1781-y](https://doi.org/10.1186/s12967-019-1781-y)

Sapkota, A., Murtugudde, R., Curriero, F.C., Upperman, C.R., Ziska, L., Jiang, C. (2019). Associations between alteration in plant phenology and hay fever prevalence among US adults: Implication for changing climate. *PLoS ONE* 14(3): e0212010.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212010>

Schaffner, U., Steinbach, S., Sun, Y., Skjøth, C., Weger L. de, Lommen, S., Augustinus, B., Bonini, M., Karrer, G., Šikoparija, B., Thibaudon, M., Müller-Schärer, H. (2020). Biological weed control to relieve millions from *Ambrosia* allergies in Europe. *Nature Communications*, 11: 1745.  
 DOI: [10.1038/s41467-020-15586-1](https://doi.org/10.1038/s41467-020-15586-1)

Schets, F.M., Oost, R. van der, Waal, D.B. van de, Lammertink, M., Slot, D., Druten, G.H.Th.M. van (2020). Blauwalgenprotocol 2020. RIVM rapport 2020-0107.

Schreuder, K., Groot, J. de, Hollestein, L. en Louwman, M. (2019). Huidkanker in Nederland - cijfers uit 30 jaar Nederlandse Kankerregistratie. IKNL. 2019.  
[https://iknlsawebprod.blob.core.windows.net/mediacontainer/iknl/media/pdfs/kankersoorten/iknl\\_huidkanker-in-nl\\_rapport\\_nkr.pdf](https://iknlsawebprod.blob.core.windows.net/mediacontainer/iknl/media/pdfs/kankersoorten/iknl_huidkanker-in-nl_rapport_nkr.pdf)

Schijven, J., Bouwknecht, M., Roda Husman, A.M. de, Rutjes, S., Sudre, B., Suk, J.E. and Semenza, J.C. (2013). A decision support tool to compare waterborne and foodborne infection and/or illness risks associated with climate change. *Risk Anal*, 33(12), 2154-2167.  
 DOI: [10.1111/risa.12077](https://doi.org/10.1111/risa.12077)

Schmalwieser, A.W., Schmalwieser, V.T., Schmalwieser, S.S. (2019). Influence of Air Temperature on the UV Exposure of Different Body Sites Due to Clothing of Young Women During Daily Errands. *Photochemistry and Photobiology*, 2019, 95: 1068-1075. DOI: [10.1111/php.13088](https://doi.org/10.1111/php.13088)

Schwalm, C.R., Glendon, S., Duffy, P.B., (2020). RCP8.5 tracks cumulative CO<sub>2</sub> emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 117, 19656-19657. DOI: [10.1073/pnas.2007117117](https://doi.org/10.1073/pnas.2007117117)

Shepherd, A., Ivins, E., Rignot, E. *et al.* (2020). Mass balance of the Greenland Ice Sheet from 1992 to 2018. *Nature* 579, 233–239 (2020).  
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1855-2>

Sikkema, R.S., Schrama, M., Berg, T. van den, Morren, J., Munger, E., Krol, L., Beek, van der J.G., Blom, R., Chestakova, I., Linden, A. van der, Boter, M., Mastrigt, T. van, Molenkamp, R., Koenraad, C.J., Brand, J.M. van den, Oude Munnink, B.B., Koopmans, M.P., Jeugd, H. van der (2020). Detection of West Nile virus in a common whitethroat (*Curruca communis*) and *Culex* mosquitoes in the Netherlands, 2020. *Euro Surveillance*. 2020 Oct;25(40):2001704. DOI: [10.2807/1560-7917.ES.2020.25.40.2001704](https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.40.2001704)

Simpson, D.M., Weissbecker, I. and Sephton, S.E. (2011). Extreme weather-related events: Implications for mental health and well-being. *Climate Change and Human Well-being: Global Challenges and Opportunities*. Weissbecker, I., Ed. Springer-Verlag, New York, 57-78.

Smith, B.A., Meadows, S., Meyers, R., Parmley, E.J. and Fazil, A. (2019). Seasonality and zoonotic foodborne pathogens in Canada: Relationships between climate and *Campylobacter*, *E. coli* and *Salmonella* in meat products. *Epidemiology and Infection*, 147. DOI: [10.1017/S0950268819000797](https://doi.org/10.1017/S0950268819000797)

Slaper, H., Dijk, A. van, Outer, P. den, Kranen, H. van, Slobbe, L. (2017). UV-straling en gezondheid: Probleemveld en kennisbasis bij het RIVM. RIVM Briefrapport 2017-0074.

Sprong, H., Hofhuis, A., Gassner, F. *et al.* (2012). Circumstantial evidence for an increase in the total number and activity of borrelia-infected ixodes ricinus in the Netherlands. *Parasites Vectors* 5, 294 (2012). <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-294>

Stanke, C., Kerac, M., Prudhomme, C., Medlock, J. and Murray, V. (2013) Health Effects of Drought: a Systematic Review of the evidence. *PLoS Curr* 2013; 5. DOI: [10.1371/currents.dis.7a2cee9e980f91ad7697b570bcc4b004](https://doi.org/10.1371/currents.dis.7a2cee9e980f91ad7697b570bcc4b004)

Sterk, A., Schets, F.M., Roda Husman, A.M. de, Nijs, T. de, Schijven, J.F. (2015). Effect of Climate Change on the Concentration and Associated Risks of *Vibrio* Spp. in Dutch Recreational Waters. *Risk Anal* 35(9): 1717-1729. DOI: [10.1111/risa.12365](https://doi.org/10.1111/risa.12365)

Sterk, A., Schijven, J., Roda Husman, A.M. de and Nijs, T. de (2016). Effect of climate change on runoff of *Campylobacter* and *Cryptosporidium* from land to surface water. *Water Res*, 95, 90-102. DOI: [10.1016/j.watres.2016.03.005](https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.005)

Stone, B.L., Tourand, Y., Brissette, C.A. (2017). Brave New Worlds: The Expanding Universe of Lyme Disease. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. 2017;17(9):619-29. DOI: [10.1089/vbz.2017.2127](https://doi.org/10.1089/vbz.2017.2127)

Thambiran, T., Diab, R.D. (2011). The case for integrated air quality and climate change policies. *Environ. Sci. Policy* (2011), <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.002>

Tong, S. (2017). Flooding-related displacement and mental health. *Lancet Planetary Health* 1, e124-e125. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30062-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30062-1)

Trájer, A., Bobvos, J., Páldy, A., Krisztalovics, K. (2013). Association between incidence of Lyme disease and spring-early summer season temperature changes in Hungary - 1998-2010. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 2013;20(2):245-51. PMID: 23772569.  
Dool, R. van den (Mulier Instituut) (2020): Nationaal Sportonderzoek najaar 2018. DANS. <https://doi.org/10.17026/dans-zsd-xw2j>

Ree, J. van der, Honig, E., Uijt De Haag, P.A.M., Kelfkens, G., Ven, M.F. van de (2019). Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur. RIVM Rapport 2019-0076.

Vezzulli, L., Grande, C., Reid, P. C., Hélaouët, P., Edwards, M., Höfle, M. G., Brettar, I., Colwell, R. R. and Pruzzo, C. (2016). Climate influence on *Vibrio* and associated human diseases during the past half-century in the coastal North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(34), E5062-E5071. DOI: [10.1073/pnas.1609157113](https://doi.org/10.1073/pnas.1609157113)

Vicedo-Cabrera, A.M., Sera, F. and Gasparinni, A. (2019). Hands-on Tutorial on a Modeling Framework for Projections of Climate Change Impacts on Health. *Epidemiology* 30(3): 321-329. DOI: [10.1097/EDE.0000000000000982](https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000982)

Vins, H., Bell, J., Saha, S., Hess, J.J. (2015). The Mental Health Outcomes of Drought: A Systematic Review and Causal Process Diagram, *Int. J. Environ. Res. Public Health*. DOI: [10.3390/ijerph121013251](https://doi.org/10.3390/ijerph121013251)

Vlaskamp, D.R., Thijsen, S.F., Reimerink, J., Hilkens, P., Bouvy, W.H, Bantjes, S.E., Vlaminckx, B.J., Zaaijer, H., Kerkhof, H.H. van den, Raven, S.F. and Reusken, C.B. (2020). First autochthonous human West Nile virus infections in the Netherlands, July to August 2020. *Eurosurveillance*, 25, 2001904 (2020), <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.46.2001904>

Vuuren, D.P. van, Edmonds, J., Kainuma, M. et al. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109: 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

Walker, S., Khan-Wasti, S., Fletcher, M., Cullinan, P., Harris, J., Sheikh, A. (2007). Seasonal allergic rhinitis is associated with a detrimental effect on examination performance in United Kingdom teenagers: case-control study. *J Allergy Clin Immunol* 2007; 120(2):381-7 DOI: [10.1016/j.jaci.2007.03.034](https://doi.org/10.1016/j.jaci.2007.03.034)

Watts, N. *et al.* (2018). The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come. *The Lancet* Volume 392, Issue 10163, 8–14 December 2018, p. 2479-2514. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32594-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32594-7)

Weger, L.A. de (2008). Pollenallergie in Nederland. *Nederlands Tijdschrift Klinisch Chemische Labgeneeskunde* 33: 21-25.

Weger L.A. de en Hiemstra, P., (2009). Klimaatverandering en pollenallergie in Nederland. *Ned Tijdschr Geneeskd.* 2009;153:A1410

Weger, L.A. de, Linden, A. van der, Terreehorst, I., Slikke, W. van der, Vliet, A. van en Hiemstra, P. (2009). *Ambrosia* in Nederland: allergische sensibilisatie en verspreiding van planten en pollen. *Ned Tijdschr Geneeskd.* 2009;153:B340.

Wenz, L. and Levermann, A. (2016). Enhanced economic connectivity to foster heat stress-related losses. *Science Advances*, 2(6), e1501026. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501026>

Whitehead, P.G., Wilby, R.L., Battarbee, R.W., Kernan, M. and Wade, A.J. (2009). A review of the potential impacts of climate change on surface water quality, *Hydrological Sciences Journal*, 54:1, 101-123. DOI: [10.1623/hysj.54.1.101](https://doi.org/10.1623/hysj.54.1.101)

WMO (World Meteorological Organization) (2018). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 588 pp., Geneva, Switzerland, 2018.

Wuijts S., Grinten, E. van der, Meijers, E., Bak-Eijsberg, C.I., Zwolsman, J.J.G. (2013). Impact klimaat op oppervlaktewater als bron voor drinkwater. RIVM Rapport 609716007/2013.

Wuijts S., Vros, C., Schets, F.M., Braks, M.A.H. (2014), Effecten klimaat op gezondheid - Actualisatie voor de Nationale Adaptatiestrategie 2016. RIVM Rapport 2014-0044.

Ziska, L.H., Makra, L., Harry, S.K. (2019) Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. *Lancet Planet Health* 2019; 3: e124-31. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30015-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30015-4)

## 7 Bijlagen

### 7.1 Methodologiebeschrijving van de warmte/koudesterfte-berekeningen

*Maciek Strak, Caroline Ameling, Danny Houthuijs*

De doelstelling is om een beeld te schetsen van wat de effecten van temperatuur op de vroegtijdige sterfte kunnen zijn bij verschillende opwarmingsscenario's.

Hiervoor is gebruikgemaakt van de methodiek die in het Multi-City Multi-Country (MCC) Research Network is ontwikkeld. MCC is een internationaal samenwerkingsverband dat gericht is op het produceren van epidemiologisch bewijs voor associaties tussen het weer en gezondheid. Het RIVM is sinds begin 2019 bij dit netwerk aangesloten en brengt gegevens over Nederland in.

De werkwijze van de MCC voor de geprojecteerde health impact onder verschillende klimaatscenario's is beschreven in een paper in *Epidemiology*.<sup>54</sup> Het is een uitwerking van de methodiek die in eerdere papers is toegepast,<sup>55,56</sup> toen nog zonder Nederlandse data.

De methodiek die is gebruikt voor deze berekeningen is gebaseerd op het artikel in *Epidemiology* en gerelateerde R-scripts,<sup>57</sup> en kent vier stappen.

#### **Stap 1: Afleiden van een leeftijdsafhankelijke blootstellingsresponsrelatie tussen temperatuur en sterfte**

##### *Gebruikte data*

- Geobserveerde totale sterfte per dag in Nederland uitgesplitst naar leeftijdscategorieën (periode 1995-2019) (bron: CBS)
- Geobserveerde etmaalgemiddelde temperatuur op station De Bilt (periode 1995-2019) (bron: KNMI)

In de toekomst zal de leeftijdsopbouw van de Nederlandse bevolking veranderen. Het risico op vroegtijdige sterfte in relatie tot temperatuur is mede afhankelijk van de leeftijd. De afleiding van de blootstellingsresponsrelatie is voor verschillende leeftijdsgroepen apart uitgevoerd zodat bij de scenarioberekeningen rekening kan worden gehouden met de invloed van de veranderde bevolkingssamenstelling. Omdat we later in het proces gebruikmaken van populatie attributieve fracties, is niet zozeer de leeftijdsopbouw van de populatie van belang maar de verdeling van de sterfte over verschillende leeftijdscategorieën.

<sup>54</sup> Vicedo-Cabrera A.M. *et al.*, A hands-on tutorial on a modelling framework for projections of climate change impacts on health. *Epidemiology*. 2019.

<sup>55</sup> Gasparrini A., *et al.*, Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *The Lancet Planetary Health*. 2017;1(9)e360-e367

<sup>56</sup> Vicedo-Cabrera A.M. *et al.*, Temperature-related mortality impacts under and beyond Paris Agreement climate change scenarios. *Climatic Change*. 2018;150(3-4):391-40.

<sup>57</sup> [https://github.com/gasparrini/2019\\_vicedo-cabrera\\_Epidem\\_Rcodedata](https://github.com/gasparrini/2019_vicedo-cabrera_Epidem_Rcodedata).

Er is gekozen voor de volgende indeling in leeftijdscategorieën, zodat het absolute aantal sterfgevallen per categorie ongeveer gelijk is:

- tot 65 jaar
- 65 tot 75 jaar
- 75 tot 80 jaar
- 80 tot 85 jaar
- 85 tot 90 jaar
- 90 jaar of ouder

### *Analyse*

De leeftijdsafhankelijke blootstellingsresponsrelatie tussen temperatuur en sterfte is afgeleid op basis van gegevens uit de periode 1995-2019. Hiervoor is een generalised linear model met quasi Poisson distributie gebruikt. De blootstellingresponsrelatie is weergegeven in hoofdstuk 3 van het hoofdrapport.

Op basis van de blootstellingsresponsrelatie, is de 'temperature of minimum mortality' (MMT) afgeleid. De MMT wordt gebruikt als een referentiepunt voor de berekening van relatieve risico's en als temperatuurdrempel om de bijdrage van warmere en koudere dagen aan de totale sterfte door een niet-optimale temperatuur te onderscheiden. De MMT is leeftijdsafhankelijk en bedraagt voor de hierboven genoemde leeftijdscategorieën respectievelijk 17,1, 18,0, 16,1, 17,8, 16,2, 16,9 en 16,5 °C.

## **Stap 2: Projectie van temperatuur in de toekomst**

### *Gebruikte data*

- KNMI referentiescenario voor de periode 1981-2010 voor de etmaalgemiddelde temperatuur op station De Bilt
- KNMI'14-klimaatscenario's voor de jaren 2030, 2050 en 2085 voor de etmaalgemiddelde temperatuur op station De Bilt

De KNMI'14-klimaatscenario's beslaan een periode van 30 jaar (+/- 15 jaar rond het zichtjaar). Er is ook een referentiescenario van het KNMI. Dat beslaat de periode 1981-2010 (wordt dan zichtjaar 1995).

### *Projectie van temperatuur*

Klimaatverandering wordt de komende decennia als onvermijdelijk gezien. De KNMI'14-klimaatscenario's kunnen als basis dienen voor de analyse van de sterfte door klimaatverandering:

- Het KNMI'14-klimaatscenario 2030 is het scenario dat op korte termijn onvermijdelijk is. Interventies voor die tijd zullen op de korte termijn geen effect op de opwarming hebben. Er is gekozen voor het scenario 2030 gebaseerd op de temperaturen in de periode 2016-2045. Ten overvloede vermelden we dat de gebruikte etmaaltemperatuur dus niet de geobserveerde etmaaltemperatuur in 2020 is.
- Scenario's voor de periode rond 2050 (2036-2065), resp. rond 2085 (2071-2100), bij gematigde resp. sterke opwarming (G en W) en bij weinig resp. veel verandering in luchtstromingspatronen (L en H) zijn vier combinaties (G<sub>L</sub> G<sub>H</sub> W<sub>L</sub> en W<sub>H</sub>) van:



- G = 1,5 graad mondiale temperatuur rond 2085 t.o.v. de referentie (1981-2010);
- W = 3,5 graad mondiale temperatuur rond 2085 t.o.v. de referentie (1981-2010);
- L = weinig tot geen verandering in luchtstromingspatronen;
- H = meer verandering in luchtstromingspatronen: meer oostenwind in de zomer, meer westenwind in de winter.

Voor de berekening van de vier combinaties is door het KNMI een andere methode gebruikt dan voor de periode rond 2030. Bij doorrekening van de scenario's van KNMI wordt een temperatuurreeks van 30 jaar gebruikt. Een referentieset van dagelijkse temperaturen uit de periode 1981-2010 wordt getransformeerd naar een 30-jaarperiode rond het betreffende zichtjaar. De transformatie is afhankelijk van het gekozen scenario.

Onderdeel van de methodiek van MCC is dat de temperatuurreeks van de scenario's geschaald en gekalibreerd wordt aan de temperatuurreeks waarop de blootstellingresponsrelatie is gebaseerd. Deze kalibratie is uitgevoerd met de geobserveerde temperaturen uit stap 1 en de KNMI-referentiereeks uit de periode 1981-2010. In dit specifiek geval leidde dit niet tot aanpassing van de temperatuurreksen van de gebruikte klimaatscenario's.

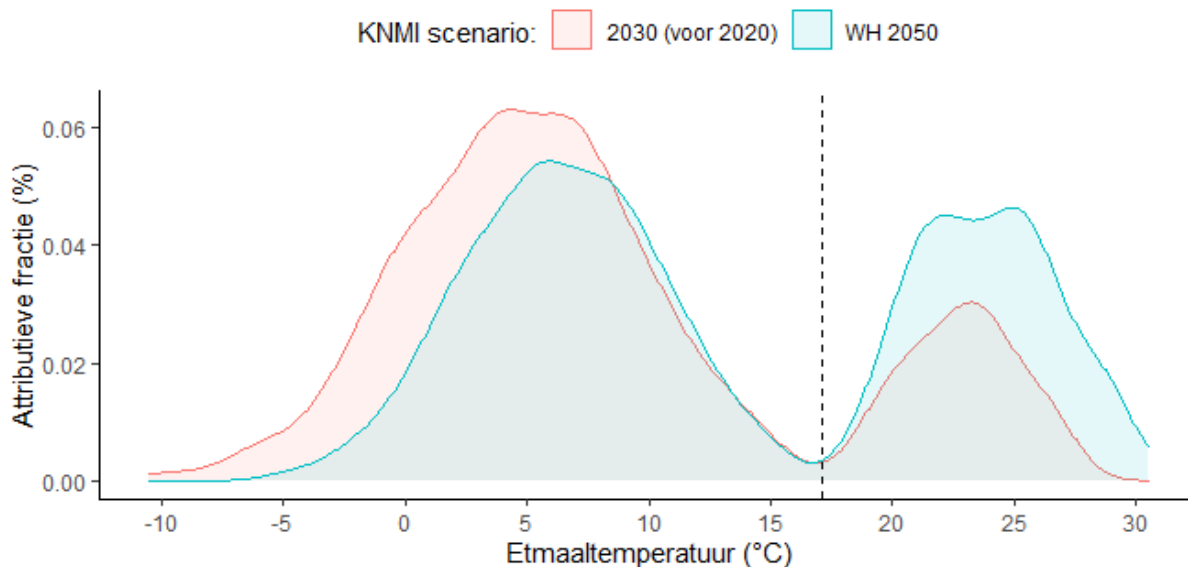
### **Stap 3: Kwantificering van de omvang van de vroegtijdige sterfte als attributieve fractie**

De geprojecteerde sterfte wordt berekend als attributieve fractie. Daartoe wordt allereerst het dagelijkse aantal toe te rekenen sterfgevallen (attributieve aantal) geschat door de afgeleide blootstellingsresponsrelatie toe te passen op de dagelijkse temperatuur in elk van de drie gebruikte KNMI'14-klimaatscenario's (jaren 2020, 2050, 2085). Vervolgens berekenen we de som van de attributieve aantallen per periode van 30 jaar voor het ensemble per KNMI'14-klimaatscenario en temperatuurbereik. Door te delen in de totale sterfte schatten we de bijbehorende attributieve fracties. De kwantificering gebeurt afzonderlijk voor de zes leeftijdscategorieën. Het resultaat is een attributieve fractie per leeftijdsgroep, die is uitgesplitst naar temperaturen boven en onder de MMT.

Deze attributieve fracties vormen de input voor stap 4.

In principe is het mogelijk de attributieve fracties ook op een andere wijze weer te geven. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 1. De toe te rekenen sterfte is hierin verdeeld over het temperatuurbereik van het KNMI'14-klimaatscenario 2030 voor 2020 en van het KNMI'14-klimaatscenario  $W_H$  2050.

Wederom is de toe te rekenen sterfte uitgedrukt in attributieve fractie en weergegeven op de verticale as, echter, ter simplificatie, is in de berekening ditmaal gebruikgemaakt van een blootstellingresponsrelatie die gebaseerd is op de totale populatie (en niet voor de afzonderlijke leeftijdscategorieën).



*Figuur 1 Attributieve fractie voor temperatuur gerelateerde sterfte per etmaaltemperatuur uitgesplitst naar twee scenario's (KNMI'14-klimaatscenario 2030 voor 2020 en van het KNMI'14-klimaatscenario  $W_H$  2050).*

Het voordeel van deze werkwijze is dat gebruik wordt gemaakt van één waarde voor de MMT, en dat in de scenario's geen rekening hoeft te worden gehouden met veranderingen in de demografische opbouw. Uiteraard heeft dit consequenties voor de toepasbaarheid van het figuur.

Figuur 1 illustreert dat een belangrijk deel van de temperatuur-gerelateerde sterfte optreedt in gebied tussen de MMT en de 25 °C, maar dat dit deel naar in de toekomst zal verschuiven. Figuur 1 verklaart de discrepantie die mogelijk optreedt wanneer we spreken over warmtegerelateerde sterfte (toe te schrijven sterfte op dagen boven de MMT) en de sterfte die door het CBS wordt gerapporteerd tijdens hittegolven. Hitegolven worden in Nederland door het KNMI gedefinieerd als een periode van ten minste vijf dagen achtereenvolgend waarop in De Bilt de maximumtemperatuur 25 °C of meer bedraagt (zomerse dagen); waarbij ten minste op drie dagen de maximumtemperatuur 30 °C of meer bedraagt (tropische dagen).

Berekeningen voor toekomstige hittegolven zijn ten behoeve van dit rapport niet uitgevoerd.

#### **Stap 4: Kwantificering van de omvang van de vroegtijdige sterfte als populatie attributieve fractie en als toe te rekenen aantallen van temperatuurgerelateerde sterfte**

##### *Gebruikte data*

- Geprojecteerde sterftecijfers per leeftijdscategorie voor 2020, 2050 en 2060 (bron: CBS)

In de toekomst zullen zowel de demografische opbouw als de 'baseline' sterftetekansen veranderen. In navolging van de VTV-2020 is gebruik gemaakt van de meest recente nationale bevolkingsprognoses van het

CBS.<sup>58</sup> De prognoses lopen tot en met 2060. Voor het zichtjaar 2085 zijn er geen projecties beschikbaar; zodoende zijn de projecties van 2060 voor 2085 gebruikt.

Tabel 1 Bevolkingsaantallen in 2020 en onder de bevolkingsprognoses van het CBS.

Periode	Bevolking	Prognose
<b>2020</b>	17.414.598	-
<b>2050</b>	19.306.000	CBS-bevolkingsprognose 2050
<b>2085</b>	19.552.000	CBS-bevolkingsprognose 2060

### Resultaten

Aan de hand van de resultaten van enkele scenario's wordt toegelicht hoe de laatste stap van de berekeningen is uitgevoerd. De resultaten van alle scenario's zijn in de hoofdtekst te vinden.

Tabel 2 geeft de uitkomsten van de scenarioberekeningen voor het zichtjaar 2020 weer.

In stap 3 zijn de attributieve fracties per leeftijdscategorie berekend, zowel voor dagen met een etmaaltemperatuur onder de MMT, als voor dagen daarboven. Uit de som van beide is de totale attributieve fractie afgeleid. Deze attributieve fracties zijn in de kolommen 3-5 weergegeven. Vervolgens worden op basis van de prognoses van de sterftcijfers (kolom 2) de toe te rekenen absolute aantallen per leeftijdscategorie berekend (kolom 6-8).

Tabel 2 Attributieve fractie en toe te rekenen aantallen per leeftijdscategorie en voor de totale populatie en voor dagen met een etmaaltemperatuur onder en boven de MMT voor het zichtjaar 2020 (KNMI'14-klimaatscenario 2030 voor 2020 en prognose sterfte in 2020).

Leeftijds- categorie	Verwachte totale sterfte (#)	Attributieve fractie (%)			Toe te rekenen aantallen (#)		
		Totaal	<MMT	>MMT	Totaal	<MMT	>MMT
<b>0-65</b>	20.719	1,56	1,23	0,33	323	255	67
<b>65-75</b>	27.035	2,94	2,62	0,32	795	709	85
<b>75-80</b>	18.807	6,99	6,29	0,70	1.315	1.182	132
<b>80-85</b>	24.585	4,34	3,29	1,05	1.068	809	259
<b>85-90</b>	28.491	6,80	5,52	1,28	1.937	1.572	365
<b>90+</b>	33.760	4,85	3,54	1,31	1.638	1.197	441
<b>Totaal</b>	<b>153.397</b>	<b>4,61</b>	<b>3,73</b>	<b>0,88</b>	<b>7.075</b>	<b>5.725</b>	<b>1.350</b>

De kolommen 6-8 zijn vervolgens in de laatste regel van Tabel 2 gesommeerd om de absolute aantallen in de gehele populatie te verkrijgen, uitgesplitst naar dagen boven en onder de MMT. Ook is in de laatste regel de sterfte in de totale populatie weergegeven.

Op basis van de totalen van kolom 2 en 6-8 is vervolgens de populatie attributieve fractie berekend (cursief weergegeven in de laatste regel van de kolommen 3-5). In het zichtjaar 2020 is 4,61% van de sterfte temperatuurgerelateerd. Dagen waar de etmaaltemperatuur onder de

<sup>58</sup> <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/51/prognose-19-miljoen-inwoners-in-2039>

MMT ligt (kouder dan optimaal) dragen 3,73% bij; dagen met een temperatuur boven de MMT (warmer dan optimaal) 0,88%.

In Tabel 3 zijn de resultaten van het KNMI'14-klimaatsscenario W<sub>H</sub> 2050 weergegeven. De berekeningswijze is gelijk aan die voor Tabel 2.

*Tabel 3 Attributieve fractie en toe te rekenen aantallen per leeftijdscategorie en voor de totale populatie en voor dagen met een etmaaltemperatuur onder en boven de MMT voor het zichtjaar 2050 (KNMI'14-klimaatsscenario W<sub>H</sub> 2050 en prognose sterfte in 2050).*

Leeftijdscategorie	Verwachte totale sterfte (#)	Attributieve fractie (%)			Toe te rekenen aantallen (#)		
		Totaal	<MMT	>MMT	Totaal	<MMT	>MMT
<b>0-65</b>	10.603	1,69	0,97	0,73	180	102	77
<b>65-75</b>	12.975	2,46	1,82	0,64	319	237	82
<b>75-80</b>	14.793	6,57	5,06	1,51	972	748	223
<b>80-85</b>	29.922	4,38	2,29	2,09	1.310	684	626
<b>85-90</b>	49.659	6,85	4,28	2,57	3.401	2.126	1.274
<b>90+</b>	89.987	5,06	2,47	2,59	4.553	2.222	2.331
<b>Totaal</b>	<b>207.938</b>	<b>5,16</b>	<b>2,94</b>	<b>2,22</b>	<b>10.734</b>	<b>6.120</b>	<b>4.614</b>

Kolom 2 van Tabel 3 laat niet alleen zien dat de verwachte sterfte in 2050 in absolute zin toeneemt ten opzichte van 2020 (Tabel 2), maar ook dat de sterfte onder ouderen een steeds groter aandeel in de totale sterfte krijgt. Zo bedraagt de verwachte sterfte onder 90-plussers in 2020 22% van de totale sterfte. Dit is in 2050 naar verwachting opgelopen tot 43%.

De blootstellingresponsrelatie in hoofdstuk 3 illustreert dat ouderen een hoger risico hebben op temperatuurgerelateerde sterfte dan jongeren. Dit betekent dat een deel van de verschillen in toe te rekenen aantallen vroegtijdige sterfgevallen tussen Tabel 2 en Tabel 3 mede verklaard wordt door veranderingen in de demografie en veranderingen in sterfterisico's tussen 2020 en 2050, en niet alleen het gevolg is van de verwachte veranderingen in de etmaaltemperatuur.

Om inzicht te geven in de bijdrage van veranderingen in demografie en sterfterisico's zijn daarom in Tabel 4 de resultaten weergegeven van het scenario ingeval de temperaturen in 2020 (KNMI'14-klimaatsscenario 2030 voor 2020) worden toegepast op de prognose van de demografie in 2050. De berekeningswijze is gelijk aan die voor Tabel 2.

Tabel 4 Attributieve fractie en toe te rekenen aantallen per leeftijdscategorie en voor de totale populatie en voor dagen met een etmaaltemperatuur onder en boven de MMT voor het zichtjaar 2050 (KNMI'14-klimaatsscenario 2030 voor 2020 en prognose sterfte in 2050).

Leeftijdscategorie	Verwachte totale sterfte (#)	Attributieve fractie (%)			Toe te rekenen aantallen (#)		
		Totaal	<MMT	>MMT	Totaal	<MMT	>MMT
<b>0-65</b>	10.603	1,56	1,23	0,33	165	131	34
<b>65-75</b>	12.975	2,94	2,62	0,32	381	340	41
<b>75-80</b>	14.793	6,99	6,29	0,70	1.034	930	104
<b>80-85</b>	29.922	4,34	3,29	1,05	1.300	985	315
<b>85-90</b>	49.659	6,80	5,52	1,28	3.377	2.741	636
<b>90+</b>	89.987	4,85	3,54	1,31	4.365	3.190	1.175
<b>Totaal</b>	<b>207.938</b>	<b>5,11</b>	<b>4,00</b>	<b>1,11</b>	<b>10.623</b>	<b>8.316</b>	<b>2.306</b>

De verschillen in getallen in Tabel 3 en 4 geven inzicht in de grootte van de effecten van verwachte veranderingen in temperatuur, gecorrigeerd voor (autonome) demografische ontwikkelingen.

Volledigheidshalve zijn de resultaten van het KNMI'14-klimaatsscenario W<sub>H</sub> 2085 in Tabel 5 weergegeven, analoog aan de resultaten van het scenario W<sub>H</sub> 2050 in Tabel 3. De prognose van de sterftcijfers betreft echter het kalenderjaar 2060, en niet 2085.

Tabel 5 Attributieve fractie en toe te rekenen aantallen per leeftijdscategorie en voor de totale populatie en voor dagen met een etmaaltemperatuur onder en boven de MMT voor het zichtjaar 2085 (KNMI'14-klimaatsscenario W<sub>H</sub> 2085 en prognose sterfte in 2060).

Leeftijdscategorie	Verwachte totale sterfte (#)	Attributieve fractie (%)			Toe te rekenen aantallen (#)		
		Totaal	<MMT	>MMT	Totaal	<MMT	>MMT
<b>0-65</b>	8.934	2,14	0,83	1,30	191	5	116
<b>65-75</b>	11.596	2,40	1,34	1,06	278	155	123
<b>75-80</b>	11.445	6,82	4,19	2,63	780	480	300
<b>80-85</b>	21.099	5,15	1,68	3,47	1.086	355	732
<b>85-90</b>	44.038	7,71	3,44	4,27	3.396	1.515	1.881
<b>90+</b>	110.974	6,12	1,84	4,28	6.792	2.039	4.754
<b>Totaal</b>	<b>208.085</b>	<b>6,02</b>	<b>2,22</b>	<b>3,80</b>	<b>12.525</b>	<b>4.617</b>	<b>7.907</b>

## 7.2 *Vibrio* en klimaatverandering

In het Nederlandse kustwater komen verschillende pathogene *Vibrio*-soorten voor. Afhankelijk van de soort kunnen zij wond- en oorinfecties, of maag-darmklachten veroorzaken. In verschillende landen op het Noordelijk halfrond zijn toenemende trends geobserveerd in de aanwezigheid en het voorkomen van *Vibrio*-soorten in kustwater, en de incidentie van *Vibrio*-infecties (Baker-Austin *et al.*, 2013; Logar-Henderson *et al.*, 2019; Vezzulli *et al.*, 2016; Sterk *et al.*, 2015). Deze trends zijn in verschillende onderzoeken aan klimaatverandering gerelateerd. Voor dit rapport is een eerste schatting gemaakt van het effect van klimaatverandering op de ziektelast van de *Vibrio*-soort *V. parahaemolyticus*. Deze soort veroorzaakt regelmatig maag-darmklachten door consumptie van besmette schelpdieren zoals oesters, maar kan ook gezondheidsklachten geven bij zwemmen. Hier wordt

recreatie in besmet zeewater uitgelicht als transmissieroute, en worden maag-darminfecties als gezondheidseffect genomen. Hoewel *V. parahaemolyticus* vaker wond- en oorinfecties veroorzaakt, zijn hierover geen risicoschattingen bekend. We gebruikten data over het risico op ziekte door infectie met *V. parahaemolyticus* na zwemmen in oppervlaktewater van Sterk *et al.* (2015), en data over recreatiegedrag uit het Nationaal Sportonderzoek (versie najaar 2018). We schatten dat er in de leeftijdscategorie 15-90 jaar tijdens de maanden juni, juli, en augustus, ruim 3800 recreatiegerelateerde gevallen van gematigde diarree (~22 per 100,000 inwoners) door *V. parahaemolyticus* werden veroorzaakt. Dit vertegenwoordigt een ziektelast van ongeveer 6 DALY's. Onder invloed van klimaatverandering neemt het aantal gevallen en de bijbehorende ziektelast toe. De relatieve ziektelast neemt, ten opzichte van de referentieperiode, in 2050 met 36,1% (G<sub>L</sub>) – 97,2% (W<sub>H</sub>) toe en in 2085 met 46,4% (G<sub>L</sub>) – 192,9% (W<sub>H</sub>). De huidige ziektelast van *V. parahaemolyticus* is niet bekend, maar lijkt op basis van beschikbare meldingen beperkt. Mogelijk is het berekende aantal gevallen dus te hoog. Deze resultaten dienen vooral ter indicatie van de relatieve verandering in ziektelast.

Jaar/scenario	Ziektegevallen	DALY's	DALY's/100000	Toename relatieve ziektelast (t.o.v. 2020)
Referentie	3810	5,9	0,034	-
2050G <sub>L</sub>	5738	8,9	0,046	36,1%
2085G <sub>L</sub>	6271	9,7	0,050	46,4%
2050G <sub>H</sub>	6237	9,6	0,050	48,7%
2085G <sub>H</sub>	7107	11,0	0,056	66,1%
2050W <sub>L</sub>	7069	10,9	0,057	67,4%
2085W <sub>L</sub>	10869	16,8	0,086	154,1%
2050W <sub>H</sub>	8317	12,9	0,067	97,2%
2085W <sub>H</sub>	12542	19,4	0,099	192,9%

### **Toelichting**

#### *Bevolking*

De CBS-bevolkingsprognose is gebruikt voor inwonersaantallen van 2050 en 2085. Omdat deze prognoses lopen tot en met 2060, is aangenomen dat het inwonersaantal vanaf 2060 constant is.

#### *Zwemgedrag en zwemactiviteit*

Informatie over het sportgedrag van de Nederlandse bevolking kwam uit het Nationaal Sportonderzoek (Van den Dool, 2020). Van alle respondenten (n=3098, leeftijden 15-89 jaar) geeft 36,9% aan tussen juni en september in Nederlands buitenwater te hebben gezwommen. Uit de verdere data volgt dat binnen deze groep het aantal bezoeken aan zee per persoon in dezelfde periode bij benadering een negatief-binomiale verdeling volgt met size = 0.40 en p = 0.11. We nemen aan dat er bij elk bezoek aan de zee één keer wordt gezwommen, en dat het aantal zwemactiviteiten constant blijft. We bepaalden het aantal zwemactiviteiten per zomer (juni, juli, augustus) voor de bevolking in de leeftijdscategorie 15 t/m 89 jaar.

*Risico's*

Sterk *et al.* (2015) berekenden voor vier locaties (Noordzee: Bergen en Katwijk; Oosterschelde; Waddenzee) het huidige en toekomstige (voor 2050 en 2085 onder de KNMI'14-klimaatscenario's  $G_H$  en  $W_L$ ) risico op ziekte door infectie met *V. parahaemolyticus* na één zwemactiviteit op een dag tijdens het zwemseizoen waarop het water warmer is dan 17 graden. Wij gaan ervan uit dat dit voor elke zwemactiviteit van toepassing is, gezien de periode waarop de recreatiedata betrekking hebben. We bepalen een gemiddeld risico zonder het geschatte risico voor de Waddenzee, dat relatief hoog is terwijl de andere locaties waarschijnlijk door meer zwemmers worden bezocht. De risico's voor de scenario's  $G_L$  en  $W_H$  zijn geïnterpoleerd op basis van de geschatte (exponentiële) relatie tussen de toename in temperatuur en het risico's voor de scenario's  $G_H$  en  $W_L$ .

*Aantal ziektegevallen en ziektelast*

Er zijn geen ziektelastwaarden specifiek voor *V. parahaemolyticus* beschikbaar. Voor het berekenen van de DALY's gaan we ervan uit dat alle ziektegevallen enkel gevallen van gematigde diarree betreffen met een duur van drie dagen. De standaard conversiefactor voor deze uitkomst is 0.188 (GBD, 2017). Er vindt geen sterfte plaats. De DALY's omvatten dus alleen een *Years Lost due to Disability* (YLD)-waarde die op de volgende manier tot stand komt:

$$YLD = \text{Aantal gevallen} \times 0.188 \times (3/365)$$

### 7.3 **Campylobacter en klimaatverandering**

De bacterie *Campylobacter* is wereldwijd één van de belangrijkste veroorzakers van maag-darmklachten. *Campylobacter* wordt met name overgebracht door het nuttigen van besmet voedsel of water, waarvan de consumptie van besmet kippenvlees de belangrijkste bron van besmetting is. Er is een duidelijk seizoensgebonden patroon te zien in het aantal mensen dat ziek wordt van *Campylobacter*. De meeste mensen worden ziek in de zomer. Op basis van deze waarneming wordt verwacht dat klimaatfactoren zoals omgevingstemperatuur en neerslag een effect hebben op het aantal mensen dat ziek wordt van *Campylobacter*, en dat klimaatverandering van invloed zal zijn op de ziektelast veroorzaakt door *Campylobacter*. Uit literatuur blijkt dat klimaatverandering waarschijnlijk een effect zal hebben op de aanwezigheid van *Campylobacter* in dieren en water. Variaties in omgevingstemperatuur en neerslag lijken de grootste invloed te hebben. Het is nog niet duidelijk wat het uiteindelijke effect op het aantal ziektegevallen in mensen precies zal zijn, of voor welke blootstellingsroutes het grootste effect zal optreden. Modelberekeningen die uitgaan van een effect van temperatuur op het vóórkomen van *Campylobacter* in kippen laten zien dat de toename in relatieve ziektelast (per 100,000 mensen) ten opzichte van 2020 ongeveer 1% zal zijn in 2050 en 2% in 2085, met minimale verschillen tussen scenario's. Waarschijnlijk is het effect van temperatuur op andere onderdelen van het transmissieproces belangrijker. Om beter te kunnen voorspellen wat het effect van klimaatverandering op het aantal ziektegevallen veroorzaakt door *Campylobacter* zal zijn, zal het

gebruikte model moeten worden aangevuld. Bovendien zullen er meer modellen ontwikkeld moeten worden voor de overige transmissieroutes.

### **Toelichting**

#### *Risicomodel*

Een blootstellingsmodel is opgesteld op basis van Chardon & Evers (2017). Om het effect van klimaatverandering te modelleren wordt enkel uitgegaan van een relatie tussen temperatuur en de prevalentie van *Campylobacter* in een groep vleeskuikens (Patrick *et al.*, 2004; Schijven *et al.*, 2013). Op basis van deze relatie wordt een starthoeveelheid *Campylobacter* berekend. Hierbij worden constante waarden aangehouden voor het aandeel kippenvlees dat besmet is na het slachten, de concentratie van *Campylobacter* op kippenvlees, en de hoeveelheid geconsumeerde kip. Het model bepaalt de hoeveelheid *Campylobacter* op kip na bewaren in koelkast of vriezer, en vervolgens na bereiding, en de dosis die via kruisbesmetting weer terecht komt op de bereide kip. Deze dosis wordt bepaald om een maandelijks risico op ziekte te berekenen. Dit maandelijks risico wordt voor elk seizoen apart berekend.

#### *Ziektebelasting*

Vanwege onzekerheid in de berekening, en omdat er al goede schattingen bestaan van de huidige ziektebelasting van *Campylobacter*, gebruiken we alleen de procentuele verandering in het aantal gevallen onder de verschillende klimaatscenario's ten opzichte van de huidige situatie. Deze verandering is alleen afhankelijk van de prevalentie die in het model beïnvloed wordt door de temperatuur, en is daarom een duidelijke indicator van het effect van klimaatverandering op dit specifieke onderdeel van de blootstellingsroute. De verandering wordt toegepast op de recentste gepubliceerde ziektebelastingsschatting veroorzaakt door *Campylobacter* op kip voor Nederland (Pijnacker *et al.*, 2019).

#### *Resultaten en discussie*

Op basis van dit model zal de ziektebelasting van *Campylobacter* ten opzichte van de huidige situatie met ongeveer 10% toenemen in 2050, en met ongeveer 12% in 2085, ongeacht het klimaatscenario. Het effect van temperatuurstijging bedraagt, op basis van de relatieve ziektebelasting, ongeveer 1-2%. Het model laat geen duidelijk seizoensgebonden patroon zien in de maandelijks waarden. Dit patroon wordt wel geobserveerd in de huidige incidentie van ziekte door *Campylobacter*. Hoewel niet met zekerheid te zeggen is dat dit patroon onder invloed van klimaatverandering gelijk blijft, suggereert dit dat de geobserveerde klimaatgevoeligheid van *Campylobacter* slechts voor een klein deel verklaard kan worden door een effect van temperatuur op prevalentie in kippen. De gebruikte relatie heeft een klein effect op de maandelijks dosis *Campylobacter* aan de start van het model. Door de gebruikte aannames vindt alle blootstelling plaats door kruisbesmetting. Deze blootstelling is doorgaans te laag om het temperatuursafhankelijke effect in terug te zien. Dit kan een verklaring zijn van het beperkte effect van klimaatverandering in dit model. Tegelijkertijd kan op basis van deze resultaten niet worden geconcludeerd dat dit effect in de praktijk ook beperkt zal zijn. Andere factoren kunnen mogelijk ook een rol spelen, maar zijn nog onvoldoende kwantitatief onderzocht, bijvoorbeeld de invloed van andere klimaatfactoren zoals neerslag op



prevalentie in groepen vleeskuikens, of veranderingen in (recreatie)gedrag en de samenhang met bereiding en consumptie van vlees. Daarnaast vindt transmissie van *Campylobacter* ook plaats via andere routes zoals water waarop klimaatverandering waarschijnlijk ook van invloed zal zijn. Toevoeging van deze en andere transmissieroutes zal verbeterd inzicht geven in het effect van klimaatverandering.

**RIVM**

*De zorg voor morgen begint vandaag*