



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

Verkenning **toekomstige gezondheidseffecten van klimaatverandering** en effectiviteit van adaptatiemaatregelen

RIVM-rapport 2026-0005



**Verkenning toekomstige gezondheidseffecten
van klimaatverandering en effectiviteit
van adaptatiemaatregelen**

RIVM-rapport 2026-0005

Colofon

© RIVM 2026

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Gezondheidseffecten van klimaatverandering en effectiviteit van adaptatiemaatregelen, 2026.

DOI 10.21945/RIVM-2026-0005

S.C.J. Oostdijk (auteur), RIVM
S. Boekhold (auteur), RIVM
C. Boomsma (auteur), RIVM
A. van Dijk (auteur), RIVM
E.F. Hall (auteur), RIVM
M.M. Harbers (auteur), RIVM
R. Heesterbeek (auteur), RIVM
J.O. Klompmaker (auteur), RIVM
M. Levisson (auteur), RIVM
J. Limaheluw (auteur), RIVM
M. Otter (auteur), RIVM
I.J. Rahmon (auteur), RIVM
J. van der Ree (auteur), RIVM

Contact:

Saskia Oostdijk
Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid
saskia.oostdijk@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht op verzoek van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in het kader van de Nationale klimatrisicoanalyse 2022-2026.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Verkenning toekomstige gezondheidseffecten van klimaatverandering en effectiviteit van adaptatiemaatregelen

Het klimaat verandert. In Nederland zijn de gevolgen voor de gezondheid al te merken, zoals meer sterfgevallen bij hitte. Deze gevolgen zijn in de toekomst nog meer te zien, zowel fysiek als mentaal. Het RIVM verkende daarom wat de gezondheidseffecten van klimaatverandering in 2050 kunnen zijn. Het keek daarbij ook of we met mogelijke maatregelen om Nederland aan klimaatverandering aan te passen, deze gezondheidseffecten kunnen verminderen.

Het RIVM maakte schattingen van gezondheidseffecten bij milde en extremere klimaatverandering, bijvoorbeeld voor de stijging van de temperatuur in Nederland. Duidelijk is dat ook een milde klimaatverandering effecten op de gezondheid heeft en maatregelen nodig zijn om de gezondheidseffecten te beperken. Het RIVM kan niet precies inschatten of de bestaande maatregelen daarvoor genoeg zijn, maar vermoedt dat dat niet zo is. Dat betekent dat er meer maatregelen nodig zijn. Het is hoe dan ook belangrijk om er alvast mee te beginnen. Ook omdat het tijd kost, voordat maatregelen zijn uitgevoerd en effect hebben. Verder is het belangrijk om klimaatverandering zo veel mogelijk te voorkomen.

De beste manier om gezondheidseffecten te verminderen, is door technische en systemische maatregelen te combineren. Technische oplossingen, zoals airco's, kunnen op de korte termijn helpen. Systemische oplossingen, zoals de omgeving aanpassen of sociale gewoonten en gedrag veranderen, zijn noodzakelijk om de verwachte effecten op langere termijn te verminderen.

Systemische oplossingen zijn in veel verschillende sectoren mogelijk, zoals natuur, landbouw, bebouwing, water en de zorg. Dat vraagt om een aanpak waarbij al deze sectoren rekening houden met gezondheid (health in all policies). Ook is het belangrijk om maatregelen vanuit de overheid te coördineren en er één geheel van te maken.

Een andere systemische oplossing is de algehele gezondheid, fysiek en mentaal, van de bevolking verbeteren. Dan zijn mensen beter bestand tegen effecten van klimaatverandering en zijn ziekten beter te voorkomen. Zo maakt gezonde voeding en genoeg bewegen mensen veerkrachtiger.

Kernwoorden: klimaatverandering, klimaatadaptatie, gezondheidseffecten, hitte, luchtkwaliteit, mentale gezondheid, UV-straling, allergieën, infectieziekten

Synopsis

Assessment of Future Health Effects of Climate Change and the Effectiveness of Adaptation Measures

The climate is changing. In the Netherlands, the effects for health are already becoming noticeable, for example in the form of more deaths due to hot weather. In the future, these effects will become more apparent, both physically and mentally. Against that background, the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) has assessed the potential health effects of climate change by 2050. The institute also considered whether measures aimed at adapting the Netherlands to climate change could mitigate these effects on health.

RIVM estimated the effects on health in the event of moderate and more extreme climate change, for example for a rise in temperature in the Netherlands. It is clear that even moderate climate change will have effects on health, and that measures will be necessary to limit those health effects. RIVM is unable to precisely estimate whether the existing measures are sufficient, but suspects that this is not the case. This means that more measures will be necessary. It is important to take action now because it will take some time before the measures are implemented and their effects become tangible. It is also important to prevent climate change, as far as possible.

The best means of mitigating effects on health is by combining technical and systemic measures. Technical solutions such as air conditioning devices can help in the short term but in order to mitigate the expected effects in the longer term, systemic solutions will be needed, such as adapting the environment or changing social behaviour and habits.

Systemic solutions can be introduced in many different sectors, including nature, agriculture, the built environment, water and healthcare. This will require an approach in which all these sectors take account of health aspects (health in all policies). It is also important that measures by government be carefully coordinated and form a coherent whole.

Another systemic measure is to improve the overall physical and mental health of the population. This will make people more resilient to the effects of climate change and helps prevent diseases. A healthy diet and sufficient exercise, for example, will make people more resilient.

Keywords: climate change, climate adaptation, health effects, heat, air quality, mental health, UV radiation, allergies, infectious diseases

Inhoudsopgave

Hoofdboodschappen — 11

1 Inleiding — 13

2 Methode — 17

- 2.1 Algemene aanpak — 17
- 2.2 Scenario's — 17
 - 2.2.1 Contextscenario's — 17
 - 2.2.2 Adaptatiescenario's — 18
 - 2.2.3 Overeenkomst tussen sets scenario's — 19
- 2.3 Inschatting toekomstige klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's bij huidig beleid — 19
 - 2.3.1 Inventarisatie klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's — 20
 - 2.3.2 Expertbeoordeling gezondheidsrisico's — 20
- 2.4 Inschatting gezondheidsimpacts toekomstig adaptatiebeleid — 23
 - 2.4.1 Inventarisatie adaptatiemaatregelen — 23
 - 2.4.2 Expertbeoordeling effecten adaptatiemaatregelen — 23
- 2.5 Kwaliteit — 24

Deel 1 - Klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's bij ongewijzigd beleid — 25

3 Omschrijving contextscenario's — 27

- 3.1 Klimaatscenario's — 27
- 3.2 Demografische, socio-economische en technologische ontwikkelingen — 30
- 3.3 Schets contextscenario 'Beperkt risico-verhogend' (BRV) — 30
- 3.4 Schets contextscenario 'Sterk risico-verhogend' (SRV) — 31

4 Hitte — 33

- 4.1 Klimaatdreiging — 33
- 4.2 Adaptatiemaatregelen huidig beleid — 36
- 4.3 Blootstelling — 37
- 4.4 Gevoeligheid — 37
- 4.5 Impact — 38
- 4.6 Kwaliteit — 40

5 Luchtkwaliteit — 43

- 5.1 Klimaatdreiging — 44
- 5.2 Adaptatiemaatregelen huidig beleid — 48
- 5.3 Blootstelling — 49
- 5.4 Gevoeligheid — 49
- 5.5 Impact — 50
- 5.6 Kwaliteit — 53

6 UV-straling — 57

- 6.1 Klimaatdreiging — 59
- 6.2 Adaptatiemaatregelen huidig beleid — 68
- 6.3 Blootstelling — 68
- 6.4 Gevoeligheid — 69

- 6.5 Impact — 70
- 6.6 Kwaliteit — 70

7 Infectieziekten — 73

- 7.1 Klimaatdreiging — 73
- 7.2 Adaptatiemaatregelen huidig beleid — 73
- 7.3 Blootstelling — 76
- 7.4 Gevoeligheid — 79
- 7.5 Impact — 80
- 7.6 Kwaliteit — 83

8 Allergieën en pollen — 85

- 8.1 Klimaatdreiging — 85
- 8.2 Adaptatiemaatregelen huidig beleid — 87
- 8.3 Blootstelling — 89
- 8.4 Gevoeligheid — 94
- 8.5 Impact — 94

9 Aanvullende thema's — 99

- 9.1 Mentale gezondheid — 99
 - 9.1.1 Klimaatdreiging — 100
 - 9.1.2 Adaptatiemaatregelen — 102
 - 9.1.3 Blootstelling — 103
 - 9.1.4 Gevoeligheid — 104
 - 9.1.5 Impact — 105
 - 9.1.6 Kwaliteit — 106
- 9.2 Effecten op zorg — 107
 - 9.2.1 Inleiding en scope — 107
 - 9.2.2 Effecten toekomstige klimaatrisico's op zorgvraag en zorggebruik — 109
 - 9.2.3 Gevoeligheid, blootstelling en impact — 113
- 9.3 Gedrag en perceptie — 114
 - 9.3.1 Adaptief gedrag — 114
 - 9.3.2 Invloed van percepties — 115
 - 9.3.3 Illustratie gedrag en perceptie per klimaatfactor — 116

Deel 2 – Effectiviteit en uitvoerbaarheid van adaptatiemaatregelen voor gezondheid — 121

10 Beschrijving adaptatiescenario's — 123

- 10.1 Adaptatiescenario *Intensiveren* — 123
 - 10.1.1 Beschrijving PBL-adaptatiescenario Intensiveren — 123
 - 10.1.2 Aanvullende adaptatiemaatregelen vanuit gezondheid — 124
- 10.2 Scenario *Transformeren* — 126
 - 10.2.1 Beschrijving PBL-scenario Transformeren — 126
 - 10.2.2 Specifieke adaptatiemaatregelen vanuit gezondheidsperspectief — 127

11 Effecten adaptatiescenario's op gezondheid — 131

- 11.1 Scenario *Intensiveren* — 131
 - 11.1.1 Technologische ontwikkelingen — 131
 - 11.1.2 Verbetering monitoring en waarschuwing voor burgers — 132
 - 11.1.3 Monitoring voor beleid — 132
 - 11.1.4 Versterken zorgcapaciteit — 132
 - 11.1.5 Bijscholing effect klimaatverandering op ziektelast — 132
- 11.2 Scenario *Transformeren* — 132

- 11.2.1 Aanpassen leefomgeving — 132
- 11.2.2 Sociaal-maatschappelijke aanpassingen — 133
- 11.2.3 Daadkrachtig klimaatbeleid — 134
- 11.2.4 Preventiemaatregelen — 135

12 Discussie uitvoerbaarheid adaptatiescenario's — 137

- 12.1 (Zorg)capaciteit — 137
- 12.2 Financieel — 137
- 12.3 Bestuurlijk — 138
- 12.4 Sociaal — 139
- 12.5 Technische uitvoerbaarheid — 139
- 12.6 Toekomstbestendigheid — 139

13 Klimaatgerelateerde gezondheidseffecten en effectiviteit van mogelijke adaptatiemaatregelen — 143

- 13.1 Klimatrisico's gezondheid — 143
- 13.2 Effect en effectiviteit van adaptatiemaatregelen voor gezondheid — 145

Dankwoord — 149

Literatuurlijst — 151

Hoofdboodschappen

Gezondheidseffecten van klimaatverandering

1. Er is nu al sprake van negatieve gezondheidseffecten door klimaatverandering. Op basis van het huidige beleid verwachten we in de toekomst meer negatieve gezondheidseffecten. Deze toekomstige risico's zijn in deze studie ingeschat aan de hand van een contextscenario met beperkte klimaatverandering en sterke klimaatverandering. In het scenario met sterke klimaatverandering zijn de gezondheidsrisico's over het algemeen groter.
2. De toekomstige risico's zijn ingeschat voor zes verschillende gezondheidsthema's (hitte, luchtkwaliteit, UV-straling, infectieziekten, allergieën en pollen, en mentale gezondheid). Een hogere gemiddelde temperatuur en meer hittegolven in de toekomst leiden tot extra warmtegerelateerde sterfte, ziektelast en andere negatieve gezondheidseffecten. Door warmere, nattere en drogere omstandigheden zijn er meer negatieve effecten van infectieziekten en allergieën op de gezondheid te verwachten. Door minder bewolking in de zomer en ander (recreatie)gedrag worden mensen naar verwachting vaker blootgesteld aan UV-straling en neemt de kans op huidkanker toe. Het vaker voorkomen van extreme weersomstandigheden zorgt naar verwachting voor meer mentale gezondheidsklachten en toenemende bezorgdheid over het klimaat. Voor luchtkwaliteit is de richting van het risico op gezondheid (verslechteren of verbeteren) afhankelijk van het contextscenario. In het scenario met beperkte klimaatverandering zorgt het klimaat- en luchtbeleid ervoor dat het aantal smogepisoden gelijk blijft of afneemt. In het scenario met sterke klimaatverandering neemt het aantal smogepisoden toe. Naast klimaatverandering zijn ook bevolkingsgroei en vergrijzing belangrijke factoren, die zorgen voor hogere risico's voor de gezondheid in de toekomst.
3. De effecten van klimaatverandering en klimaatadaptatiebeleid op gezondheid zijn nog beperkt te kwantificeren. Binnen impactanalyses van klimaatverandering loopt gezondheid daardoor als thema achter op andere thema's. Dit vormt het risico dat gezondheid anders of minder wordt meegewogen in beleid.
4. De effecten van klimaatverandering kunnen anders uitpakken voor verschillende groepen in de samenleving, door verschillen in gevoeligheid en blootstelling. Sommige groepen in de samenleving zijn gevoeliger voor gezondheidseffecten dan andere, bijvoorbeeld ouderen, kinderen en chronisch zieken. Sommige groepen komen sneller in aanraking met de risico's, bijvoorbeeld door de plek waar ze wonen, door het werk dat zij doen, of doordat zij minder goed in staat zijn om zichzelf te beschermen of aan te passen.
5. Het is belangrijk om nu te starten met het nemen van maatregelen om de gevolgen voor de gezondheid te beperken. Daarbij is het als eerste van belang om in te zetten op

maatregelen die de klimaatverandering zelf beperken door het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen (klimaatmitigatie). Hierdoor blijven de gevolgen van klimaatverandering beperkt tot die van het scenario met beperkte klimaatverandering.

Effectiviteit en haalbaarheid adaptatiescenario's

6. Om de verwachte toename in gezondheidsrisico's te reduceren, is het naast het nemen van mitigatiemaatregelen wenselijk om ons aan te passen aan de effecten van klimaatverandering (klimaatadaptatie). Voor veel van de gevolgen van klimaatverandering op gezondheid bevinden de oplossingen zich in andere beleidssectoren, bij zowel klimaatadaptatie en -mitigatie. Daarom is het van belang dat gezondheid wordt meegenomen bij beslissingen in alle beleidssectoren, zoals de gebouwde omgeving of drinkwater.
7. Het adaptatiescenario *Intensiveren*, waarbij de focus ligt op technische oplossingen, marktdenken en zelfredzaamheid, biedt kortetermijnoplossingen voor klimaatrisico's, maar wel met een beperkte scope (niet breder dan klimaat). Het leidt tot meerdere kwetsbaarheden. Bijvoorbeeld in toekomstbestendigheid, meekrijgen van kwetsbare groepen, weerbaarheid van de samenleving, zorgcapaciteit en handelingsbereidheid van individuen.
8. Het adaptatiescenario *Transformeren*, waarbij de focus ligt op systeemoplossingen, regie van de overheid en samenredzaamheid, biedt systeemoplossingen waarmee ook op langere termijn klimaatrisico's opgevangen worden. Kwetsbaarheden van dit scenario zijn dat het een langere aanlooptijd, krachtige overheid (financieel en bestuurlijk) en meer sociaal-maatschappelijke aanpassingen vergt. Daartegenover staat dat dit scenario oplossingen biedt voor bredere maatschappelijke problematiek, een weerbaardere samenleving oplevert en toekomstbestendiger is.
9. Voor beide adaptatiescenario's geldt dat het moeilijk is in te schatten of de adaptatiemaatregelen voldoende zijn bij sterke klimaatverandering om de gezondheidseffecten te beperken. Daarom is het van belang om mitigatiemaatregelen te treffen om klimaatverandering te beperken.
10. Beide adaptatiescenario's dragen op hun unieke manier bij aan het verminderen van de gezondheidsimpacts. Voor een effectieve aanpak van de gevolgen van klimaatverandering op gezondheid, is een mix van de adaptatiemaatregelen nodig. Voor toekomstbestendigheid is het daarbij van belang dat er nu al wordt gestart met maatregelen uit het scenario *Transformeren*.

1 Inleiding

Aanleiding

Het klimaat verandert en ook in Nederland worden de laatste jaren de gevolgen van klimaatverandering steeds meer gezien en gevoeld (Betgen et al., 2024). De dreiging van het veranderende klimaat van Nederland is de afgelopen jaren snel groter geworden en het raakt vrijwel alle facetten van de samenleving, waaronder de gezondheid van inwoners. Dit vraagt om aandacht voor het aanpassen van de leefomgeving en het beleid, zodat negatieve gezondheidseffecten van klimaatverandering zoveel mogelijk kunnen worden beperkt en voorkomen. Daarmee is klimaatadaptatie een belangrijke opgave voor de volksgezondheid in Nederland.

Het Directeuren Overleg Nationale Klimaatadaptatiestrategie (DO-NAS) heeft in 2021 het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) gevraagd om de regie en coördinatie op zich te nemen voor het beschrijven van de huidige klimaatrisico's en het verkennen van de toekomstige klimaatrisico's in Nederland. De centrale vraag hierbij is: hoe klimaatbestendig is Nederland op dit moment en in de toekomst? De resultaten leveren kennis voor de herziening van de Nationale Adaptatie Strategie (NAS).

In 2024 heeft het PBL samen met andere instituten de huidige klimaatrisico's voor verschillende sectoren/thema's in Nederland geactualiseerd (Van Gaalen et al., 2024). Een (beleids)sector wordt gedefinieerd als een groepering van gelijkaardige maatschappelijke functies, die beleidsmatig als een geheel benaderd worden en een specifieke (ruimte)behoefte genereren (Witmer et al., 2023). Het gaat hierbij om de sectoren/thema's Gezondheid, Veiligheid, Landbouw, Natuur, Water, Infrastructuur en de gebouwde omgeving, Cultureel Erfgoed en Drinkwater. Het RIVM bracht in beeld wat de huidige risico's zijn voor de gezondheid door klimaatverandering en publiceerde hierover een deelrapport (Betgen et al., 2024).

Het voorliggende rapport bouwt voort op de eerdergenoemde rapporten en focust op de risico's in de toekomst voor het thema Gezondheid. In dit rapport worden de risico's voor de gezondheid in 2050, en waar mogelijk in 2100 beschreven. Er wordt ook beschreven wat de mogelijke gevolgen kunnen zijn van verschillende pakketten van adaptatiemaatregelen op deze toekomstige risico's.

Gezondheid en klimaat: definitie en determinanten

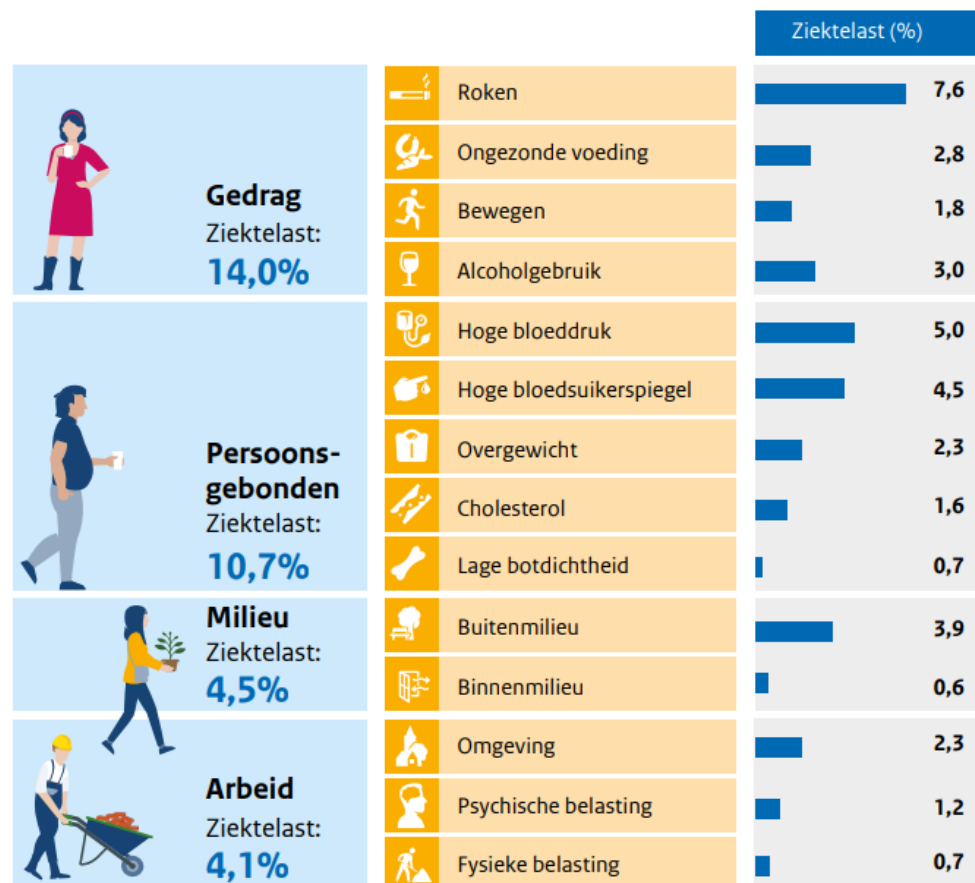
Gezondheid is een breed begrip, waarbij het niet alleen om het fysiek welbevinden gaat, maar ook om mentaal en sociaal welbevinden (Dahlgreen en Whitehead et al., 2021). Voor een fijn leven, waarin tegenslagen goed opgevangen kunnen worden, is het belangrijk dat alle drie facetten in evenwicht zijn.

Er zijn meerdere factoren die van belang zijn voor gezondheid, waaronder:

- Individuele eigenschappen, zoals leeftijd, geslacht en erfelijkheid.
- Leefstijl, zoals sport en voeding.
- Sociale netwerken.
- Leefomgeving (de omgeving waarin we leven, werken, leren en spelen).

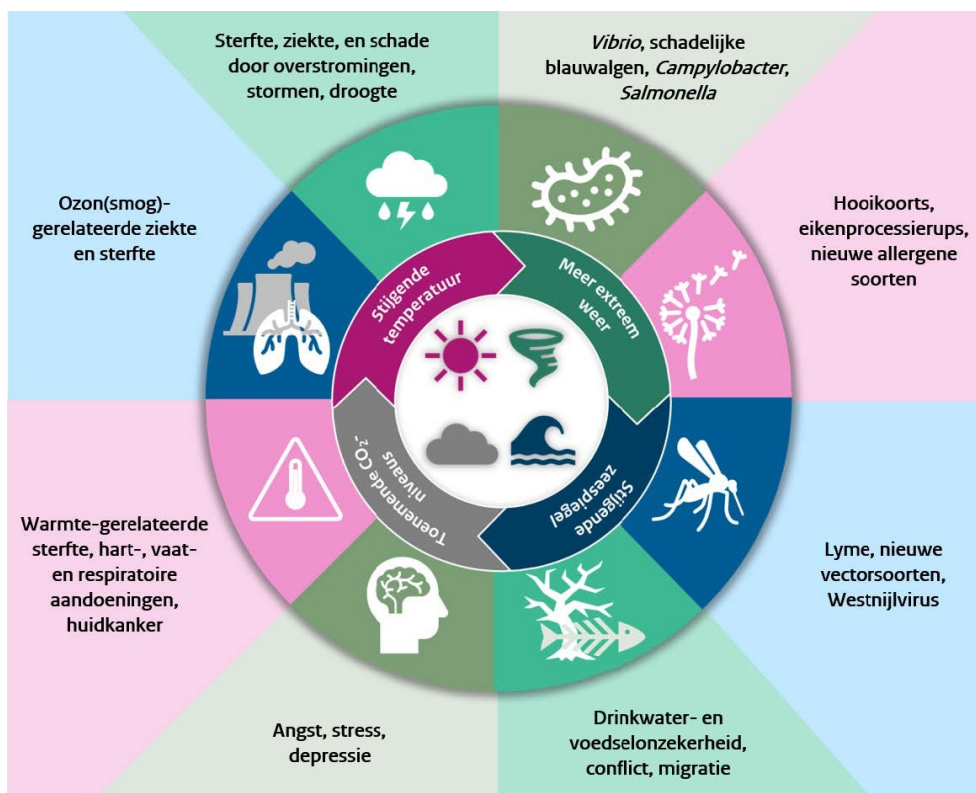
In de Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2025 (Den Broeder et al., 2024) zijn belangrijke determinanten van de ziektelast berekend (zie Figuur 1.1). Hieruit wordt duidelijk dat de ziektelast in Nederland wordt bepaald door veel verschillende aspecten. Gezondheid is niet alleen van individuen, maar ook van de samenleving (Den Broeder et al., 2025).

Figuur 1.1 Bijdrage van determinanten aan de ziektelast (percentages kunnen niet worden opgeteld; Den Broeder et al., 2024)



Klimaatverandering heeft zowel directe als indirecte effecten op de gezondheid (Staatsen et al., 2024). Richting 2050 heeft klimaatverandering een steeds grotere impact op de volksgezondheid (Staatsen et al., 2024). Figuur 1.2 laat zien welke gezondheidseffecten klimaatverandering op dit moment al heeft. Daarnaast maken we in dit rapport schattingen van gezondheidseffecten van klimaatverandering in de toekomst.

Figuur 1.2 Gevolgen van klimaatverandering voor de gezondheid en veiligheid (Hall et al., 2021)



Doel

Het doel van dit rapport is het in kaart brengen van klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's van de Nederlandse bevolking in 2050 en waar mogelijk in 2100, evenals het beoordelen van mogelijke effecten van toekomstig klimaatadaptatiebeleid op gezondheidsrisico's.

Net als in het vorige rapport beschrijven we de effecten op gezondheid voor de vijf gezondheidsthema's Hitte, Luchtkwaliteit, UV-straling, Infectieziekten, en Allergieën en pollen (Betgen et al., 2024). Dit komt doordat we voor deze thema's de grootste gezondheidseffecten verwachten (Hall et al., 2021; Van der Ree et al., 2022; Betgen et al., 2024). Aanvullend beschrijven we voor de dwarsdoorsnijdende thema's Gedrag en perceptie, Mentale gezondheid en zorg hoe deze gezondheid beïnvloeden.

Toekomstverkenning

Dit rapport is een toekomstverkenning op basis van scenario's. Het is geen voorspelling of prognose. Daarvoor is de toekomst te onzeker. Het is zeer aannemelijk dat er nieuw beleid wordt ontwikkeld, waardoor toekomstige ontwikkelingen beïnvloed worden. Het doel van de toekomstverkenning is het in kaart brengen van gezondheidsrisico's van toekomstig klimaat, zodat hiermee in nieuw beleid rekening gehouden kan worden. Zo kan Nederland zich beter voorbereiden op de toekomst.

Afbakening

In dit rapport is alleen gekeken naar de directe effecten van klimaatverandering. De indirecte effecten zijn de effecten van klimaatverandering op de samenleving en leefomgeving, die vervolgens ook effect hebben op de gezondheid. Waar van toepassing, zijn de indirecte effecten wel benoemd. De gezondheidseffecten die in andere sectoren van dit onderzoek ontstaan (zoals gebouwde omgeving en drinkwater), zijn daarmee ook niet meegenomen in dit rapport.

Veiligheid is geen onderdeel van dit project, waardoor rampen zoals overstromingen en natuurbranden niet expliciet zijn meegenomen in dit onderzoek. Waar van toepassing zijn deze echter wel benoemd.

Wegens budgetbeperkingen is in dit project Caribisch Nederland niet meegenomen in dit onderzoek (Witmer et al., 2023).

In dit rapport is wegens de beschikbaarheid van bevolkingsprognoses voornamelijk gekeken naar het zichtjaar 2050. Waar mogelijk en relevant is ook het zichtjaar 2100 beschreven.

In de opdracht van het PBL is de scope van dit rapport beperkt gehouden, waardoor cascade en cumulatieve effecten niet zijn meegenomen. Door de opeenstapeling van effecten kunnen de gevolgen van klimaatverandering in de tijd worden vergroot. Omdat in dit rapport hiermee geen rekening is gehouden, zouden de gezondheidseffecten in dit rapport een onderschatting zijn van de werkelijke effecten.

Leeswijzer

Dit rapport is opgesplitst in twee delen. De gebruikte methode voor beide delen van het rapport is te lezen in hoofdstuk 2.

Deel 1 behandelt de toekomstige gezondheidseffecten per gezondheidsthema. Hierbij doen we de aanname dat het huidige beleid ook in de toekomst niet verandert. Deel 1 is te lezen in hoofdstukken 3 t/m 9.

Deel 2 beschrijft de effecten van mogelijk adaptatiebeleid op klimaatgerelateerde gezondheidseffecten. Ook behandelt dit deel de haalbaarheid en effectiviteit van de mogelijke adaptatiemaatregelen. Deel 2 van het rapport bestaat uit de hoofdstukken 10 t/m 12.

Het rapport sluit af met concluderende opmerkingen in hoofdstuk 13.

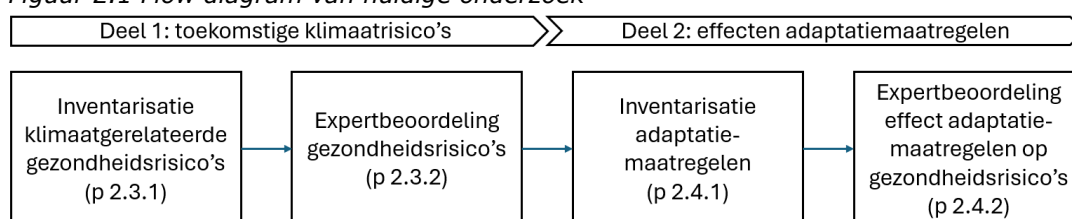
2 Methode

2.1 Algemene aanpak

Dit onderzoek bestaat uit twee delen, die op hun beurt in twee delen zijn op te splitsen (zie Figuur 2.1). Deel 1 bestaat uit de analyse van toekomstige klimaatrisico's bij huidige adaptatiebeleid voor de vijf gezondheidsthema's (Hitte, Luchtkwaliteit, UV-straling, Infectieziekten en Allergieën en pollen) en drie aanvullende thema's (Gedrag en perceptie, Mentale gezondheid en zorg). In dit deel is eerst per thema een inventarisatie uitgevoerd naar klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's via literatuurstudie (paragraaf 2.3.1). Vervolgens zijn de gezondheidsrisico's beoordeeld via expertbeoordeling (paragraaf 2.3.2).

Deel 2 bestaat uit een beoordeling van de effecten van mogelijk adaptatiebeleid op de klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's. Hiervoor is eerst een inventarisatie gedaan van adaptatiemaatregelen die mogelijk de eerdergenoemde gezondheidsrisico's beperken (paragraaf 2.4.1). Vervolgens zijn de effecten van adaptatiemaatregelen aan de hand van expertsessies beoordeeld (paragraaf 2.4.2).

Figuur 2.1 Flow diagram van huidige onderzoek



2.2 Scenario's

In dit onderzoek is gebruikgemaakt van twee sets van scenario's om de toekomstige effecten van klimaatverandering te verkennen. Het gaat hierbij om contextscenario's en adaptatiescenario's.

2.2.1 Contextscenario's

De contextscenario's beschrijven ontwikkelingen op het gebied van klimaatverandering en maatschappij. De contextscenario's zijn opgesteld door Van Gaalen et al. (2026). Daarbij is zoveel mogelijk aangesloten bij bestaande scenario's voor Nederland, zoals de KNMI'23-scenario's (toekomstscenario's voor het klimaat; KNMI, 2023), de WLO-scenario's (toekomstscenario's voor welvaart en leefomgeving, Van Eck et al., 2025) en de Deltascenario's (toekomstscenario's voor waterbeleid, Van der Brugge & De Winter, 2024). De contextscenario's beschrijven ontwikkelingen die als autonoom worden beschouwd. Bijvoorbeeld de mate van opwarming en bevolkingsgroei in de scenario's. Deze ontwikkelingen worden niet beïnvloed door het klimaatadaptatiebeleid. Bij de keuze van scenario's geven Van Gaalen et al. (2026) aan dat ze keuzes hebben gemaakt om een zo groot mogelijke bandbreedte van mogelijke toekomstige ontwikkelingen te verkennen.

In de studie wordt gebruikgemaakt van twee contextscenario's:

- Beperkt risico-verhogend (BRV-scenario);
- Sterk risico-verhogend (SRV-scenario).

In het BRV-scenario wordt wereldwijd ingezet op mitigatie en worden de doelstellingen uit het Parijsakkoord van 2015 gehaald. Hierdoor blijft de uitstoot van broeikasgassen beperkt en tussen 2050 en 2100 neemt de temperatuur niet verder toe. De temperatuur in Nederland stijgt licht en het maximumneerslagtekort neemt beperkt toe. De economische groei is in Nederland beperkt, waardoor het inwonersaantal toeneemt naar 18,3 miljoen inwoners in 2050 (Van Eck et al., 2025).

In het SRV-scenario is er in mindere mate ingezet op mitigatie, waardoor de uitstoot van broeikasgassen gestaag is doorgegaan. Hierdoor nemen de temperaturen sterk toe en valt er periodiek ook veel regen. De economische groei in Nederland heeft sterk doorgezet, waardoor door arbeidsmigratie het inwonertal sterk stijgt naar 21,0 miljoen in 2050 (Van Eck et al., 2025).

De contextscenario's worden verder beschreven in hoofdstuk 3.

2.2.2 *Adaptatiescenario's*

Er zijn twee adaptatiescenario's ontwikkeld die verschillen qua beleidsaanpak om Nederland klimaatbestendig te maken. De scenario's bevatten onderscheidende adaptatiemaatregelen, die samenhangen met verschillende denkrichtingen in beleid. Aan de hand van deze scenario's is in dit rapport verkend hoe effectief de verschillende soorten adaptatiemaatregelen zijn in het beperken van klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's.

Het PBL (Van Gaalen et al., 2026) heeft een eerste opzet gemaakt van de beide adaptatiescenario's. Deze zijn vervolgens in dit rapport aangevuld met bijpassende adaptatiemaatregelen voor gezondheid. Er wordt gewerkt met twee adaptatiescenario's:

- Intensiveren;
- Transformeren.

In het scenario *Intensiveren* staat het vertrouwen in de techniek centraal als oplossingsrichting, ligt de regie bij de markt en gaat de overheid uit van de individuele verantwoordelijkheid. Oplossingen kennen vaak een sectorale aanpak: 'We blijven grofweg dezelfde dingen doen, op dezelfde locaties'.

In het scenario *Transformeren* wordt ingezet op robuuste systemen. De overheid neemt een regierol en zet in op een integrale en collectieve aanpak. De eigenschappen van het natuurlijk systeem en de samenleving vormen de basis voor de keuze van gebruiksfuncties en beleid.

Daarnaast wordt er in dit rapport ook gesproken over huidig beleid. Dit is te zien als een derde adaptatiescenario, waarbij is gekozen om geen aanvullende adaptatiemaatregelen te treffen.

Voor gezondheidsaspecten zijn de adaptatiescenario's van PBL aangevuld met maatregelen die door RIVM-experts zijn benoemd als effectief voor het verminderen van gezondheidsrisico's van klimaatverandering. Paragraaf 2.4.1 licht dit verder toe. De adaptatiescenario's zijn uitgeschreven in hoofdstuk 10.

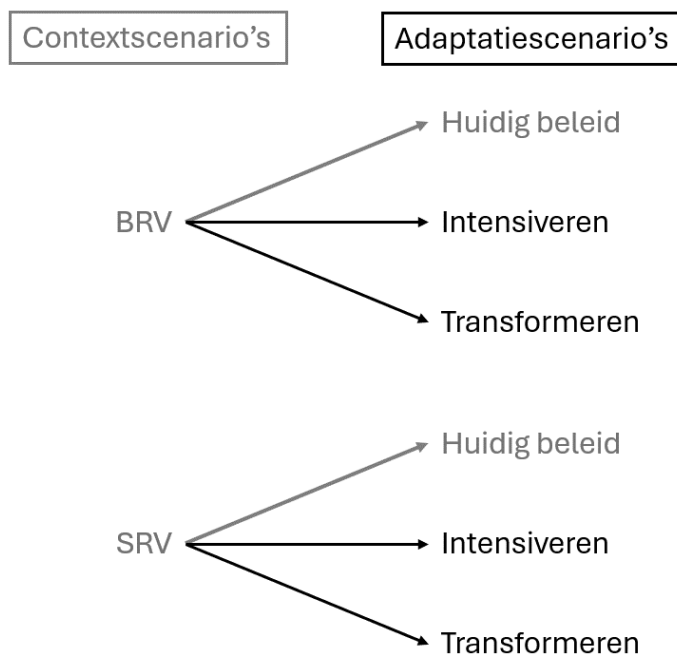
2.2.3 Overeenkomst tussen sets scenario's

Om de twee scenariosets kort samen te vatten:

- De contextscenario's beschrijven toekomstige situaties op het gebied van klimaat en samenleving;
- De adaptatiescenario's beschrijven mogelijke keuzes op het gebied van adaptatie.

Figuur 2.2 illustreert de samenhang tussen de scenario's. De beide contextscenario's zijn aangevuld met de adaptatiescenario's. Het adaptatiescenario beschrijft een set van maatregelen waarmee, binnen de randvoorwaarden van de contextscenario's, de effecten van klimaatverandering kunnen worden beperkt.

Figuur 2.2 Conceptueel model context- en adaptatiescenario's



Doordat de scenario's stapelen, ontstaan zes mogelijke scenario's (combinaties van contextscenario + adaptatiescenario). Voor het inschatten van de gezondheidseffecten van toekomstige klimaatverandering (deel 1 van dit rapport) is gekeken naar de beide contextscenario's + huidig beleid (zie ook paragraaf 2.3). Voor het inschatten van de effecten van klimaatadaptatiebeleid (deel 2 van dit rapport), is in eerste instantie gekeken naar de adaptatiescenario's zelf en zijn de effecten hiervan vervolgens vergeleken met de uitkomsten van deel 1 (zie ook paragraaf 2.4).

2.3 Inschatting toekomstige klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's bij huidig beleid

Zoals eerder beschreven, worden in deel 1 van dit rapport de gezondheidsrisico's van toekomstige klimaatverandering ingeschat. Dat gebeurt op basis van vijf gezondheidsthema's en drie aanvullende thema's. In deel 1 wordt gebruikgemaakt van de contextscenario's en huidig beleid (zie ook paragraaf 2.2.1 en hoofdstuk 3). Het gebruikte

zichtjaar voor dit onderzoek is 2050. Er is voor dit jaar gekozen, omdat voor Nederland bevolkingsprognoses tot 2050 beschikbaar zijn, en bevolkingsprognoses een essentieel onderdeel vormen voor het inschatten van gezondheidsgevolgen. Alleen voor luchtkwaliteit is ook het zichtjaar 2100 gebruikt. De invloed van klimaatverandering op luchtkwaliteit kent een langere tijdlijn (meer dan 50 jaar). Hierdoor worden de effecten van klimaatverandering op luchtkwaliteit pas later (dus rond 2100) zichtbaar.

Voor de gezondheidsthema's en de aanvullende thema's is eerst een brede inventarisatie gedaan naar de effecten van klimaatverandering op gezondheid (zie paragraaf 2.3.1). Vervolgens is voor alleen de meegenomen thema's een beoordeling van de gezondheidsrisico's uitgevoerd. Voor de aanvullende thema's is de keuze gemaakt om alleen de manier waarop klimaatverandering en de aanvullende thema's elkaar beïnvloeden te beschrijven. De kennis rond deze thema's is niet of nauwelijks in getallen uit te drukken. Hierdoor zijn de attributie en grootte van de impact nagenoeg niet in te schatten. Daarom is er in dit onderzoek gebruikgemaakt van expertbeoordeling.

Aan alle gezondheidsthema's hebben RIVM-onderzoekers gewerkt die expert zijn op het betreffende thema.

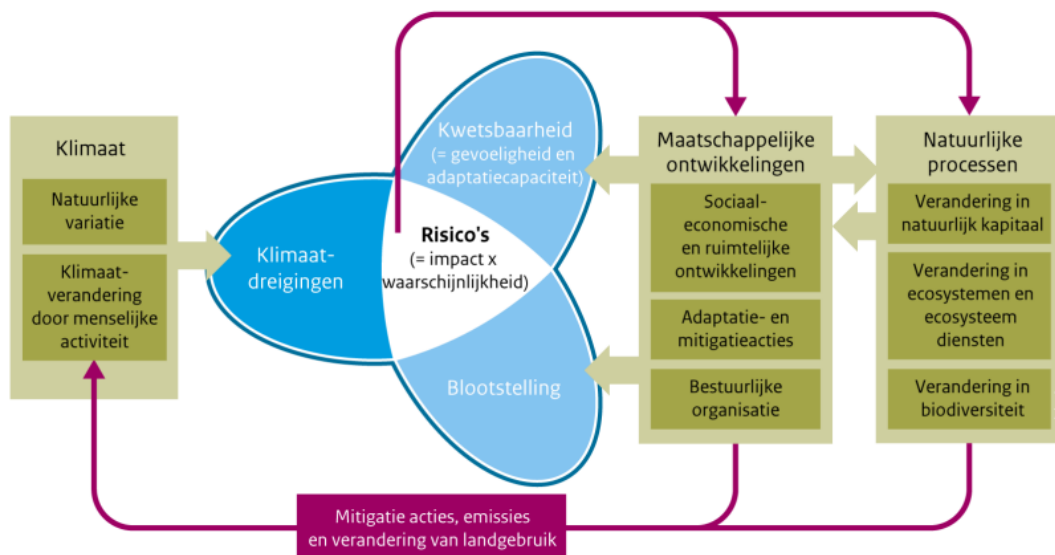
2.3.1 *Inventarisatie klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's*

In een eerder rapport (Betgen et al., 2024) zijn de huidige gezondheidsrisico's van klimaatverandering geïnventariseerd. Deze inventarisatie is voor de twee contextscenario's in deze studie aangevuld met een literatuurstudie, waarmee recente wetenschappelijke ontwikkelingen zijn meegenomen. De hoofdstukken 5 t/m 9 zijn op zichzelf staand en individueel te lezen.

2.3.2 *Expertbeoordeling gezondheidsrisico's*

De klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's zijn door de RIVM-onderzoekers beoordeeld aan de hand van de methodiekbeschrijving van Witmer et al. (2023). In Figuur 2.3 is het conceptueel raamwerk voor de term 'klimatrisico' uit deze studie weergegeven. Hierin is te zien dat klimaatdreigingen, kwetsbaarheid en blootstelling belangrijke componenten zijn bij een risicobeoordeling.

Figuur 2.3 Conceptueel raamwerk van 'klimatrisico'. Overgenomen uit Witmer et al. (2023).



Bron: IPCC WGII 2014; bewerking PBL

In dit onderzoek is per gezondheidsthema de eindimpact op de mens ingeschat aan de hand van drie categorieën, zoals ook gebruikt in het PBL-onderzoek naar de huidige klimatrisico's van Witmer et al. (2023):

- Laag: < 10.000 getroffen mensen, 0 – 10 ernstig gewonden/doden;
- Middel: 10.000 – 100.000 getroffen mensen, 10 – 100 ernstig gewonden/doden;
- Hoog: > 100.000 getroffen mensen, > 100 ernstig gewonden/doden.

Aangezien getroffen een breed begrip is, kan de definitie hiervan per gezondheidsthema verschillen. Bij de thema's Hitte, Luchtkwaliteit, Pollen en Mentale gezondheid vallen alle mensen hieronder die gezondheidsklachten ervaren. Bij UV-straling worden getroffen gezien als alle mensen die de diagnose huidkanker krijgen. Bij infectieziekten wordt een getroffen gedefinieerd als een persoon die een infectieziekte heeft, ongeacht of deze persoon daar klachten van ervaart.

Waar van toepassing, is bij de gezondheidsthema's ook een uitspraak gedaan over de economische impact. Economische impact is hierbij vaak gebaseerd op zorg- en medicijnkosten, arbeidsverlies of het gemonetariseerde aantal verloren gezonde levensjaren. Dit is gedaan volgens drie categorieën van Witmer et al. (2023):

- Laag: < € 100 miljoen;
- Middel: € 100 miljoen – 1 miljard;
- Hoog: > € 1 miljard.

De beoordeling van de verandering in gevoeligheid, blootstelling en impact is gedaan aan de hand van expertbeoordeling. De themaexpert heeft de beoordeling onderbouwd met wetenschappelijke literatuur. Gekozen is voor een expertbeoordeling, omdat er op de meeste thema's onvoldoende kennis beschikbaar is voor een kwantitatieve

risicoschatting. Alleen voor het thema Hitte konden kwantitatieve berekeningen worden uitgevoerd. Het gaat hier om het berekenen van hitte- en koudesterfte in de BRV- en SRV-contextscenario's. De beschrijving van de methodiek staat beschreven in de hoofdstuk 4.

Tekstbox 2.1 Toegepaste begrippen in dit onderzoek

Toegepaste begrippen in dit onderzoek

Hieronder worden korte definities en begrippen beschreven, die zijn toegepast voor de klimaatrisico analyse voor gezondheidseffecten van klimaatverandering. Deze komen van Witmer et al. (2023).

Klimaatdreiging

Het mogelijk optreden van een fysieke, klimaat- of weer-gerelateerd fenomeen met de potentie om schade te veroorzaken. Opties:

- Het wordt warmer;
- Het wordt natter;
- Het wordt droger;
- Overig weer;
- De zeespiegel stijgt;
- Het CO₂-gehalte in de lucht neemt toe.

Secundaire effecten

Bijvoorbeeld effecten van de klimaatdreiging(en) op het bodem-, water- en luchtsysteem of effecten die de impact van de klimaatdreiging significant vergroten, zoals een langere bloeiperiode door een hogere gemiddelde temperatuur.

Blootstelling

Betekent de aanwezigheid van iets van waarde, zoals mensen, mogelijkheden voor levensonderhoud, soorten, ecosystemen, infrastructuur of economische, sociale of culturele belangen, dat door een klimaatdreiging in gevaar kan worden gebracht.

Gevoeligheid

De mate waarin een systeem negatief of positief beïnvloed wordt door klimaatverandering.

Adaptatiecapaciteit

Het vermogen van systemen, instituties, mensen of organismen om zich aan te passen aan mogelijke schade, kansen te benutten of te reageren op gevolgen.

Impact

In de context van klimaatverandering is 'impact' gedefinieerd als de gevolgen voor natuurlijke en menselijke systemen van extreem weer of geleidelijke klimaatverandering.

Thema (overgenomen uit Betgen et al. (2024))

In dit rapport wordt met thema één van de klimaatgerelateerde gezondheidsthema's bedoeld: hitte, luchtkwaliteit, mentale gezondheid, UV-straling, pollenallergieën en/of infectieziekten.

2.4 **Inschatting gezondheidsimpacts toekomstig adaptatiebeleid**

In tegenstelling tot deel 1, zijn in deel 2 van het onderzoek niet de effecten van adaptatiebeleid op de gezondheidsthema's beschreven, maar is per adaptatiemaatregel gekeken naar de gezondheidseffecten. Daarvoor is gekozen, omdat een adaptatiemaatregel meerdere gezondheidsthema's kan beïnvloeden. Voor een breder en vollediger beeld van de effecten van adaptatiebeleid zijn de effecten in een gezamenlijk hoofdstuk uitgewerkt.

Voor deel 2 van het onderzoek is gewerkt met de adaptatiescenario's die door PBL zijn geformuleerd (Van Gaalen et al., 2026). Hierbij heeft het RIVM aanvullend specifieke adaptatiemaatregelen voor gezondheid geformuleerd (zie paragraaf 2.4.1).

Vanwege de kwalitatieve aard van dit deel van het onderzoek, zijn de effecten van toekomstig adaptatiebeleid op gezondheid ingeschat aan de hand van drie expertsessies. De twaalf deelnemende experts zijn de RIVM-experts, die ook hebben meegewerkt en meegeschreven aan de themahoofdstukken in deel 1 van dit rapport. De projectleider begeleidde de drie sessies en faciliteerde open discussies.

2.4.1 *Inventarisatie adaptatiemaatregelen*

In de eerste sessie zijn de adaptatiescenario's van het PBL (Van Gaalen et al., 2026) met de experts besproken en zijn deze, waar mogelijk, verder aangevuld met adaptatiemaatregelen specifiek gericht op gezondheid. Door de adaptatiescenario's in deze eerste sessie gezamenlijk te bespreken, bevorderde de eenduidige interpretatie van de scenario's. In een brainstorm zijn door de verschillende experts kansrijke adaptatiemaatregelen geïdentificeerd. Deze zijn vervolgens gezamenlijk onderverdeeld in de twee adaptatiescenario's *Intensiveren* en *Transformeren*.

Bij dit aanvullen van adaptatiemaatregelen is ook gebruikgemaakt van conceptnotities zoals gebruikt bij de ontwikkeling van de NAS-adaptatiepaden (ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2026). Hiervoor is gekozen om op deze manier zo goed mogelijk aan te sluiten bij de denkwijze van het huidige beleid.

2.4.2 *Expertbeoordeling effecten adaptatiemaatregelen*

In de tweede sessie is met de experts in gesprek gegaan over de gezondheidseffecten van adaptatiemaatregelen. Hierbij zijn de adaptatiemaatregelen individueel besproken. Bij elke maatregel is bepaald bij welke gezondheidsthema's een effect te verwachten is en of de gezondheidseffecten daarmee worden vergroot of verkleind. Een inschatting van de omvang van het effect is achterwege gelaten, omdat dit niet wetenschappelijk kan worden onderbouwd.

De derde sessie is gebruikt om de haalbaarheid van de adaptatiemaatregelen te bespreken. Dit is gedaan door de gezondheidseffecten van de adaptatiemaatregelen uit expertsessie 2 te vergelijken met de eindimpacts van de gezondheidsrisico's uit deel 1. In deze sessie zijn eerst de eindimpacts besproken, en samengevat in Tabel 13.1.

De haalbaarheid van de adaptatiescenario's is ingeschat aan de hand van zeven categorieën: capaciteit, financieel, bestuurlijk, sociaal, technische uitvoerbaarheid en toekomstbestendigheid. Opnieuw zijn er geen inschattingen gedaan van ordegrrootte, omdat dat buiten de RIVM-expertise valt.

2.5 Kwaliteit

Voor het opstellen van de themahoofdstukken is gebruikgemaakt van peer-reviewed literatuur, rapporten en officiële beleidsdocumenten. Deze zijn gebruikt om de relatie tussen klimaatverandering en gezondheid te onderbouwen. Voor de verschillende gezondheidsthema's is vaak bekend of klimaatverandering leidt tot meer of minder gezondheidsproblemen, maar is de grootte van de impact nog lastig kwantitatief te onderbouwen. Daarom is in dit rapport gebruikgemaakt van expertbeoordeling om een inschatting te maken van de grootte van de impact van klimaatverandering op gezondheid. Alleen voor hitte is de verwachte impact onderbouwd met berekeningen (zie hoofdstuk 4).

Ook is er in de wetenschappelijke literatuur weinig beschreven over het effect van adaptatiemaatregelen op gezondheid. Daarom is het niet mogelijk om kwantitatief te onderbouwen hoe adaptatiemaatregelen de effecten van klimaatverandering op gezondheid beïnvloeden. Aan de hand van expertbeoordeling is in dit rapport wel een inschatting gedaan van de effectiviteit van adaptatiemaatregelen.

Om de kwaliteit van het rapport te waarborgen, is het rapport gereviewed door interne deskundigen die niet eerder bij het onderzoek zijn betrokken. Suggesties en kritiekpunten zijn in het huidige rapport verwerkt.

Deel 1 - Klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's bij ongewijzigd beleid

In dit deel van het onderzoek verkennen we de effecten van klimaatverandering op gezondheid in 2050. Dit wordt gedaan op basis van contextscenario's. Deze scenario's beschrijven belangrijke klimatologische en maatschappelijke ontwikkelingen. We nemen aan dat het huidige beleid ongewijzigd blijft. De twee contextscenario's die in deze studie zijn verkend, staan in hoofdstuk 3 beschreven.

Voor vijf gezondheidsthema's (Hitte, Luchtkwaliteit, UV-straling, Infectieziekten, en Pollen en allergieën) is aan de hand van de contextscenario's een schatting gemaakt van de risico's van klimaatverandering op gezondheid. De beschrijving van risico's van toekomstig klimaat op de verschillende gezondheidsthema's staat in hoofdstukken 4 t/m 8.

Voor de aanvullende thema's (Mentale gezondheid, Gedrag en perceptie, en Zorg) is beschreven via welke stappen klimaatverandering effect heeft op gezondheid. Daarnaast beschrijft Gedrag en perceptie ook het vermogen om adaptatiemaatregelen toe te passen. De beschrijvingen van deze thema's staan in hoofdstuk 9.

3 Omschrijving contextscenario's

De contextscenario's zijn ontwikkeld door het PBL en worden gebruikt om mogelijke gezondheidsrisico's van klimaatverandering in samenhang met autonome maatschappelijke ontwikkelingen te verkennen (zie ook Van Gaalen et al., 2026). Relevante onderdelen voor gezondheid zijn in dit rapport verder uitgewerkt. Eerst beschrijven we waarover de contextscenario's gaan. Vervolgens worden keuzes van de scenario's toegelicht, waarna ook de grootte van de veranderingen binnen de contextscenario's wordt beschreven.

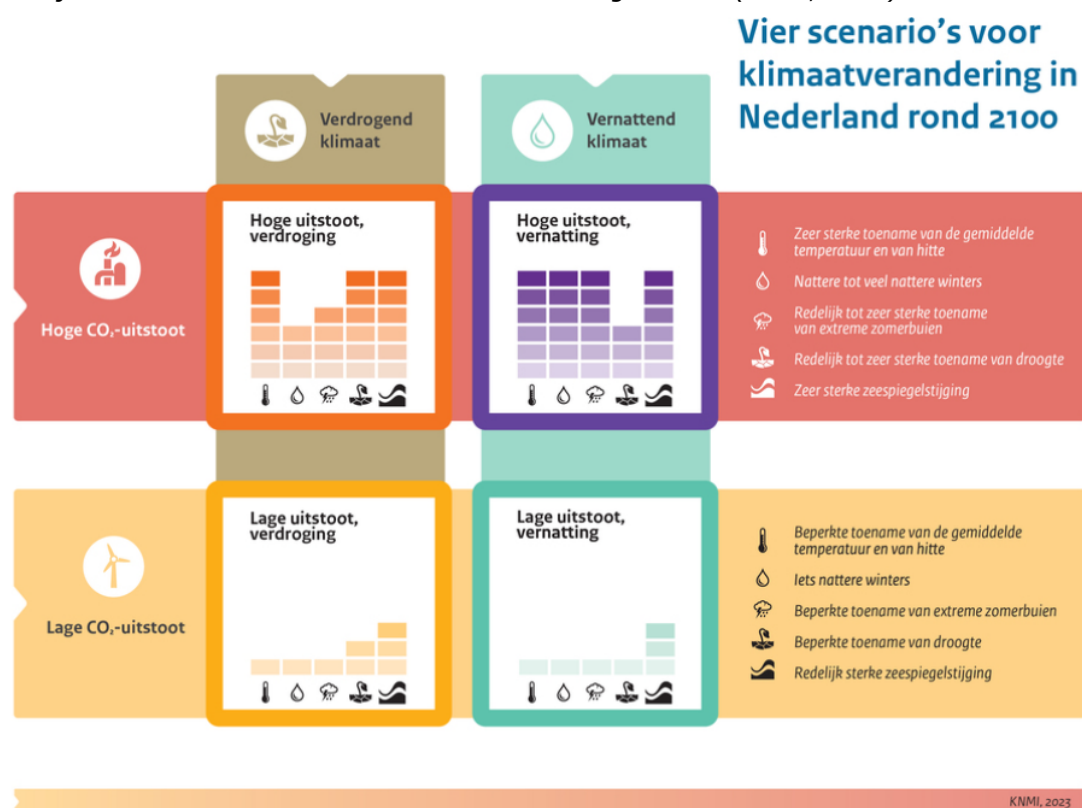
Zoals eerder beschreven, beschrijven de contextscenario's ontwikkelingen op het gebied van klimaatverandering en maatschappij. De ontwikkelingen die hierbij horen, zijn van invloed op toekomstige klimaatrisico's in het Nederland en worden als gegeven beschouwd. Dat wil zeggen dat er in de contextscenario's wordt uitgegaan van uitkomsten van keuzes (bijvoorbeeld over klimaatmitigatie) en de keuzes zelf buiten beschouwing worden gelaten. De contextscenario's bevatten informatie over klimaat- en maatschappelijke ontwikkelingen, bijvoorbeeld:

- Het klimaat en factoren die van het klimaat afgeleid kunnen worden, zoals water- en bodemtemperatuur, grondwaterpeil en groeiseizoen.
- De demografie in Nederland, bijvoorbeeld bevolkingsgroei en leeftijdsopbouw.
- Economie en maatschappij, zoals Bruto Nationaal Product (BNP), inkomens(verdeling), ontwikkeling energievraag die voortvloeit uit economische ontwikkeling.

3.1 **Klimaatscenario's**

De klimatologische ontwikkelingen zijn gebaseerd op de KNMI'23 klimaatscenario's (KNMI, 2023). Afgeleid van wereldwijde klimaatprojecties, schetst het KNMI vier scenario's voor het toekomstige klimaat in Nederland voor 2050 en 2100 (zie Figuur 3.1).

Figuur 3.1 Vier scenario's voor klimaatverandering in Nederland. Het aantal blokjes staat voor de mate van klimaatverandering in 2100 (KNMI, 2023)



Als basis voor het contextscenario 'Beperkt risico-verhogend' (BRV) heeft het PBL gekozen voor het 'Ln'-scenario (=lage CO₂-uitstoot, een vernattend klimaat. Als basis voor het contextscenario 'Sterk risico-verhogend' (SRV) is gekozen voor het 'Hd'-scenario (hoge CO₂-uitstoot en een verdrogend klimaat. Daarmee is gekozen voor de grootste bandbreedte van mogelijke klimaatverandering. De KNMI'23-scenario's bevatten klimatologische parameters, zoals temperatuur en neerslag, inclusief frequentie en intensiteit en klimaatextremen zoals hitte en piekbuien. In Tabel 3.1 en Tabel 3.2 staan de waarden voor klimatologische parameters die in de themahoofdstukken van dit rapport zijn gebruikt.

Tabel 3.1 Relevante klimaatcijfers van Nederland voor gezondheid (KNMI, 2023).

	Huidig (1991-2020)	Beperkt Risico-verhogend 2050	Sterk Risico-verhogend 2050	Beperkt Risico-verhogend 2100	Sterk Risico-verhogend 2100
Gemiddelde temperatuur	10,5°C	+0,9°C	+1,6°C	+0,9°C	+4,4°C
Wintertemp.	3,9°C	+0,7°C	+1,2°C	+0,7°C	+3,7°C
Zomertemp.	17,3°C	+1,1°C	+2,1°C	+1,2°C	+5,1°C
Max. dag temp. zomer	21,7°C	+1,2°C	+2,2°C	+1,2°C	+5,4°C

	Huidig (1991- 2020)	Beperkt Risico- verhogend 2050	Sterk Risico- verhogend 2050	Beperkt Risico- verhogend 2100	Sterk Risico- verhogend 2100
Aantal dagen met temp. >30°C	5	+4	+7	+4	+25
Aantal nachten met temp. >20°C	0,3	+0,7	+2,7	+0,7	+18,7
Gemiddelde zonnestraling (W/m²)	120	+4,8	+5,4	+4,8	+7,1
Zonnestraling winter (W/m²)	34	+1.5	+0.8	+1.5	-0.7
Zonnestraling lente (W/m²)	161	+5,2	+3.2	+5,2	-0.2
Zonnestraling zomer (W/m²)	206	+9.1	+14	+9.1	+24
Zonnestraling herfst (W/m²)	77	+3.5	+3.7	+3.5	+5.4
Wind winter (m/s)	5,6	-0,1	0	-0,1	+0,1
Wind lente (m/s)	4,7	-0,1	0	-0,1	0
Wind zomer(m/s)	4,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2
Wind herfst (m/s)	4,7	-0,1	0	-0,1	-0,2
Jaarneerslag (mm)	851	+3%	-2%	+3%	-3%

Tabel 3.2 Groeiseizoen¹ in aantal dagen berekend voor een aantal steden in Nederland voor de twee contextscenario's (Klimaat-effectatlas, 2025).

	Huidig (1991- 2020)	Beperkt Risico- verhogend 2050	Sterk Risico- verhogend 2050	Beperkt Risico- verhogend 2100	Sterk Risico- verhogend 2100
Maastricht	215	+15	+32	+15	+77
Groningen	206	+15	+26	+15	+76
Den Helder	230	+15	+27	+15	+75
Vlissingen	245	+16	+26	+16	+71
De Bilt	215	+16	+31	+16	+76

¹ Voor definitie zie paragraaf 8.1

3.2 Demografische, socio-economische en technologische ontwikkelingen

In de contextscenario's wordt rekening gehouden met demografische en economische ontwikkelingen en hoe die bijvoorbeeld de vraag naar woningen of energie bepalen. Geen rekening wordt gehouden met waar of in welke vorm die woningen worden gebouwd, noch welke vorm van energieproductie de energievraag gaat invullen.

Tabel 3.3 vat een aantal ontwikkelingen van de twee contextscenario's samen, die voor gezondheid van belang zijn.

Tabel 3.3 Overzicht van een aantal demografische, socio-economische en technologische ontwikkelingen in de contextscenario's voor het zichtjaar 2050 (PBL, 2025).

Onderwerp	Aspecten	Huidig/ referentie 2021	Beperkt risico- verhogend	Sterk risico- verhogend
Bevolking	Bevolking (in miljoenen)	17,5	18,3	21
	Leeftijdsopbouw (%65+)	19,8%	25,6%	24,0%
	Leeftijdsopbouw (%75+)	8,5%	15,5%	14,7%
	Sterfte 0-64 (in duizend)	22,3	11,6	10,8
	Sterfte 65-74 (in duizend)	28,7	14,2	12,4
	Sterfte 75-84 (in duizend)	49,3	48,2	41,7
	Sterfte 85+ (in duizend)	67,7	138,7	138,5
	% Mensen in steden	32,7%	36,0%	36,0%
Economie	BNP	100	+16%	+87%
Energie	Energievraag		Huidig	Huidig
	Elektrificatie, toename elektriciteitsvraag		Toename	Sterke toename
ICT	Digitalisering, ICT vraag		Sterke Toename	Zeer sterke toename
Gebouwde omgeving	#huishoudens (mil)	8	8,4	10,4
	#eenpersoonshuishoudens (mil)	3,1	3,4	4,8
Transport Infrastructuur	Omvang vraag mobiliteit/spoor en wegen	Huidig	Lichte toename	Sterke toename

3.3 Schets contextscenario 'Beperkt risico-verhogend' (BRV)

In dit scenario blijft de klimaatverandering voor Nederland beperkt, met name voor de periode na 2050 (geen of kleine extra verandering ten opzichte van 2050). Zo heeft Nederland in 2050 volgens dit scenario een klimaat dat jaargemiddeld 0,9°C warmer is dan in referentieperiode (1991-2020) en blijft dit gemiddelde stabiel in de decennia van 2050 tot 2100. Er valt 3 procent meer neerslag op jaarbasis, waarbij zomers mogelijk 2 procent droger worden en de winters 5 procent natter. Ook weersextremen nemen beperkt toe.

De bevolking groeit in eerste instantie, maar zal na 2040 dalen tot 18,3 miljoen mensen in 2050 (vergelijkbaar aantal inwoners als nu; PBL,

2025). De economische groei is in deze periode tot 2050 gematigd: tot 2050 is de verwachte jaarlijkse groei gemiddeld 0,5 procent per jaar. In 2050 komt dit neer op een totale groei van 16 procent ten opzichte van 2021. De verwachte groei is laag, onder meer door beperkte innovatie. Hierdoor komen er minder mensen in Nederland werken (minder economische migratie naar Nederland). In beide contextscenario's neemt het aantal ouderen in de samenleving toe. In het BRV-scenario neemt het aandeel ouderen in de samenleving sterker toe, omdat er minder economische migratie plaatsvindt in Nederland.

Door de eerder toenemende bevolking zal de vraag naar energie stijgen. De stijging zal echter beperkt zijn, omdat de energietransitie gepaard gaat met energiebesparende maatregelen (Van Gaalen et al., 2026). Er zullen ook andere maatregelen worden genomen om zoveel mogelijk te voldoen aan klimaatneutraliteit. Het energiesysteem zal bestaan uit meerdere bronnen en de daarbij behorende infrastructuur: elektriciteit uit voornamelijk hernieuwbare bronnen (zon, wind, water), waterstof, kernenergie, opslag, *Carbon-Capture and Storage (CCS)*, et cetera. De vraag naar elektriciteit zal toenemen, vanwege elektrificatie van bijvoorbeeld warmte/koeling, transportmobiliteit en een toename van de ICT. Infrastructuur van energie raakt steeds meer verweven met andere infrastructuren, zoals ICT.

3.4 Schets contextscenario 'Sterk risico-verhogend' (SRV)

Het SRV-scenario kent extremere ontwikkelingen die de klimaatrisico's beïnvloeden. Er worden wel maatregelen genomen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen, maar niet genoeg om klimaatverandering sterk te beperken. Hierdoor neemt de temperatuur, in combinatie met een sterke reactie van het klimaatsysteem, snel toe.

Door tekortschietende inspanningen op het gebied van klimaatmitigatie zet de klimaatverandering substantieel door. De jaargemiddelde temperatuur ligt in 2050 en 2100 respectievelijk 1,6°C en 4,4°C hoger, dan in de referentieperiode (1991-2020). Dit warmere klimaat gaat samen met meer extreme zomers. Naar verwachting zullen er rond 2100 gemiddeld 35 tropische dagen (dagen met een maximale temperatuur van >30 °C), terwijl dat er nu gemiddeld 5 zijn. Naar verwachting zullen er in Maastricht gemiddeld zelfs 52 tropische dagen per jaar zijn, vergeleken met het huidige gemiddelde van 8 tropische dagen per jaar. Elk jaar kan ergens in Nederland de 40°C worden aangetikt en is 50°C in de stad niet meer uit te sluiten. Tropische nachten kunnen in 2050 wel tot drie keer vaker voorkomen en in 2100 wel tot 19 keer. De zomers worden veel droger door toenemende verdamping en minder neerslag, waarbij extreme buien in frequentie en intensiteit toenemen. De luchtvochtigheid neemt substantieel af. Het gemiddelde jaarlijkse neerslagtekort zal naar verwachting flink toenemen (met 79% tot 2100).

De bevolkingsomvang neemt toe tot bijna 21 miljoen mensen in 2050, mede door economische migratie naar Nederland. Ook de economie blijft substantieel groeien. In de periode tot 2050 wordt uitgegaan van een jaarlijkse groei van 2,1 procent per jaar, wat dan in 2050 neerkomt op een totale groei van 87 procent ten opzichte van 2021. Dit leidt naar

verwachting tot meer vervoer van mensen en goederen. Het aantal ouderen neemt ook in dit scenario toe door vergrijzing. Door economische groei zal het aandeel ouderen in de samenleving lager uitpakken dan in het BRV-scenario.

Het energiesysteem zal bestaan uit vele bronnen en bijbehorende infrastructuur: elektriciteit uit voornamelijk hernieuwbare bronnen (zon, wind, water), waterstof, kernenergie, opslag, CCS. Vanwege beperktere mitigatiemaatregelen bevat het ook nog elementen van het huidige energiesysteem: gas en olie.

Door de grotere veranderingen van het klimaat nemen ook de klimaatopgaven toe. Zo worden steden naar verwachting extra warm. Omdat ook de neerslag in de zomer vermindert, kunnen watertekorten zich vaker voordoen. Het zal niet altijd mogelijk zijn om genoeg water op de juiste plekken te krijgen.

4 Hitte

RIVM-experts: J.O. Klompmaker, W. Hagens, redactie: J.O. Klompmaker

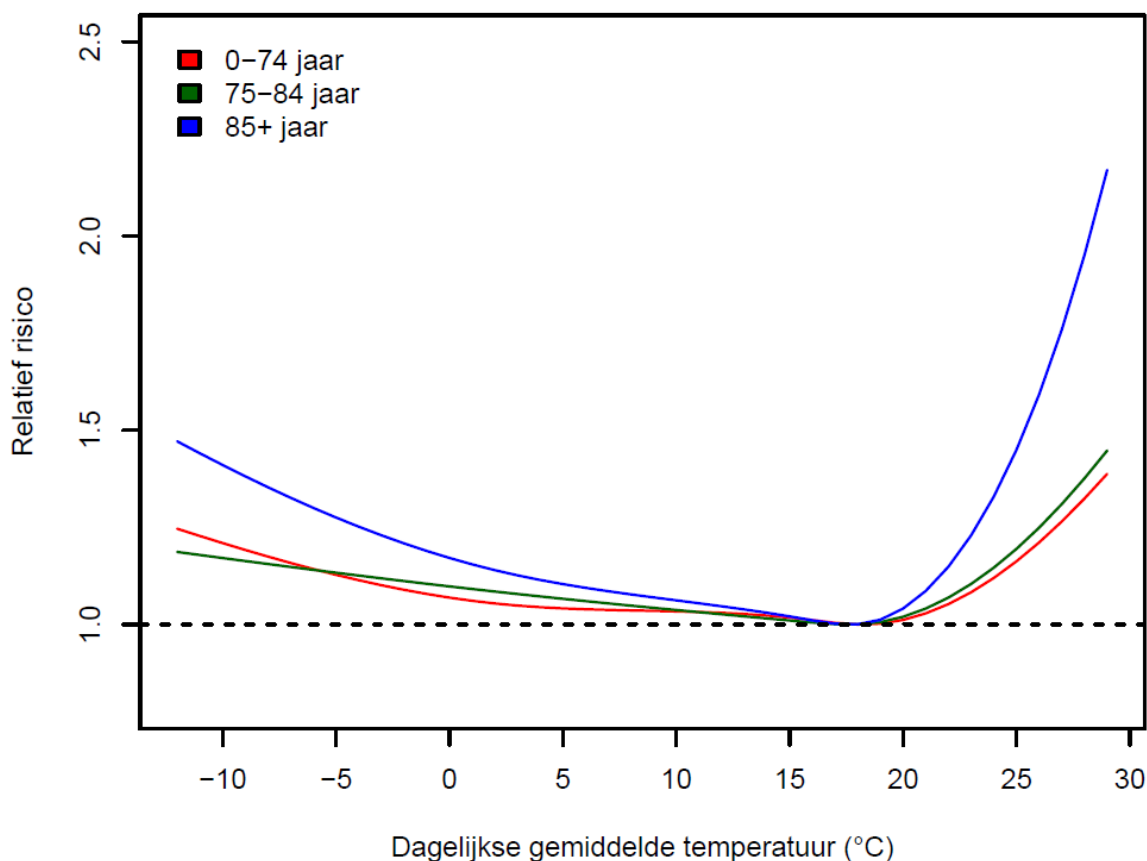
Samenvattende punten:

- *Hittegolven en hoge temperaturen zorgen voor meer sterfte en gezondheidsklachten, vooral bij ouderen en mensen met een chronische aandoening. De effecten zijn vooral merkbaar in omgevingen met veel verstering en asfalt, en in slecht gekoelde woningen.*
- *In de huidige berekeningen zal door klimaatverandering en vergrijzing in het Sterk risico-verhogende scenario de warmteterfte (temperatuurgerelateerde sterfte bij temperaturen boven 17 °C) sterk toenemen ten opzichte van de huidige hittesterte. Ook in het beperkt risico-verhogende scenario zal de warmteterfte toenemen.*
- *De koudegerelateerde sterfte neemt, ondanks de temperatuurstijging in beide PBL-contextscenario's, toe door de bevolkingsgroei en vergrijzing.*

4.1 Klimaatdreiging

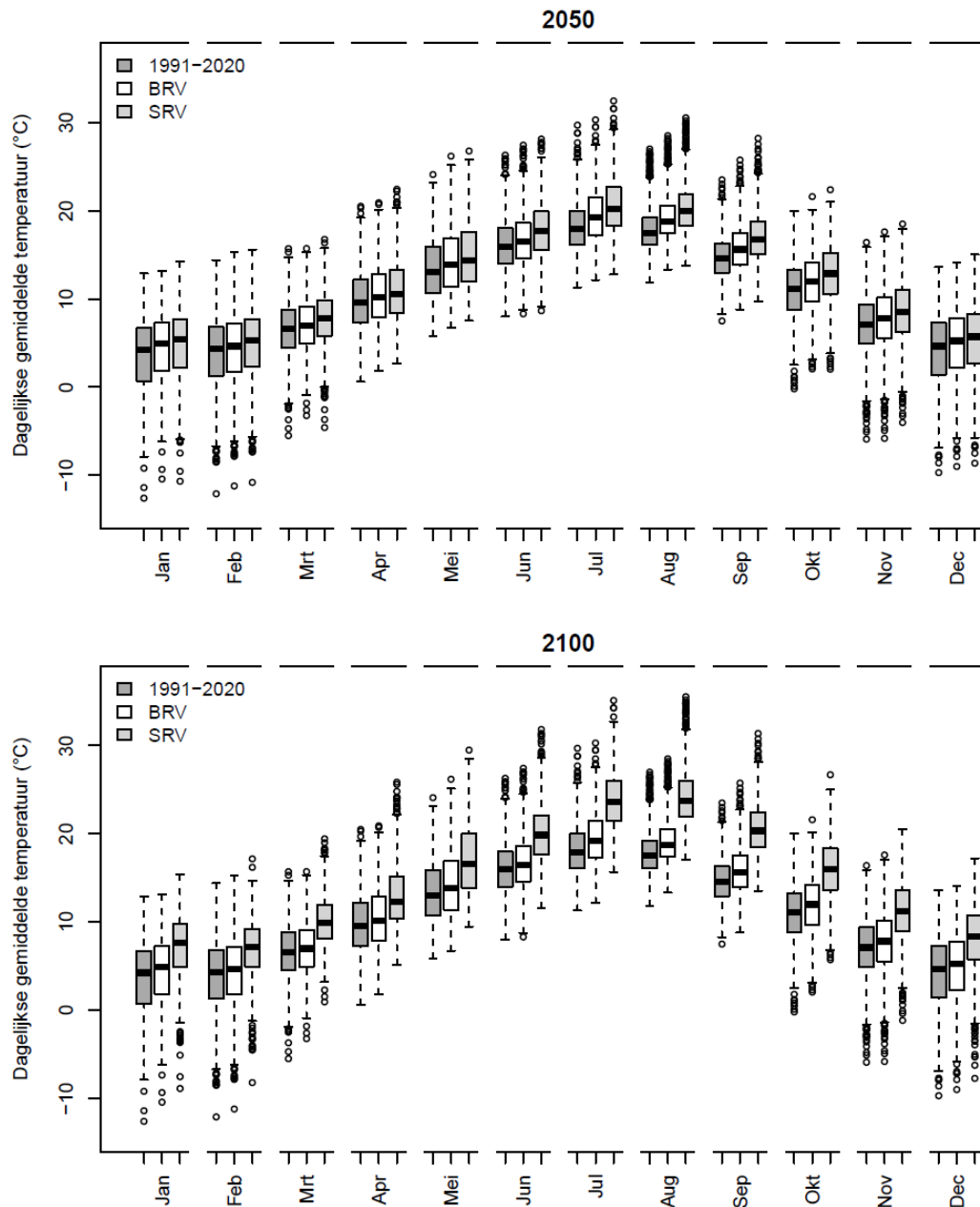
Hitte is een van de meest ernstige en urgente klimaatgerelateerde risicofactoren voor de menselijke gezondheid (EMA, 2024). Blootstelling aan hoge temperaturen kan leiden tot extra belasting op thermo-regulerende processen van het menselijk lichaam (GGD, 2023b). Als de hittebelasting te hoog is, kan dat in ernstige gevallen leiden tot ziekenhuisopnames en sterfte (Åström, Bertil, en Joacim, 2011). Een eerdere studie toonde aan dat er in Nederland ongeveer 660 mensen per jaar overlijden door hoge temperaturen (Staatsen et al., 2024). Uit RIVM-onderzoek blijkt dat in 2010-2019 met name ouderen een hoger risico hebben om te sterven tijdens dagen met hoge temperaturen (Figuur 4.1).

Figuur 4.1 Het sterfterisico (relatief risico), uitgezet tegen de dagelijkse temperatuur voor verschillende leeftijdscategorieën in de periode 2010-2019.



Het klimaat in ons land verandert en dat zal ertoe leiden dat het steeds warmer wordt in de komende jaren. Uit de KNMI'23-klimaatscenario's blijkt de opwarming het grootst in de zomer en het kleinst in de winter in 2050 en 2100 (Figuur 4.2) (Bessembinder et al., 2023). Het aantal zomerse dagen en tropische nachten zal stijgen en het aantal vorstdagen zal afnemen. Ook zal het aantal hittegolven toenemen en zullen deze nog intenser (langer en heter) worden. De temperatuurstijging is afhankelijk van de hoeveelheid broeikasgassen die nog wordt uitgestoten. In het beperkt risico-verhogend (BRV) scenario – overeenkomstig met het lage uitstootscenario uit de KNMI'23- scenario's - wordt de uitstoot van broeikasgassen snel verminderd, in lijn met het Klimaatakkoord van Parijs. De mondiale opwarming rond 2100 zal dan ongeveer 1,7°C zijn (ten opzichte van eind negentiende eeuw) (Bessembinder et al. 2023). In het Sterk risico-verhogend (SRV) scenario – overeenkomstig met het hoge uitstootscenario uit de KNMI'23 scenario's - neemt de uitstoot tot 2080 sterk toe en zal de mondiale opwarming rond 2100 ongeveer 4,9°C zijn (Bessembinder et al., 2023).

Figuur 4.2 De gemiddelde dagelijkse temperatuur in de Bilt in de periode 1991-2019 en in het Beperkt risico-verhogende (BRV) scenario en in het Sterk risico-verhogende (SRV) scenario voor de periode 2050 en 2100. De box geeft het 25- en 75-percentiel weer van de dagelijkse gemiddelde temperatuur, de horizontale lijn in de box geeft het 50- percentiel weer. De stippellijnen boven en onder de box (whiskers) zijn maximaal 1.5 keer de interkwartielafstand (75-percentiel-25-percentiel). Eventuele uitschieters worden weergegeven met de cirkels.



Op basis van metingen in de Bilt blijkt dat er 44 dagen waren met een dagelijkse gemiddelde temperatuur boven de 25°C in de periode 1991-2020. Uit de KNMI'23-scenario's blijkt dat het aantal dagen per 30 jaar met een dagelijkse gemiddelde temperatuur boven de 25°C in het 2050 BRV-scenario naar 100 en in het 2050 SRV-scenario naar 225 zal toenemen.

4.2 Adaptatiemaatregelen huidig beleid

Ter preventie van de impact van hitte op gezondheid is in Nederland in 2007 het Nationaal Hitteplan ontwikkeld. Het Nationaal Hitteplan is een waarschuwingssysteem en wordt geactiveerd als er een periode van aanhoudende hoge temperaturen wordt verwacht. Naast het Nationaal Hitteplan zijn er ook lokale hitteplannen opgesteld. De evaluatie van het Nationaal Hitteplan toonde aan dat de sterfterisico's bij hoge temperaturen zijn afgenomen (Klompmaker en Hagens, 2025). Uit onderzoek in Nederland blijkt ook dat de temperatuur waarbij het sterfterisico het laagst is, toeneemt, (Folkerts et al., 2020). Dat is een mogelijke indicatie voor een afname van de hittegevoeligheid. Het is niet duidelijk of de lagere sterfterisico's daadwerkelijk aan de ontwikkeling van het Nationaal Hitteplan gerelateerd zijn, of dat andere factoren een rol hebben gespeeld, zoals verbeteringen in de gezondheidszorg en een toename van hitte-werende maatregelen.

Er is steeds meer aandacht voor hitte in woningen en gebouwen. De binnentemperatuur is zeer relevant, omdat mensen een groot gedeelte van de dag binnen verblijven, waarbij de meest kwetsbare populatie niet/nauwelijks buiten zal zijn tijdens de hitteperiode. In 2024 toonde Investico aan dat 2 miljoen ouderen in een woning wonen met risico op oververhitting. Het gaat hierbij om de al bestaande huizen; in een steeds warmer wordend klimaat lopen mogelijk meer woningen een risico voor oververhitting. In 2021 is voor hittestress een wettelijke eis van toepassing voor nieuwe gebouwen, de TO-juli (Folkerts et al., 2020). De TO-juli geeft een indicatie van het risico op temperatuuroverschrijding in een woning. Wanneer blijkt dat een gebouw niet voldoet aan de TO-juli, dan zijn aanpassingen aan het plan nodig (bijvoorbeeld aanpassingen glasoppervlak, toepassen zonwering). In een warmer wordend klimaat is het wel van belang dat de geldende normen voor nieuwbouw meebewegen met het veranderende klimaat. Meestal blijkt dat de regelgeving altijd zo'n 15 jaar achterloopt (NOS, 2025). Het aantal jaarlijks opgeleverde nieuwbouwwoningen is iets minder dan 1 procent van de bestaande bouw.

In woningen kunnen hitte-werende maatregelen de opwarming van de woning tegengaan. Uit TNO-onderzoek blijkt dat in 2021 bijna 20 procent van de huishoudens in Nederland een airco had en TNO schat dat dat zal oplopen tot ongeveer 40 procent van de huishoudens in 2030 (Rovers et al.) TechniekNederland gaf in de zomer van 2025 aan dat de verwachting is dat er meer dan 300.000 airco's zullen worden verkocht in 2025 (TechniekNederland, 2025). Dat is iets meer dan in het recordjaar 2021. Toen werden er 297.000 nieuwe airco's geïnstalleerd. Naast airco's en hitte-werende maatregelen is er ook steeds meer aandacht voor de verkoelende werking van groen in stedelijk gebied.

Het is echter voor groepen in de samenleving door financiële beperkingen lastig om hitte-werende maatregelen te nemen. Hierdoor kan er een kloof ontstaan tussen het kapitaalkrachtige deel van de populatie dat wel de middelen heeft om verkoelende maatregelen te nemen tegen de hitte, en het deel van de populatie dat dit niet heeft. Een ander nadeel van het toenemend gebruik van airco's in stedelijk gebied is dat je de omgeving opwarmt. Mensen die geen airco's hebben,

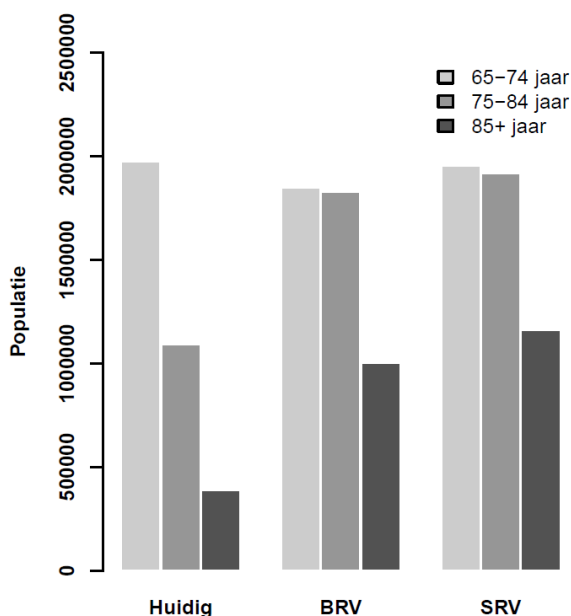
kunnen geluidsoverlast ervaren als ze door het openzetten van ramen hun huis in de koelere avond en nacht willen koelen.

4.3 Blootstelling

Iedereen zal worden blootgesteld aan hogere temperaturen. In het Sterk risico-verhogende scenario neemt het aantal dagen waarop men wordt blootgesteld aan hoge temperaturen sterker toe, dan in het BRV-scenario. Er zijn ook geografische verschillen en verschillen tussen subpopulaties in blootstelling. Bewoners in stedelijk gebied zullen extra worden blootgesteld aan hoge temperaturen door het stedelijk hitte-eiland. Steden bestaan uit relatief veel verhard oppervlak, waardoor hitte wordt opgenomen en vastgehouden. Groen kan zorgen voor verkoeling en schaduw, waardoor temperaturen tussen stad en platteland, maar ook tussen wijken in een stad, kunnen verschillen. Daarnaast zijn er regionale verschillen; met doorgaans hogere temperaturen in het zuidoosten van Nederland en lagere temperaturen aan de kustgebieden door verkoeling van de zee. Ook zullen bepaalde populaties meer worden blootgesteld aan hitte, zoals buitenwerkers (bouwvakkers, groenwerkers) en buitensporters.

4.4 Gevoeligheid

Figuur 4.3 Bevolkingscijfers in het huidige scenario (2021) en in het Beperkt risico-verhogend (BRV) en Sterk risico-verhogend (SRV) scenario in 2050 voor 65-74, 75-84 en 85+ jarigen. De prognoses komen van het PBL (Van Eck et al., 2025).



Uit bevolkingscijfers en prognoses van het PBL (WLO-scenario's; Van Eck et al., 2025) blijkt dat de totale populatie in Nederland zal groeien van ongeveer 17.5 miljoen in 2021 naar 18.3 miljoen in het BRV-scenario en naar 21.0 miljoen in het SRV-scenario. Door de vergrijzing stijgt met name het aantal 75-84- en 85+-jarigen (Figuur 4.3). Uit Figuur 4.1 blijkt dat de 85+-jarigen de meest kwetsbare leeftijdsgroep is voor hitte. In 2021 waren er in Nederland ongeveer 400.000 mensen

van 85 jaar en ouder in Nederland. Dit aantal zal stijgen naar ongeveer 1 miljoen in 2050 blijkt uit de prognose. Er zijn geen prognoses voor 2100 gebruikt in verband met een te grote onzekerheidsmarge.

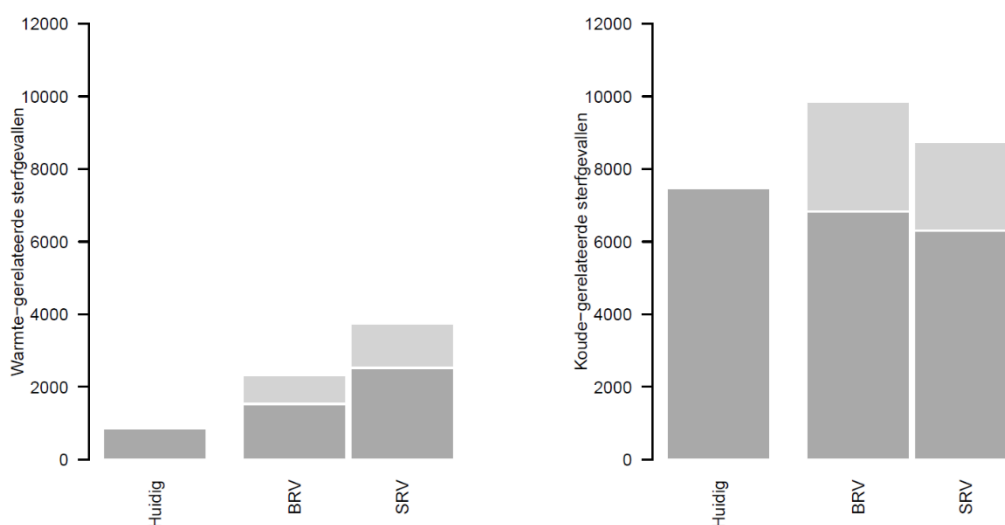
Ook blijkt uit prognoses dat het aantal mensen dat in steden woont in Nederland zal toenemen, met name in de Randstad (De Jong et al., 2022). Utrecht groeit naar verwachting met ruim 25 procent tot 2035; ook Amsterdam (20%), Den Haag (18%) en Rotterdam (12%) zullen groeien (De Jong et al., 2022). Naast de toename van het aantal ouderen en de stedelijke populatie verwacht men ook een toename van het aantal mensen met overgewicht. In 2022 had ongeveer 50 procent van de inwoners van Nederland overgewicht. In 2050 wordt verwacht dat ongeveer 64 procent van de inwoners overgewicht zal hebben (Spijkerman et al., 2024). Chronische aandoeningen die gerelateerd zijn aan overgewicht, zoals hart- en vaatziekten, zullen daardoor ook vaker voorkomen (Spijkerman et al. 2024). Mensen met overgewicht en/of chronische aandoeningen zijn extra kwetsbaar voor hitte (Son, Liu, en Bell, 2019; GGD, 2023a).

Uit prognoses en toekomstige scenario's blijkt dus dat er in 2050 een toename wordt verwacht van het aantal dagen met hoge temperaturen, een toename van de kwetsbare populatie en een toename van de hoogblootgestelde (stedelijke) populatie.

4.5 Impact

In het huidige scenario ligt het geschatte aantal warmte-gerelateerde sterfgevallen per jaar rond de 860 en het geschatte aantal koude-gerelateerde sterfgevallen per jaar rond de 7.500. Volgens de huidige berekeningen zal zowel het aantal warmte- als koude-gerelateerde sterfgevallen toenemen. Voor de warmte-gerelateerde sterfte komt dit door de temperatuurstijging en de bevolkingsgroei. In het BRV-scenario is het geschatte aantal warmte-gerelateerde sterfgevallen ongeveer 2.300 per jaar en in het SRV-scenario is het geschatte aantal warmte-gerelateerde sterfgevallen ongeveer 3.700 per jaar. De koude-gerelateerde sterfte neemt, ondanks de temperatuurstijging in zowel het SRV als BRV-scenario toe door de bevolkingsgroei. In het BRV-scenario is het geschatte aantal koude-gerelateerde sterfgevallen ongeveer 9.900 per jaar en in het SRV-scenario is het geschatte aantal koude-gerelateerde sterfgevallen ongeveer 8.700 per jaar. In beide scenario's is ongeveer 30 procent van zowel de warmte-gerelateerde sterfte als de koude-gerelateerde sterfte toe te schrijven aan de bevolkingsgroei en verwachte vergrijzing.

Figuur 4.4 Aantal geschatte warmte- en koude-gerelateerde sterfgevallen in het huidige scenario en in het Beperkt risico-verhogend (BRV) en Sterk risico-verhogend (SRV) scenario in 2050. De lichte grijze kleur geven het geschatte warmte- en koude-gerelateerde sterfteaandeel weer, dat mede is toe te schrijven aan de bevolkingstoename en de verwachte vergrijzing. De schattingen voor de toekomstige scenario's zijn gebaseerd op de KNMI'23-scenario's en de bevolkingscijfers van het CBS (huidig =2021). Hierdoor verschillen de cijfers ten opzichte van de VTV 2023 (Staatsen et al. 2024).



Bij deze schattingen is geen rekening gehouden met mogelijke toekomstige adaptatiemaatregelen en/of gewenning aan hitte die het temperatuur-sterfte risico kunnen beïnvloeden. Daarnaast is er veel onzekerheid en discussie over de afname van koude-gerelateerde sterfte in een warmer wordend klimaat (Arbuthnott et al., 2018). Koude-sterfte kan worden veroorzaakt door directe en indirecte effecten. Indirecte effecten, zoals verhoogde circulatie van pathogenen, worden veroorzaakt doordat we tijdens koude dagen meer tijd binnen in niet/beperkt geventileerde ruimte spenderen. Of dit zal afnemen met warmer wordende winters is lastig omdat het afhankelijk is van ontwikkelingen van ons gedrag en van pathogenen en infecties (Arbuthnott et al., 2018).

Bij hitte hebben we het vaak over hitte-gerelateerde sterfte. Naast sterfte kan blootstelling aan hoge (en lage) temperaturen echter ook leiden tot gezondheidsklachten. Dit kan variëren van lichte klachten, zoals hoofdpijn en vermoeidheid, tot ziekenhuisopnames. De impact van blootstelling aan hoge en lage temperaturen op andere gezondheidspunten is niet meegenomen in de berekeningen van dit onderzoek. We verwachten echter dat het aantal mensen dat gezondheidsklachten ervaart door hoge en lage temperaturen groter is, dan de warmte- en koude-gerelateerde sterfgevallen. Ook kan de arbeidsproductiviteit afnemen bij hogere temperaturen en dus leiden tot economische schade.

Figuur 4.5 De mogelijke gezondheidsimpact van blootstelling aan hoge temperaturen. Het aantal door lichte gezondheidsklachten door hitte getroffen mensen is groter dan het aantal mensen dat is getroffen door erge klachten en sterfte door hitte.



Eindimpact

Door de stijging van de temperatuur en de toename van de bevolking en vergrijzing neemt in beide scenario's zowel de koude- als warmte-gerelateerde sterfte toe. De warmte-gerelateerde sterfte neemt toe van 860 naar 2.300 (BRV-scenario) of 3.700 (SRV-scenario) per jaar. De koude-gerelateerde sterfte zal toenemen van 7.500 naar 9.900 (BRV-scenario) of 8.700 (SRV-scenario) per jaar. Er zijn geen schattingen over een mogelijk toename bij andere gezondheidspunten, maar het is aannemelijk dat in beide scenario's de warmte-gerelateerde impact daar ook zal toenemen. De eindimpact van de toename van de temperatuur op de mens is hoog.

4.6 Kwaliteit

Transparantie, aggregatie, afbakening

Voor de berekeningen zijn data over de dagelijkse sterfte (alle oorzaken) in heel Nederland voor de periode 2010 tot en met 2019 verkregen bij het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). De bevolkingsprognoses voor de toekomstige scenario's zijn verkregen via het PBL; in het huidige scenario is de bevolking van 2021 als uitgangspunt genomen. In de Bilt gemeten data over de dagelijkse temperatuur in 2010-2019 zijn verkregen bij het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). Data over dagelijkse temperaturen in de Bilt in KNMI'23-scenario's zijn verkregen via <https://klimaatscenarios-data.knmi.nl/>.

Om de temperatuur-sterfte relatie in de periode 2010-2019 te evalueren, hebben we gebruikgemaakt van tijdserie-analyses (Poisson-regressiemodellen). De dagelijkse gemiddelde temperatuur is gelinkt aan de dagelijkse sterfte en voor het evalueren van de relatie zijn niet-lineaire en vertraagde effecten van temperatuur meegenomen. De temperatuur met het laagste sterfterisico is de minimale

mortaliteitstemperatuur. De temperatuur-gerelateerde sterfte op dagen met een temperatuur warmer dan de minimale mortaliteitstemperatuur zijn gelabeld als warmte-gerelateerde sterfte; de temperatuur-gerelateerde sterfte op dagen met een temperatuur kouder dan de minimale mortaliteitstemperatuur zijn gelabeld als koude-gerelateerde sterfte. De warmte-gerelateerde sterfte bevat dus temperatuur-gerelateerde sterfte op dagen met extreme hitte (hittegolven) en op dagen met milde/gematigde hitte. De koude-gerelateerde sterfte bevat temperatuur-gerelateerde sterfte op dagen met extreme koude en op dagen met milde/gematigde koude. De analyses zijn uitgevoerd voor verschillende leeftijdsklasse en de geschatte sterfteaantallen zijn bij elkaar opgeteld. Voor het schatten van de temperatuur-gerelateerde sterfte in de toekomstige scenario's zijn de blootstelling-response-curves uit 2010-2019 gebruikt en gelinkt aan de temperatuur-scenario's en sterfteprognoses voor 2050. Er is dus geen rekening gehouden met een mogelijke toename van mensen met overgewicht en andere chronische aandoeningen en een groei van de stedelijke bevolking. Voor het schatten van de temperatuur-gerelateerde sterfte is gebruikgemaakt van een tutorial. Meer informatie over deze tutorial is elders te vinden (Vicedo-Cabrera, Sera, en Gasparrini, 2019).

Kennishiaten

Er zijn veel kennishiaten op het gebied van temperatuur en gezondheidseffecten in relatie tot klimaatverandering. Deze zijn deels al beschreven in andere rapporten (Betgen et al., 2024; Van der Ree et al., 2022). In dit rapport zijn schattingen gemaakt van de temperatuur-gerelateerde sterfte in toekomstige scenario's. Er is geen informatie beschikbaar over de relatie tussen temperatuur en andere gezondheidspunten, zoals ziekenhuisopnames, bezoeken aan spoedeisende hulp en huisartsen, en prognoses van deze gezondheidspunten voor 2050. Zoals hierboven ook al is beschreven, is er geen rekening gehouden met mogelijke gewenning aan hitte en in welke mate veranderingen in gedrag het risico kunnen beïnvloeden. Er zijn wereldwijd regionale verschillen in de gezondheidseffecten van koude en hitte (Tobías et al., 2021). De temperatuur waarbij het sterfterisico het laagst is, is afhankelijk van de gemiddelde temperatuur en impliceert gewenning en aanpassing aan koude en hitte. Het is onduidelijk in welke mate gewenning op zal treden en de gezondheidsrisico's zal verminderen. Er is ook geen duidelijk beeld van de relatie tussen lage temperaturen en sterfte en in welke mate infectieziekten (influenza) daarin een rol spelen en hoe dit zal veranderen in een warmer klimaat. Bekend is welke groepen het meest kwetsbaar zijn, maar wat de precieze impact is per groep en hoe het zit met combinaties van kwetsbaarheidsfactoren (zoals 85+-jarigen, overgewicht en wonend in een stedelijk hitte-eiland) is niet bekend. Mogelijke interacties tussen hoge temperaturen en slechte luchtkwaliteit en pollen zijn een ander belangrijk kennishiaat.

Onzekerheid/betrouwbaarheid

De analyses van de temperatuur-gerelateerde sterfte zijn gedaan op basis van een tutorial. Deze tutorial is beschreven in een wetenschappelijk tijdschrift en gepeerreviewed. Voor de bevolkingsprognoses is gebruikgemaakt van WLO-scenario's (Van Eck et al., 2025), met 2021 als basisjaar. Door COVID-19 was de oversterfte in

2021 hoger dan verwacht. Dit heeft mogelijk impact op de geschatte temperatuur-gerelateerde sterfte in het huidige scenario. De Hd (Hoge CO₂-uitstoot (SSP5-8.5), verdrogend) en Ln (Lage CO₂-uitstoot (SSP1-2.6), vernattend) KNMI'23-scenario's zijn in de analyses gebruikt. Scenario's voor een matige CO₂-uitstoot (SSP2-4.5) zijn niet meegenomen. We benadrukken dat de temperatuur-gerelateerde sterfgevallen schattingen zijn en dat er een bepaalde mate van onzekerheid is. Ook benadrukken we dat de consensus over de relatie tussen dagelijkse temperatuur en sterfte groot is.

5 Luchtkwaliteit

RIVM-expert: P. Ruysenaars, redactie: J. van der Ree

Samenvattende punten:

- Door klimaat- en milieubeleid is de luchtkwaliteit in de afgelopen jaren verbeterd. Als de overheid zich aan beleidsafspraken houdt, zal dit in de toekomst verder verbeteren. Door klimaatverandering zijn de weersomstandigheden vaker geschikt voor ozon- en fijnstofvorming in de atmosfeer.
- Vermoedelijk neemt het aantal smogepisoden toe door klimaatverandering en zijn deze ook intenser. De problematiek van smogepisoden is groter in de stedelijke omgeving door het hitte-eilandeffect en de hogere uitstoot van luchtvervuilende stoffen.
- Natuurbranden veroorzaken een acute verslechtering van de luchtkwaliteit, waardoor mensen meer luchtwegklachten kunnen ondervinden. Natuurbranden komen door toenemende hete en droge perioden vaker voor.
- Het nemen van mitigerende maatregelen voor het verbeteren van de luchtkwaliteit heeft een direct positief effect: zodra de uitstoot van vervuulende stoffen omlaaggaat, nemen ook de gezondheidseffecten van klimaatverandering af.

Luchtverontreiniging vormt een grote bedreiging voor de volksgezondheid en leidt tot vroegtijdige sterfte. Daarnaast kan het leiden tot hart- en vaatziekten en luchtwegklachten en kan het bestaande gezondheidsklachten verergeren. (Gezondheidsraad, 2018; WHO, 2021b) Bij luchtverontreiniging zijn de belangrijkste componenten voor de gezondheid fijnstof (PM_{2.5} en PM₁₀), ozon (O₃) en stikstofoxiden (NO_x). Bij ozon gaat het in dit hoofdstuk alleen om ozon op leefniveau in het onderste deel van de atmosfeer, ook wel troposferisch ozon geheten. Het gaat dus niet om het stratosferisch ozon dat betrokken is bij de klimaatveranderingscomponent 'ozonlaagafbraak'. Voor dit laatste, zie hoofdstuk 6. Fijnstof en stikstofoxiden komen onder andere vrij bij industrie, verkeer en landbouw. Ze worden voor een deel gevormd uit gassen, die in de lucht met elkaar reageren. Ozon ontstaat in de lagere luchtlagen uit een reactie tussen stikstofoxiden en andere precursors, zoals methaan.

Bij ozon geldt dat de mate van vorming sterk afhangt van de weersomstandigheden, waardoor het effect van klimaatverandering een significante rol kan (gaan) spelen. Ozonconcentraties nemen toe onder warme omstandigheden met veel zonlicht en beperkte wind en neerslag. Deze weersomstandigheden zullen door klimaatverandering vaker gaan voorkomen. Ook voor fijnstof en stikstofdioxiden zijn de afnemende wind en neerslag een grote factor voor de concentraties in de lucht. Door een vaak overheersende oostenwind tijdens hittegolven komt er nog extra fijnstof uit het buitenland Nederland binnen (Hall et al., 2021).

Er wordt onderscheid gemaakt tussen korte- en langetermijneffecten van luchtverontreiniging op de gezondheid. In de eerste categorie is er

sprake van kortdurend een sterk verhoogde concentratie van luchtverontreinigende stoffen, door een combinatie van uitstoot- en weersomstandigheden. Onder langetermijneffecten vallen de gezondheidsklachten die voortkomen uit blootstelling aan luchtverontreiniging over een langere periode. Zelfs bij lage concentraties luchtverontreiniging kunnen er gezondheidsklachten optreden (Gezondheidsraad, 2018).

5.1 Klimaatdreiging

Het gezondheidsrisico bestaat uit een piek in slechte luchtkwaliteit vanwege zomersmog (en wintersmog, maar dat komt niet veel (meer) voor). Ozonconcentraties nemen toe door een toename van temperatuur, zonstraling en droogte en een windafname in de zomer. Deze omstandigheden komen volgens het KNMI door klimaatverandering vaker voor. Daarnaast heeft klimaatverandering invloed op de atmosferische en biogene processen, die een rol spelen in de vorming en afbraak van ozon (zie Figuur 6.1).

Ook voor andere componenten van luchtverontreiniging, zoals fijnstof en stikstofoxiden, heeft klimaatverandering via de atmosferische processen invloed (WMO, 2009). Het RIVM doet de komende jaren nader onderzoek hiernaar. Het is echter nog onzeker welke bijdrage dat levert aan het overkoepelende gezondheidsrisico van luchtverontreiniging. Bovendien zorgt het luchtkwaliteitsbeleid voor forse gezondheidswinst. Daarom focust dit rapport zich op ozon.

Het gezondheidsrisico van ozon betreft korte- en langetermijneffecten. Beide zijn relevant in zowel 2050 als 2100. De intensiteit van deze klimaatdreigingen hangt in sterke mate af van het contextscenario.

Ontwikkeling ozonconcentraties

De langetermijnontwikkeling van ozonconcentraties is hoofdzakelijk afhankelijk van drie factoren:

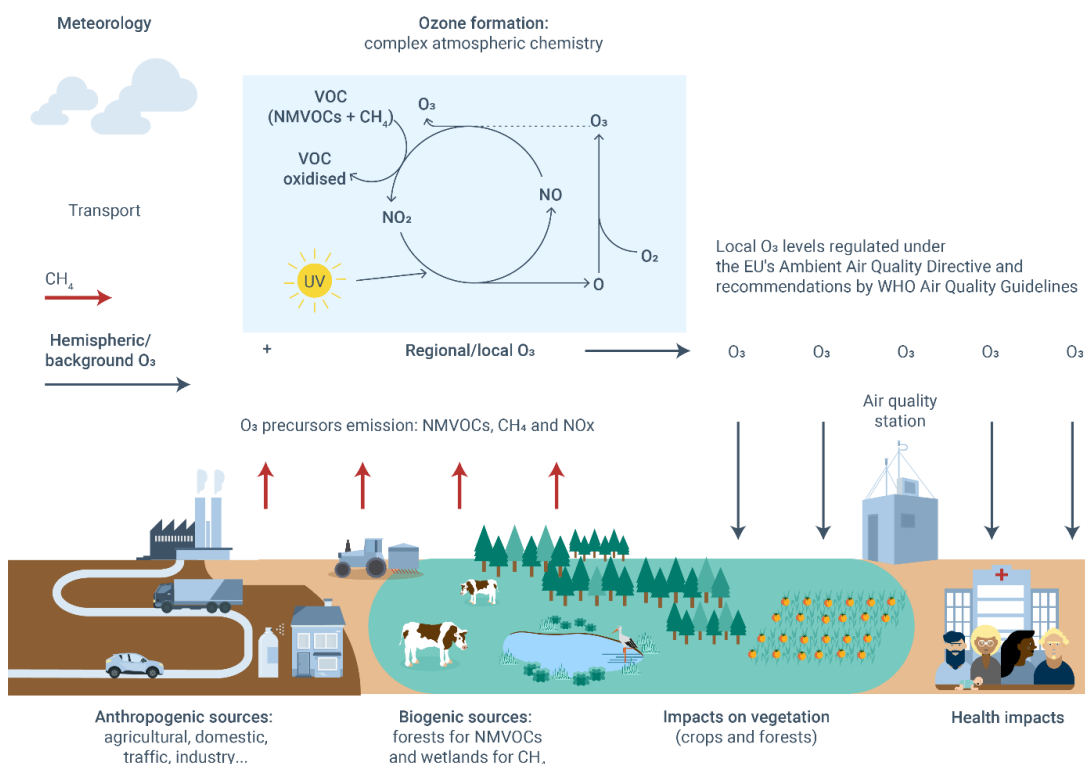
- Emissies van precursors (stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen) in Nederland en omliggende landen.
- De wereldwijde achtergrondconcentraties (ozon en precursors zoals methaan).
- En de jaarlijkse variatie in meteorologie.

Hoe de ozonconcentraties zich vervolgens ontwikkelen, is een ingewikkeld proces. Daarbij spelen naast emissies en het weer ook atmosferische en biogene² processen een rol. In tegenstelling tot bijvoorbeeld fijnstof en stikstofoxiden is er geen lineair verband tussen ozonconcentraties en de afname van precursors in Europa. Terwijl de stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen concentraties flink daalden tussen 2005 en 2021 (-50% en -30%), nam de jaargemiddelde concentratie van ozon met 3 procent toe, en namen ozonpieken met 8 procent af (EEA, 2025). Het is dan ook ingewikkeld om alle interacties te ontrafelen en te begrijpen, om zodoende goede mitigatiemaatregelen voor klimaatverandering en luchtkwaliteit te ontwikkelen. Een effectieve

² Klimaatverandering heeft ook indirect invloed op ozon, doordat de biogene emissies van vluchtige organische stoffen zoals isopreen en terpenen door bomen en planten veranderen. Ook de emissie van stikstofoxiden uit de bodem en de stikstofoxide-productie in de hogere troposfeer door bliksem veranderen.

aanpak van ozonpieken vraagt om een aanpak op een Europees schaalniveau. En de trend in het achtergrondniveau wordt voor een belangrijk deel beïnvloed door hemisferisch transport vanuit bijvoorbeeld Azië. Voor deze klimaatdreiging is het daarom belangrijk om een integrale aanpak van emissies na te streven (WMO, 2025).

Figuur 5.1 Ozonvormingsmechanismen en belangrijkste impacts van ozon (EEA, 2025)



Contextscenario's

Bij het contextscenario 'Beperkt risico-verhogend' (BRV-scenario) wordt klimaatverandering beperkt. Daarvoor zijn wereldwijde emissiereducties nodig, waarbij ook precursors van ozon zoals methaan gereduceerd worden (Global Methane Pledge, 2021). Hierdoor kan de achtergrondconcentratie ook dalen. Daarnaast zorgt het luchtkwaliteitsbeleid tot 2050 voor een reductie van precursors. Van de drie bepalende factoren is het volgende te stellen:

- Emissies van precursors nemen af in Nederland en omliggende landen.
- Wereldwijde emissies van precursors nemen af, met mogelijk ook lagere achtergrondconcentraties tot gevolg.
- De waarschijnlijkheid van meteorologische condities die gunstig zijn voor de vorming van ozon neemt tot 2050 toe. In dit contextscenario is er sprake van verhoogde zomerse temperaturen (+1.1°C), een toename in zonnestraling (+9.1W/m²) en een afname in zomerneerslag (-2%) in 2050. Deze factoren blijven daarna gelijk, omdat de opwarming na 2050 stabiel blijft. De maximumtemperatuur op zomerse dagen stijgt gemiddeld met +1.2 graden Celsius in 2050 en in 2100.

- Dichtbij bronnen van stikstofoxiden reageert een deel van het ozon met stikstofoxiden, waardoor daar de ozonconcentraties lager worden (het 'titratie-effect'). Dat betekent dat ozonniveaus in stedelijk gebied vaak lager zijn dan in het landelijk gebied. Bij een uitstootafname van stikstofoxiden door verkeer wordt dit 'dempende effect' minder.

Bij het contextscenario 'Sterk risico-verhogend' (SRV) nemen volgens het klimaatscenario wereldwijde emissies tot 2080 sterk toe. PBL schrijft in het contextscenario dat er wel maatregelen genomen worden "om uitstoot te verminderen, maar niet genoeg om klimaatverandering sterk te beperken. Hierdoor, in combinatie met een sterke reactie van het klimaatsysteem, neemt de temperatuur snel toe". Dit betekent dat ook de precursors van ozon naar verwachting snel toenemen. Van de drie bepalende factoren is te stellen:

- Emissies van precursors in Nederland en omliggende landen nemen waarschijnlijk slechts gedeeltelijk af, doordat er niet genoeg uitstootbeperkende maatregelen worden getroffen. Er is daarbij niet uitgesplitst of dit voor klimaat- en luchtbeleid hetzelfde uitpakt. Met name voor verkeer verwacht PBL in dit scenario dat de emissies afnemen, door al in gang gezet beleid richting volledige elektrificatie van voertuigen.
- Wereldwijde emissies van precursors nemen in het beste geval slechts beperkt af, maar de emissies kunnen ook toenemen (afhankelijk van welke maatregelen wel en niet getroffen worden). De emissies van precursors liggen in dit scenario in ieder geval hoger dan in het BRV-scenario.
- De kans op de vorming van ozon meteorologische gunstige condities neemt toe (sterk verhoogde zomerse temperaturen (+2.1°C), een toename in zomerse zonnestraling (+14W/m²) en een afname in zomerneerslag (-13%) in 2050). Deze veranderingen zijn een stuk groter dan in het BRV-scenario. Tot 2100 nemen deze bovendien nog veel sterker toe (zomerse temperaturen +5.1 graden, zomerse zonnestraling +24W/m², afname zomerneerslag -29%). Het aantal tropische dagen stijgt van gemiddeld 5 naar 12 dagen in 2050 en 30 dagen per jaar in 2100. In Maastricht zelfs 52 dagen. De maximumtemperatuur op zomerse dagen stijgt gemiddeld met +2.2 graden Celsius in 2050 en +5.4 in 2100.

Voor beide scenario's geldt dat hoe de achtergrondconcentraties uitpakken afhankelijk is van meerdere ontwikkelingen en de atmosferische en biogene processen. Op basis van de contextscenario's is te verwachten dat er in het scenario 'SRV' aanmerkelijk hogere achtergrondconcentraties en meer dagen met ozonpieken optreden, dan in de huidige situatie. In het BRV-scenario is het vooral de vraag hoe de wisselwerking tussen stijgende temperaturen en dalende emissies uitpakt. Achtergrondconcentraties zullen waarschijnlijk dalen, voor ozonpieken is het onduidelijk.

Frequentie

Frequentie is vooral relevant bij kortetermijnpieken. De omstandigheden voor kortetermijnpieken komen in het SRV-scenario vaker voor, dan in het BRV-scenario en de huidige situatie. Het is niet aan te geven wat het

verschil in kortetermijnpieken van ozonconcentraties is tussen de huidige situatie en het BRV-scenario. Zo liet het rapport over de huidige klimaatrisico's (RIVM, 2024) zien dat ondanks de klimaatverandering in de periode 1990-2020 er een daling en daarna stabilisatie van het aantal ozonpieken plaatsvond. Daarin speelt de daling in luchtverontreiniging door luchtbeleid een belangrijke rol. Vanwege de complexe interacties is het nu niet mogelijk om een schatting van het aantal pieken te maken. Wel is vanuit klimaatverandering het aantal extreem warme dagen onder een bepaald contextscenario een factor in het risico op smogepisoden, aangezien de hoeveelheid zonlicht een bepalende factor is. Het gemiddelde aantal dagen per jaar met een temperatuur boven de 30 graden is momenteel vijf dagen, in 2050 is dit negen dagen bij een BRV-scenario en twaalf dagen bij het SRV-scenario. In 2100 ligt dit op negen dagen en dertig dagen per jaar voor respectievelijk het BRV- en SRV-scenario. Er kan dus gesteld worden dat de frequentie van deze factor toeneemt door klimaatverandering, in het bijzonder onder een hoog risicoscenario.

Intensiteit en duur

Naast een mogelijke toename in de frequentie van ozonpieken, kan ook de intensiteit ervan groter worden. Perioden met veel zon en weinig wind worden door klimaatverandering niet alleen waarschijnlijker, maar ook intenser. In het SRV-scenario is sprake van een hogere gemiddelde temperatuur en een hogere achtergrondconcentratie van vervuilende componenten. Dit zorgt ervoor dat gezondheidseffecten onder dergelijke extreme omstandigheden nog hoger kunnen uitvallen. Met name als de weersomstandigheden leiden tot episoden van meerdere dagen, worden de gezondheidsrisico's groter. De duur neemt vooral in het SRV-scenario toe.

Voor het BRV-scenario is de intensiteit lager dan in het SRV-scenario. Onduidelijk is hoe de duur en intensiteit voor het BRV-scenario zich verhouden ten opzichte van de huidige situatie, aangezien de luchtverontreiniging afneemt.

Geografische en regionale verschillen

In het zuidoosten van Nederland zijn gemiddeld genomen de ozonconcentraties hoger dan in het noorden van Nederland (Mijnen-Visser et al., 2024).

Ozonpieken zijn in steden minder hoog dan op het platteland. Dit komt door de reactie van stikstofdioxide uit wegverkeer met de aanwezige ozon.

Voor de klimaatdreiging speelt daarnaast mee dat ozonpieken vooral ontstaan wanneer er sprake is van hitte, droogte en lage windsnelheid. Hierdoor is de verspreiding/verdunding van luchtverontreiniging laag en dus de concentratie hoog. Dit betekent dat naast de blootstelling aan ozon er gelijktijdig blootstelling aan hitte is. Mogelijke interactie-effecten tussen ozon en hitte kunnen leiden tot grotere gezondheidseffecten. Ook hitte kent geografische en regionale verschillen, evenals verschillen tussen steden en platteland.

Secundaire effecten

Pollenseizoen

Ook pollenblootstelling gaat via de lucht en de luchtwegen. Het onderwerp pollen wordt in een apart hoofdstuk behandeld. Naast een samenloop van ozonpieken en hitte, kan er ook een samenloop zijn met hoge pollenpieken. Er is nader onderzoek nodig om te bepalen of deze combinatie tot grotere gezondheidsrisico's leidt via cascade of cumulatie van blootstelling en gezondheidseffecten.

Energietransitie

Klimaatmitigatie is onderdeel van de contextscenario's. De energietransitie is een belangrijk onderdeel hiervan. De keuzes die richting 2050 en 2100 voor energietechnieken ter vervanging van fossiele energiebronnen worden gemaakt, bepalen ook welke luchtverontreiniging het energiesysteem in de toekomst veroorzaakt. Sommige duurzame energietechnieken kunnen CO₂-neutraal zijn, maar wel bijdragen aan luchtverontreiniging. Dit zijn bijvoorbeeld biomassastook, of de verbranding van ammoniak en waterstof (Gooijer, 2021). En bij de klimaatmitigatie in de landbouw is van belang hoeveel emissies worden gereduceerd, en hoeveel emissies blijven doorgaan en worden gecompenseerd via koolstofverwijdering en vastlegging, zodat we netto-neutraal zijn.

Natuurbranden

Natuurbranden door klimaatverandering zorgen voor een slechte luchtkwaliteit. Ook in Europa komen grote natuurbranden meer voor. In de recente zomers van 2022, 2023 en 2025 werden meerdere Europese landen hierdoor getroffen. Natuurbranden in Nederland en het buitenland kunnen, afhankelijk van de windrichting, van invloed zijn op de luchtkwaliteit in Nederland. Dit kan zorgen voor een tijdelijke piek in luchtverontreiniging, waardoor mensen meer luchtwegklachten kunnen ondervinden. Als er sprake is van een structurele toename van natuurbranden, leidt het ook tot hogere jaargemiddelde concentraties. Het thema Natuurbranden wordt als aparte sector meegenomen en is verder uitgewerkt in de analyse van klimaatrisico's door het Planbureau van de Leefomgeving en de samenwerkende kennisinstituten (Van Gaalen et al., 2026).

5.2 Adaptatiemaatregelen huidig beleid

Er is in Nederland geen adaptatiebeleid dat er specifiek is vanwege de invloed van klimaatverandering op ozonconcentraties. De bestaande beleidsmaatregelen zijn vanuit luchtkwaliteitsbeleid tot stand gekomen. Voor het omgaan met ozonpieken is er in het huidige adaptatiebeleid een voorlichtingsmaatregel, gericht op reactieve adaptatie (blootstelling en gezondheidsimpact beperken).

Adaptatie is mogelijk door de bevolking te informeren en handelingsperspectief te bieden. Het RIVM heeft in opdracht van het ministerie van IenW in 2014 de 'luchtkwaliteitsindex' (LKI) ontwikkeld. Hiermee informeert het RIVM de bevolking over de huidige luchtkwaliteit en geeft het een prognose af voor de ontwikkeling op korte termijn (drie dagen). Hieraan koppelt het RIVM gedragsadviezen, speciaal ook voor gevoelige groepen, in geval van (kans op) het optreden van episoden

van luchtverontreiniging. Bij het overschrijden van door EU vastgestelde waarschuwings- en alarmgrenzen voor luchtverontreiniging wordt de gehele bevolking actief gewaarschuwd, met de suggestie om bij (fysieke) activiteiten rekening te houden met luchtverontreiniging. Mensen die gevoelig zijn voor smog kunnen bij (de kans op) smog (zware) lichamelijke inspanning het beste beperken, of zelfs vermijden en binnenblijven.

Naast deze voorlichtingsmaatregel publiceert het RIVM jaarlijks kaarten die inzicht geven in de huidige en de te verwachten blootstelling van de bevolking aan luchtverontreiniging inclusief ozon (zie de Grootschalige concentratiekaarten Nederland).

5.3 Blootstelling

Ozon vormt een direct risico op de volksgezondheid op zowel korte als lange termijn. Langdurige blootstelling aan hoge concentraties ozon is schadelijk en kan leiden tot nadelige effecten op de luchtwegen en longen (Gezondheidsraad, 2018) en sterfte. De WHO-advieswaarde voor ozon wordt in de huidige situatie met regelmaat overschreden. Op geen van de meetstations in Nederland wordt aan de WHO-advieswaarde voldaan (CLO, 2025). Klimaatverandering vergroot dit probleem, terwijl klimaatmitigatie en luchtkwaliteitsbeleid dit (voor de mens) gunstig kunnen beïnvloeden.

Smog door ozon komt voor in de zomermaanden en is het hevigst aan het eind van de middag en in de vroege avond. De blootstelling is te verminderen door gedurende deze periode binnen te blijven. De ozonconcentraties zijn binnen doorgaans lager (mits ramen en deuren zoveel mogelijk gesloten zijn).

De gehele bevolking ervaart blootstelling aan verontreinigende stoffen in de lucht, waarbij er wel sprake is van ruimtelijke verschillen door het land. Er is verschil in concentraties tussen Noord- en Zuid-Nederland. En er is verschil in ozonpieken tussen steden en platteland. In het BRV-scenario wordt het verschil tussen stad en platteland kleiner. De stedelijke concentraties komen dan dichterbij de plattelandsconcentraties te liggen.

Voor kortetermijnpieken geldt ook dat deze in de regel het hele land treffen, omdat deze het gevolg zijn van grootschalige meteorologische patronen, zoals hoge temperaturen en zonstraling en windstil weer.

Het is op dit moment niet mogelijk om toekomstige blootstelling te berekenen aan achtergrondconcentraties ozon in 2050 en 2100. Ook voor de kortetermijnpieken is niet te berekenen hoeveel en met welke intensiteit en duur deze gaan optreden.

5.4 Gevoeligheid

In termen van gevoeligheid voor de luchtverontreinigingseffecten maakt de Gezondheidsraad (Gezondheidsraad, 2018) onderscheid naar verschillende zogenaamd 'hoogrisicogroepen'. Kortetermijnpieken van ozonconcentraties zijn vooral van negatieve invloed op mensen met verhoogde gevoeligheid voor

luchtverontreiniging, zoals mensen met longaandoeningen (astma, COPD), ouderen, jonge kinderen. Ook mensen met een buitenberoep (zeker diegenen die gevoelig zijn voor effecten van luchtverontreiniging) kunnen meer last hebben van blootstelling aan luchtverontreiniging, dan mensen met een binnen beroep. Effecten kunnen variëren van luchtwegklachten, extra medicijngebruik en ziekenhuisbezoek tot (vervroegde) sterfte (Gezondheidsraad, 2018). De 'hooggevoeligen' zijn extra gevoelig voor hogere (piek)concentraties luchtverontreiniging; maar bij zeer hoge concentraties kan iedereen klachten krijgen.

In de VolksgezondheidsToekomstVerkenning 2024 (Den Broeder et al., 2024) is opgenomen dat tussen nu en 2050 het aantal mensen met een chronische aandoening van 10,5 naar 12 miljoen stijgt. De VTV hanteert daarbij een midden-scenario voor de groei van de bevolking uit de CBS-bevolkingsprognose. Daarbij stijgt de bevolking van 18 miljoen naar 19,6 miljoen in 2050 (CBS, 2023). De VTV zit dus precies tussen het beperkt en het SRV-scenario (18 en 21 miljoen inwoners in 2050). Daardoor komt het aantal mensen met een chronische aandoening waarschijnlijk in het BRV-scenario tussen de 10,5 en 12 miljoen uit, en in het SRV-scenario hoger dan 12 miljoen.

Vooraf oudersdomsziektes gaan een belangrijkere plaats innemen in de top tien van aandoeningen. Ook zal er in de toekomst vaker sprake zijn van multimorbiditeit. Dat wil zeggen dat mensen vaker meerdere ziektes tegelijkertijd hebben. Van de genoemde 12 miljoen mensen met een aandoening in 2050 zal een groter deel dan nu het geval is, drie of meer aandoeningen hebben. Deze groep met drie of meer aandoeningen stijgt met ongeveer 1 miljoen mensen tot 4,3 miljoen in totaal. Daarmee stijgt deze groep aanzienlijk harder, dan de groepen met mensen met maar een of twee aandoeningen. De stijging zit vooral bij oudere mensen.

Het vóórkomen van een ziekte zegt niet alles over de grootte van het probleem voor de volksgezondheid. Daarvoor is ook de ernst van de aandoening belangrijk. Daarnaast dragen betere behandelingen en ziektemanagement ook bij aan goed kunnen leven met een aandoening. Een voorbeeld hiervan is de toepassing van monitoring op afstand bij diabetes, waardoor een arts de medicatie beter kan instellen en mensen minder klachten ervaren (Den Broeder, 2024).

In het SRV-scenario zijn er meer 'hooggevoeligen' in de samenleving en zijn de achtergrondconcentraties en het aantal pieken hoger.

5.5 Impact

Impact bij contextscenario 'Beperkt risico-verhogend'

In dit contextscenario is er sprake van verhoogde zomerse temperaturen (+1.1°C), een toename in zonnestraling (+9.1W/m²) en een afname in zomerneerslag (-2%) in 2050 en nagenoeg geen verdere toename in 2100. Deze invloeden zorgen mogelijk voor verhoogde achtergrondconcentraties ozon. Tegelijkertijd is sprake van een verdere verbetering van de luchtkwaliteit in Nederland en wereldwijd door de klimaat- en luchtmaatregelen in dit scenario. Hierdoor kunnen achtergrondconcentraties ook dalen. De verwachting is dat deze

verbetering groter is, dan een verslechtering die de relatief beperkte verandering in weerspatronen met zich meebrengt.

In dit scenario stijgt het aantal dagen met temperatuur boven de 30 graden van gemiddeld vijf naar gemiddeld negen dagen per jaar in 2050. Hierdoor kan de frequentie van kortetermijnpieken van ozon toenemen. De frequentie neemt echter juist af door de eerder benoemde klimaatmaatregelen die bij dit contextscenario horen. Verwacht is dat in 2050 het gunstige effect van deze maatregelen sterker zal zijn, dan het ongunstige effect van klimaatverandering.

De mate waarin deze veranderingen effect hebben op de gezondheidsimpact van ozon is op dit moment niet te kwantificeren. Er is geen modellering van ozonblootstelling beschikbaar voor 2050 en 2100. Voor de impact op gezondheid is naast de klimaatverandering en de luchtverontreiniging ook relevant hoeveel inwoners Nederland heeft en hoeveel inwoners tot de gevoelige groepen behoren. De ziektelast hangt vervolgens ook nog af van de leefstijl en het zorgsysteem. De bevolking blijft relatief gelijk, maar de gevoelige groepen nemen mede vanwege vergrijzing toe (van nu 10,5 miljoen naar tussen de 10,5 en 12 miljoen). Daartegenover staat dat verbetering van zorg en leefstijl de ziektelast kleiner kan maken dan nu (Den Broeder, 2024). In combinatie met de klimaatmaatregelen en het luchtkwaliteitsbeleid in dit scenario laat de impact van ozon op de gezondheid zich niet zo makkelijk voorspellen. De impact kan naar verwachting variëren tussen gelijkblijven en verminderen.

Impact bij contextscenario 'Sterk risico-verhogend'

In dit contextscenario is er sprake van sterk verhoogde zomerse temperaturen (+2.1°C), een toename in zomerse zonnestraling (+14W/m²) en een afname in zomerneerslag (-13%) in 2050. Deze invloeden leiden naar verwachting tot verhoogde concentraties ozon en fijnstof, vooral vanwege het beperkte klimaatbeleid in dit contextscenario. Hierbij wordt aangenomen dat er (ook) geen extra luchtbeleid wordt gevoerd.

In 2100 zal de impact van klimaatverandering op de luchtkwaliteit onder dit contextscenario naar verwachting groot zijn. De meteorologische projecties in de zomer zijn hier een toename in temperatuur van 5.1°C, een toename in zonnestraling van 24 W/m² en een afname in neerslag van 29 procent. De combinatie van deze factoren met de aannames in het contextscenario leidt tot een sterke verhoging van de achtergrondconcentraties ozon, fijnstof en stikstofdioxide. In dit scenario stijgt het aantal dagen met temperatuur boven de 30 graden van gemiddeld 5 naar gemiddeld 12 dagen per jaar in 2050, en maar liefst gemiddeld 30 dagen per jaar in 2100. Hierdoor neemt naar verwachting de frequentie en intensiteit van kortetermijnpieken van ozon significant toe en kan er sprake zijn van cascade-effecten. Daarnaast neemt de bevolking en het aantal hoog-gevoeligen flink toe, waardoor de impact in dit scenario een stuk hoger zal liggen dan in het BRV-scenario.

Het kwantificeren van gezondheidseffecten onder zo'n scenario is op dit moment niet mogelijk. Bovendien zal een dergelijk klimaatscenario impact hebben op de leefbaarheid en activiteiten in Nederland, Europa

en elders. Voor een goede inschatting van de effecten van luchtkwaliteit op de gezondheid is daarom een integrale analyse nodig van leefbaarheid, activiteiten en gezondheidseffecten.

Eindimpact: mens

De impact op de gezondheid in 2050 en 2100 hangt af van:

- Ontwikkeling in luchtkwaliteit;
- Ontwikkeling klimaatbeleid;
- Ontwikkeling klimaatverandering;
- Ontwikkeling bevolking en gevoelige groepen;
- Ontwikkeling in leefstijl;
- Ontwikkeling in zorg (kwaliteit, aanbod, betaalbaarheid).

Het is op dit moment niet mogelijk om de impact te berekenen in termen van ziektelast en sterfte. Op grond van meerdere aannames valt te verwachten dat de impact van ozon in het BRV-scenario in termen van ziektelast ongeveer in de buurt van de huidige impact of lager zullen liggen. (Voor huidige impact, zie Betgen et al., 2024.) De impact van het SRV-scenario leidt ten opzichte van de huidige situatie naar verwachting tot een stijging in ziektelast.

Het aandeel van klimaatverandering in de ziektelast en vroegtijdige sterfte is op dit moment niet te bepalen. Te verwachten is dat vanwege de klimaatverandering die doorzet – in het ene scenario sterker dan het andere – het aandeel van klimaatverandering toeneemt. Dit neemt het sterkst toe in het SRV-scenario.

Tegelijkertijd is het mogelijk dat de ozonconcentraties en frequentie van pieken door de klimaat- en luchtkwaliteitsmaatregelen in het BRV-scenario lager uitvallen dan nu. In dat geval kan er zelfs sprake van zijn dat de impact van klimaatverandering op gezondheid voor het aspect ozon afneemt. Daarbij moet wel in ogenschouw worden genomen dat niet alle klimaatmaatregelen een gunstig effect op de luchtkwaliteit zullen hebben. Dat betekent dat in beleidsmatige afwegingen niet alleen naar de effecten op het halen van klimaatdoelen, maar bijvoorbeeld ook de effecten op gezondheid in beschouwing genomen moeten worden. Kortom, het is lastig om een goede uitspraak te doen over welke richting de impact zich ontwikkelt in dit scenario.

In het SRV-scenario is te verwachten dat er hogere ozonconcentraties en frequentere ozonpieken zijn. De impact van ozon op gezondheid neemt toe, en het aandeel van klimaatverandering doet dat ook. De trend is voor het SRV-scenario een stijgende impact op de mens.

Eindimpact: economie

De economische impact is het gevolg van de impact van achtergrondconcentraties ozon en ozonpieken op (vroegtijdige) sterfte; het aantal arbeidsdagen dat door ziekte verloren gaat; medicijngebruik; ziekenhuisbezoek en 'hinder' meer in zijn algemeenheid. De kwantificering van de economische impact, mede in relatie tot de bijdrage van klimaatverandering hieraan, moet nader onderzocht worden.

Wetende dat de impact van luchtverontreiniging op gezondheid in Nederland nu al tot miljarden euro's economische schade leidt

(Ruysenaars et al., 2024), kan op basis van een voorzichtige expertbeoordeling geschat worden dat de toekomstige impact van ozon op gezondheid in de categorie middel of groot kan uitkomen.

In het BRV-scenario kan de economische impact van ozon op gezondheid dalen of gelijk blijven. Het aandeel van klimaatverandering in de economische impact van ozon neemt wel toe. Bij het SRV-scenario kan de economische impact van ozon op gezondheid sterk toenemen, door het uitblijven van emissie maatregelen, demografische ontwikkelingen en sterke klimaatverandering.

Waarschijnlijkheid

In termen van effecten van luchtverontreiniging op gezondheid, wordt onderscheid gemaakt in langetermijneffecten en kortetermijneffecten. Voor de langetermijneffecten geldt dat deze voortkomen uit de continue blootstelling aan achtergrondconcentraties van schadelijke stoffen, zoals ozon. Omdat het gaat om een continu effect dat niet episodisch van aard is, kan voor dit effect niet worden gesproken over een frequentie.

Bij kortetermijneffecten gaat het daarentegen bij uitstek om individuele episoden. Het is niet mogelijk om met zekerheid te zeggen wat de toekomstige frequentie van dergelijke episodes is. Wel weten we nu al dat de schadelijkste episoden zich voordoen bij een combinatie van extreme hitte, hoge zoninstraling en windstil weer en hoge luchtverontreiniging. De toenemende frequentie kan worden geschat met behulp van het verwachte aantal dagen met extreme hitte onder de verschillende contextscenario's.

Waarschijnlijkheid en frequentie bij contextscenario 'BRV'

De toename van het aantal extreem warme dagen in dit contextscenario in 2050 en zeker in 2100, maken dat er vaker weersomstandigheden zijn die tot ozonvorming leiden. Tegelijk is in dit scenario sprake van verdergaande klimaat- en luchtkwaliteitsmaatregelen. Hiermee is de waarschijnlijkheid groot dat kortetermijneffecten relatief vergelijkbaar zijn met nu. Maar of het lager of hoger ligt, is niet goed te voorspellen.

Waarschijnlijkheid en frequentie bij contextscenario 'SRV'

Onder dit contextscenario is de waarschijnlijkheid van toenemende risico's hoog, zowel voor verhoogde achtergrondconcentraties als kortdurende pieken. De frequentie van kortdurende pieken ligt naar verwachting hoger dan nu, omdat er vaker weersomstandigheden voorkomen die leiden tot sterke ozonvorming. Bovendien worden in dit scenario geen maatregelen getroffen, die de luchtverontreiniging verminderen.

5.6 Kwaliteit

Kennishiaten

Er zijn veel kennishiaten op het gebied van de gezondheidseffecten van luchtkwaliteit in relatie met klimaatverandering. Aan het begin van dit hoofdstuk is aangegeven dat vanwege de grote mate van kennishiaten over de interactie tussen klimaatverandering en fijnstof en stikstofoxiden, er verder niet op deze twee componenten is ingegaan. Fijnstof en stikstofoxiden veroorzaken het grootste deel van de

gezondheidseffecten van luchtverontreiniging. Daarna komt ozon als derde belangrijkste component van luchtverontreiniging. Aangezien luchtverontreiniging een grote bijdrage levert aan milieu-gerelateerde ziektelast in Nederland, kan de invloed van klimaatverandering hierop gevolgen hebben voor veel mensen.

Een groot deel van de kennishiaten voor luchtkwaliteit in relatie met klimaatverandering is beschreven in het rapport van Van der Ree et al. (2022). Een belangrijk kennishiaat is hoe atmosferische processen door klimaatverandering veranderen, en hoe dat vervolgens de luchtkwaliteit beïnvloedt. Meer inzicht is daarbij ook gewenst in de impact van klimaatverandering op de vorming van luchtverontreiniging (secundaire aerosolen).

Meerdere kennishiaten zijn verder in dit hoofdstuk al benoemd. Een belangrijk aspect daarbij is de impact van klimaatverandering op het vóórkomen van weersomstandigheden, die leiden tot kortdurende pieken en de effecten van klimaatverandering op die pieken zelf. Een ander onderwerp is hoe de luchtkwaliteit in 2050 is te modelleren, zodat er gedetailleerdere impactstudies kunnen worden uitgevoerd.

Tot slot is meer studie gewenst naar de relatie tussen/samenhang van vervroegde sterfte, hittestress, pollenconcentraties en luchtverontreiniging. Er worden eerste stappen gezet met dergelijk onderzoek bij het RIVM (einddatum 2028).

Onzekerheid en betrouwbaarheid

Over de gezondheidseffecten van luchtkwaliteit is de betrouwbaarheid zeer hoog en de consensus nagenoeg 100 procent. Er zijn wel (aanzienlijke) onzekerheden rond de vraag welke componenten de belangrijkste effecten veroorzaken. Het gaat dan met name om de vraag welke fijnstoffracties welke effecten veroorzaken. En dus ook de vraag welk beleid het meest effectief is uit oogpunt van gezondheidsbevordering. Ook voor ozon geldt dat er meerdere onzekerheden bestaan, vooral over de gezondheidseffecten van langetermijnblootstelling. Er zijn aanwijzingen dat langetermijnblootstelling aan ozon kan leiden tot respiratoire sterfte, astma en astmasymptomen. Voor gezondheidseffecten van ozonpieken zijn er minder onzekerheden en is er bewijs gevonden voor schade aan de longen, ziekenhuis en spoedeisende hulp-opnames en sterfte. Er zijn ook aanwijzingen voor relaties tussen ozon en cardiovasculaire ziekte/sterfte, maar dat verband is minder robuust. Voor aandoeningen aan de luchtwegen is de betrouwbaarheid hoog (Gezondheidsraad, 2018).

Dat klimaatverandering impact heeft op de luchtkwaliteit, daarvan is de betrouwbaarheid ook zeer hoog en de consensus nagenoeg 100 procent. Het is nog niet goed bekend hoe groot de bijdrage van klimaatverandering aan de impact van gezondheidseffecten door luchtkwaliteit exact is.

Het ingezette klimaatbeleid levert in principe gunstige gezondheidseffecten op via het verbeteren van de luchtkwaliteit, omdat we stoppen met het gebruik van fossiele brandstoffen. Er is echter nog

veel onzekerheid over welke alternatieven voor fossiele brandstoffen worden ingezet en in hoeverre deze bijdragen aan een verslechtering van de luchtkwaliteit. Bijvoorbeeld de inzet van biobrandstoffen of andere brandstoffen, zoals waterstof of NH₃. Het elektrificeren van verkeer leidt vooralsnog tot zwaardere auto's. Dat kan leiden tot meer fijnstofemissies door slijtage van banden en remmen.

6 UV-straling

RIVM-expert: A. van Dijk

Samenvattende punten:

- *Door minder bewolking in de zomer en het feit dat mensen buiten zijn op vaker voorkomende warme zonnige dagen, worden er meer mensen blootgesteld aan UV-straling. Hierdoor neemt vooral de kans op huidkanker (plaveiselcelcarcinoom) toe. Andere mogelijke gezondheidseffecten zijn huidverbranding, huidveroudering, staar en blindheid. Een positief effect is dat bij meer zon de gemoedstoestand kan verbeteren.*
- *Gedrag speelt bij blootstelling aan UV-straling een grote rol. Op hete dagen zoeken veel mensen ook minder de zon op en worden ze in mindere mate blootgesteld.*
- *De bijdrage van UV-straling aan melanoom (de huidkankersoort die tot de meeste sterfte leidt) en basaalcelcarcinoom UV-straling moet verder onderzocht worden*

Zonlicht - bestaande uit ultraviolette straling (UV), zichtbaar licht en infrarode straling (ir) - heeft zowel positieve als negatieve gezondheidseffecten. Directe eindpunten van UV-straling zijn de huid en de ogen, met effecten als huidverbranding, huidveroudering, huidkanker (melanoom, plaveiselcelcarcinoom (SCC) en basaalcelcarcinoom (BCC)), staar en blindheid. Indirect werkt blootstelling aan zonlicht door op het gemoed (de meeste mensen worden blij van de zon), worden er stikstofverbindingen aangemaakt in de huid die bijdragen aan een lagere bloeddruk, wordt vitamine D aangemaakt dat naast gezonde botten en spieren ook bijdraagt aan een beter afgesteld immuunsysteem. Het blauwe licht van de zon dat valt op de bolletjes op je netvlies synchroniseert de interne klok, die onder andere bepaalt wanneer DNA-schade wordt gerepareerd. Verder blijkt dat mensen die zich vaker aan de zon blootstellen, meer aan lichaamsbeweging doen. Van genoemde eindpunten wordt bij analyses van de gezondheidsimpact van zonlicht doorgaans alleen huidkanker beschouwd. Voor etiologie van huidkanker zie Leitlinienprogramm Onkologie, 2021, Nederlandse vertaling 2022.

Van genoemde drie soorten huidkanker is alleen voor plaveiselcelcarcinoom (SCC) de dosis-effectrelatie goed bekend. SCC wordt veroorzaakt door de cumulatieve dosis zonlicht waaraan iemand in zijn of haar leven is blootgesteld (Hadian, 2024). Net zoals zichtbaar licht in verschillende kleuren komt (rood, groen en blauw), komt ook UV-straling in een paar kleuren: UV-A en UV-B. Voor SCC doet effectief alleen UV-B ertoe (De Gruijl, 1995). Door de link met chronische blootstelling komt SCC vaker voor bij buitenwerkers, hoewel de groep mensen met het hoogste risico op SCC de groep beter betaalde binnenwerkers blijkt te zijn (IKNL, 2025a). Voor basaalcelcarcinoom (BCC, de meest voorkomende vorm van huidkanker) en melanoom (de gevaarlijkste vorm van huidkanker) is de dosis-effectrelatie slecht bekend. Bij melanoom is het mogelijk dat alleen blootstelling in de jeugd bepalend is, met ook een rol voor UV-A (zie verderop voor toelichting).

Daarna is het wellicht een toevalsproces van uitrijping dat met het stijgen der jaren niet veel risicotoename meer laat zien. Buitenwerkers hebben bijvoorbeeld ook hetzelfde melanoomrisico als binnenwerkers. Voor SCC is vastgesteld dat het risico bijna exclusief wordt veroorzaakt door UV-blootstelling. Voor BCC is dit waarschijnlijk ook het geval. Voor melanoom is dit vermoedelijk ook zo, maar melanoom ontstaat ook op huidgedeelten die niet, tot zeer weinig blootgesteld zijn geweest. Daarom is de associatie met (overmatig) zonlicht (de 'population attributable fraction' (PAF)) voor melanoom net iets minder hard, dan voor SCC en BCC (Langselius, 2025).

Het jaarlijkse aantal nieuwe gevallen van huidkanker neemt al sinds eind 19^e eeuw in alle westerse landen toe. Dit hangt samen met het groeien van de bevolking en ook met het stijgen van de levensverwachting, aangezien huidkanker een chronische ziekte is. Ook als deze twee factoren worden verrekend, blijkt de incidentie van alle soorten huidkanker nogal ruim een eeuw monotoon met ruim een factor 10 te stijgen en de stijging loopt nog steeds door (zie Gordon, 1961 en IKNL, 2025b). Voor melanoom stijgt alleen de incidentie van stadium I melanoom. De hogere stadia hebben (na verrekening, dus van de vergrijzing) geen trend (IKNL, 2025b). Er is nog geen wetenschappelijke overeenstemming over de attributie van de stijging van de incidentie. Dermatologen weten zeker dat het komt door onze steeds uitbundiger blootstelling aan zonlicht en een bruiningsideaal (zie Tokez, 2022). Andere wetenschappers weten zeker dat het louter overregistratie is (zie Welch, 2021). Zo zijn er echter nog tientallen andere mogelijke verklaringen te geven. De meest plausibele verklaringen zijn: meer blootstelling (zowel tijdsduur, huidoppervlak als zonkracht) (Tokez, 2022), minder huidgewenning (Diffey, 2021), ontregeling van het circadiane ritme door kunstlicht (zie Kang, 2010 en Gaddahmeedhi, 2011 voor een studie op muizen) en overregistratie (Welch, 2021). De aantasting van de ozonlaag is te recent geleden gebeurd om nu al een significante bijdrage te kunnen leveren aan het waargenomen huidkankerrisico (Van Dijk, 2013, Neale, 2021). Komende decennia kan deze factor echter wel merkbaar worden. Naast de stijging van de incidentie, vertoont de mortaliteit van huidkanker een heel ander patroon (IKNL, 2025b): Voor SCC is die (na correctie voor demografie) al sinds de start van registratie constant. En voor melanoom daalt de (voor vergrijzing gecorrigeerde) mortaliteit sinds de introductie van nieuwe behandelmethoden (in 2010) met tientallen procenten.

Voor adviezen over zongedrag wordt wereldwijd de zonkracht als maat voor de kracht van risicobijdragen gehanteerd en de Sun Protection Factor (SPF) en UV Protection Factor (UPF) als maat voor de bescherming door zonnebrandcrème en respectievelijk kleding. Dit zijn beide vooral maten voor de UV-B-bijdrage. Vroeger werd gedacht dat net als bij SCC ook melanoom en BCC door UV-B komen. Tegenwoordig is de bewijslast dat ook UV-A bijdraagt zeer sterk (Beani, 2014, Greinert, 2012, Douki, 2020, Murray, 2015 en Jin, 2022, Tewari, 2013, Cahoon, 2024). Zo is het mogelijk dat een historische focus in adviezen op (UV-B) zonkracht, gepaard aan producten die leiden tot sterke reductie van UV-B-dosis, heeft bijgedragen aan juist een toename van de UV-A-dosis (Ostwalder, 2010) en een stijging van het aantal gevallen van (UV-A-gerelateerde) huidkanker (Lawrence, 2024 en Schalka,

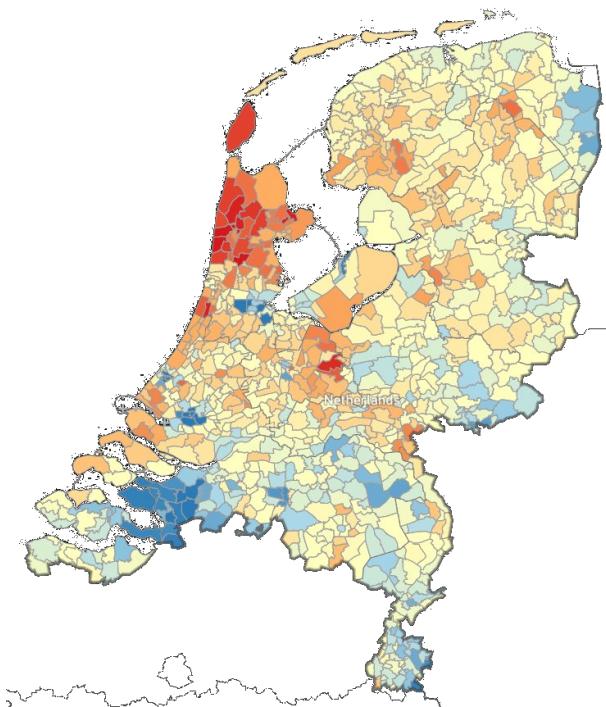
2024). De samenstelling van zonnebrandcrème kan dus hebben bijgedragen aan een toename van het huidkankerrisico. Er zijn ook steeds meer wetenschappers die menen bewijs in handen te hebben dat mensen tegenwoordig niet te veel, maar te weinig buiten komen (zie Weller, 2024 en Riedmann, 2025). Er zou netto gezondheidswinst te halen zijn als we ons (gecorrigeerd voor zonnebrandcrème) meer aan zonlicht blootstellen.

In deze context is het lastig om een kwantitatieve schatting te maken van de impact van klimaatverandering op zonlicht-gerelateerde gezondheidsaspecten in Nederland. Alle genoemde plausibele factoren zijn, zoals blijkt uit de wetenschappelijke literatuur, kanshebbers om binnen een multiplicatief model een verdubbeling in de huidkankerincidentie te verklaren. Hieronder gaan we van deze opbouw van het risico uit en vertalen we de impact van klimaatontwikkelingen door. We kiezen voor een holistische aanpak om alle gezondheidsbijdragen gezamenlijk te benoemen.

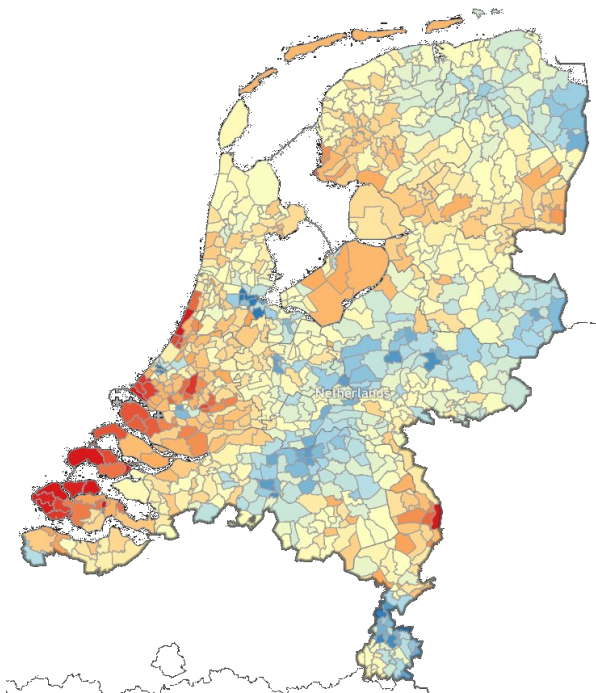
6.1 Klimaatdreiging

De geografische verdeling van de incidentie van melanoom en plaveiselcelcarcinoom in Nederland is heterogeen, zoals te zien is in Figuur 6.1 en Figuur 6.2.

Figuur 6.1 Geografische verdeling van de melanoomincidentie. Bron: Kankeratlas IKNL.



Figuur 6.2 Geografische verdeling van de plaveiselcelcarcinoomincidentie. Bron: Kankeratlas IKNL.

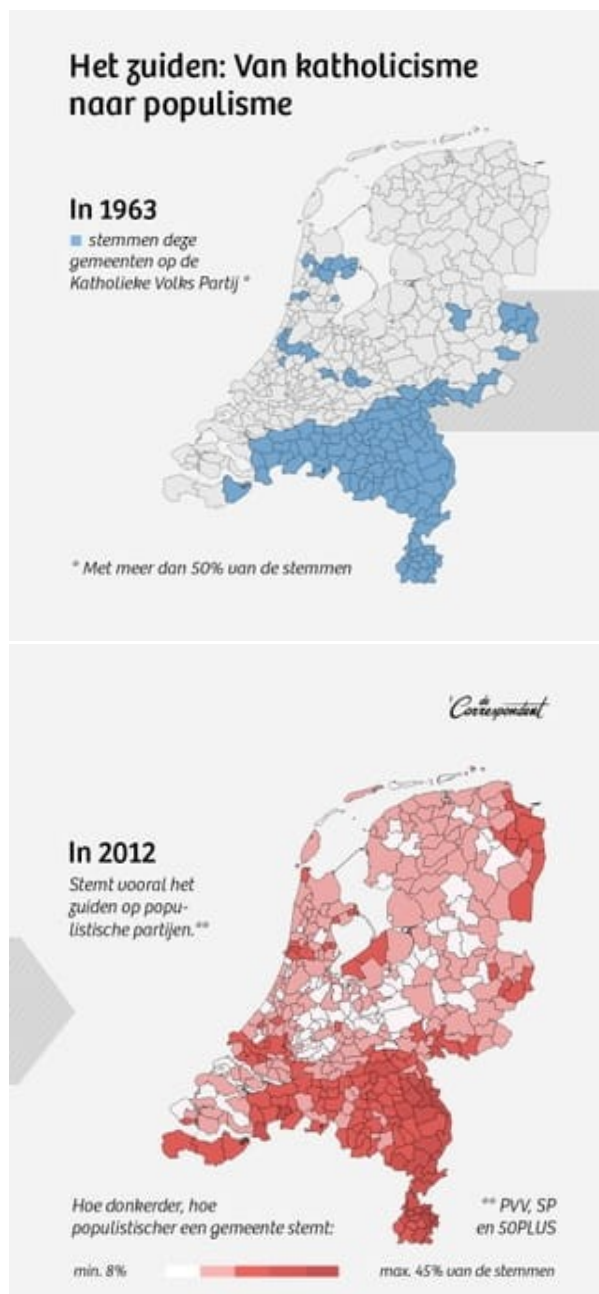


Huidkanker komt het meest voor boven de lijn van Zeeuws-Vlaanderen naar boven Enschede, waarbij melanoom vooral voorkomt in Noord-Holland en plaveiselcelcarcinoom in Zuid-Holland en Zeeland. Er is nog geen verklaring voor deze verdeling in de waarneming. Een voor de hand liggende mogelijkheid is dat aan de kust het landschap opener is (zie bijvoorbeeld de ['groene schaduw'](#), maar denk ook aan 'grijze schaduw' door bebouwing). En dat de zon in de kuststreek meer wordt opgezocht om te recreëren, ondanks dat uit Figuur 6.7 blijkt dat er in de kustprovincies per jaar minder zomerdagen zijn die zich lenen voor (bloter) recreëren. Ook blijkt uit Figuur 6.8 dat in de Westelijke provincies de hoeveelheid beschikbaar zonlicht (dus de dosis per gelijke blootstelling) groter is dan in de rest van het land. Het is redelijk aan te nemen dat als er door klimaatverschillen variaties in de verdeling van het huidkankerrisico over Nederland zijn ontstaan, ook klimaatveranderingen een heterogene impact zullen hebben.

Hierbij moet er worden bedacht dat de atlas de expressie in ziekte laat zien van een blootstelling die met gemak een halve eeuw eerder heeft plaatsgevonden. En dat de huidige bevolkingssamenstelling, inclusief waar men nu woont, geen weerspiegeling meer hoeft te zijn van hoe die vroeger was. Wel zijn er constanten in geografische verdeling van gedrag aan te wijzen, zoals in Figuur 6.3 voor het stemgedrag is getoond. Correlatie alleen is nog geen causaliteit. Beschermt bijvoorbeeld katholicisme (indirect) tegen huidkanker? Als je van Texel naar Maastricht loopt, neemt ook het aantal mensen met blond haar af (Katsara en Nothnagel, 2019). En mensen met blond haar zijn gevoeliger voor huidkanker, dan mensen met zwart haar. Ook zijn Hollanders gemiddeld langer dan Limburgers en hebben ze dus een groter huidoppervlak waarop zich huidkanker kan ontwikkelen. Huid die

door die grotere groei in de jeugd ook kwetsbaarder is geweest voor het accumuleren van zonlichtschade.

Figuur 6.3 Boven: Stemgedrag bij de Tweede Kamerverkiezingen in 1963. Onder: Fractie stemmen op populistische partijen bij verkiezingen in 2012. Bron: De Correspondent, 2017.

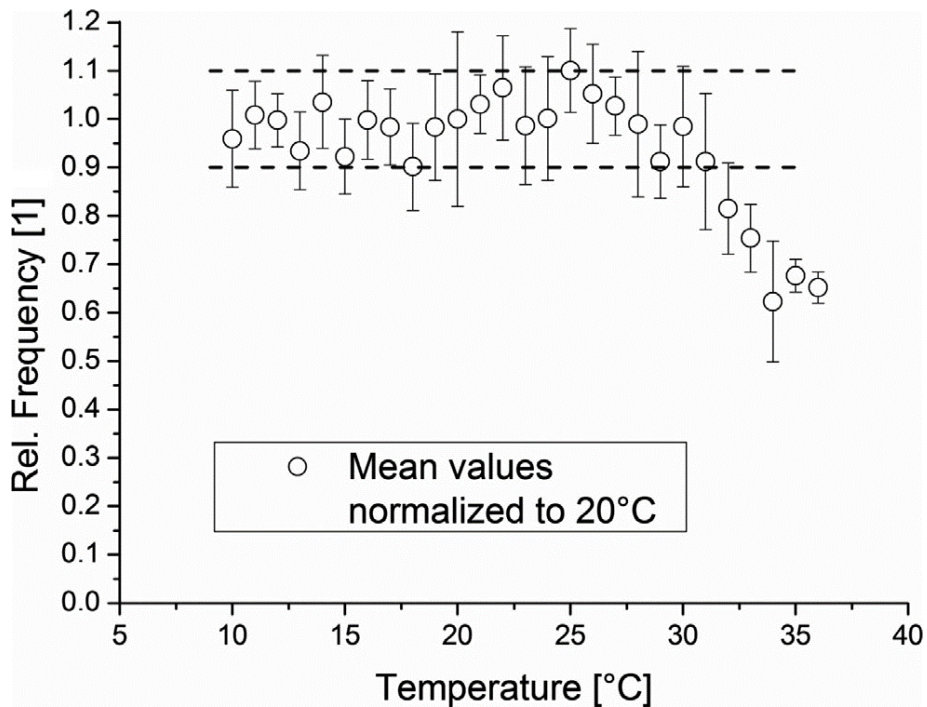


De volgende klimaatontwikkelingen hebben mogelijk gevolgen voor zonlichtgerelateerde gezondheidseffecten:

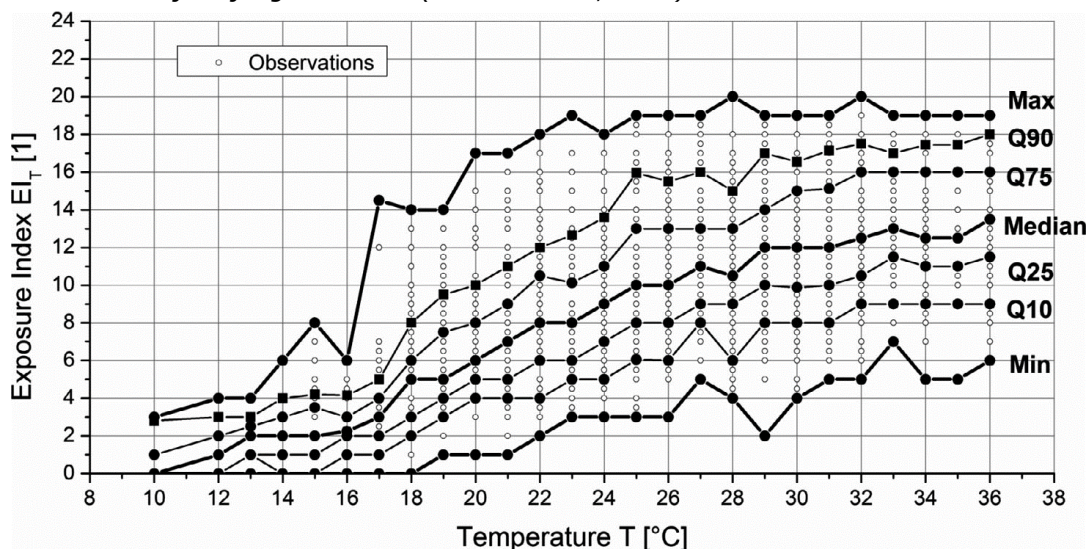
Temperatuurstijging

De hoeveelheid zonlicht die mensen ontvangen op hun huid varieert met de temperatuur. Bij lage temperaturen bedekken mensen zich meer en als het te heet wordt gaan mensen minder naar buiten. Het eerste verschijnsel staat geïllustreerd in Figuur 6.4, waar de relatieve frequentieverdeling van buitenverblijf van jonge Oostenrijkse vrouwen staat weergegeven. Het tweede verschijnsel staat geïllustreerd in Figuur 6.5, waarin de blootstellingsindex voor dezelfde vrouwen staat weergegeven als functie van de buitentemperatuur. Samengevat, de blootstelling van de huid aan zonlicht is het hoogst op dagen met een temperatuur tussen de 15 en 30 graden Celsius.

Figuur 6.4 Relatieve frequentieverdeling van buitenverblijf als functie van de buitentemperatuur ten opzichte van buitentemperatuur 20 graden Celsius voor jonge Oostenrijkse vrouwen (Schmalwieser, 2019).



Figuur 6.5 Blootstellingsindex van de huid als functie van de buitentemperatuur voor Oostenrijkse jonge vrouwen (Schmalwieser, 2019).

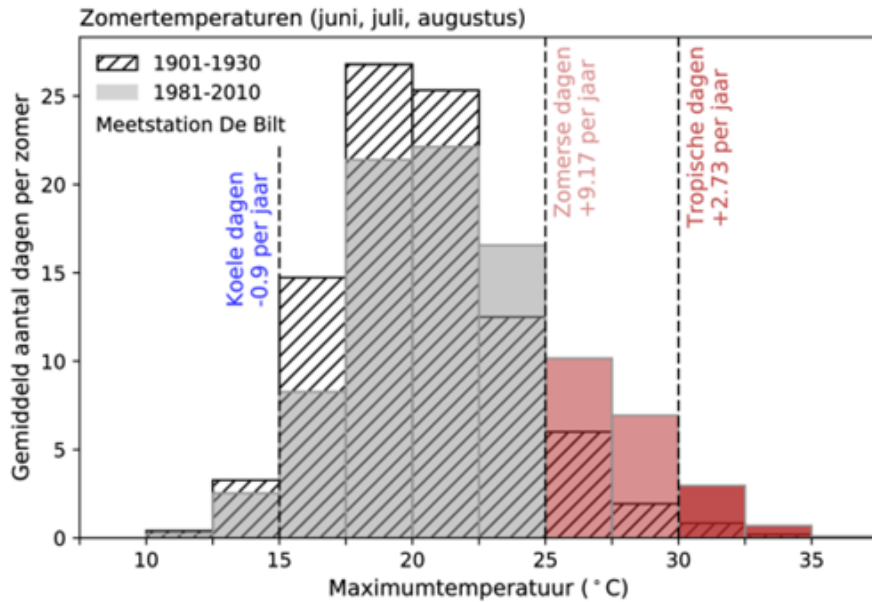


De ontwikkeling van de verdeling van de zomertemperaturen in Nederland staat in Figuur 6.6. We zien dat het aantal zomerse dagen tussen de twee meetperiodes is verdubbeld. De verdeling van het aantal zomerse dagen over het land staat in Figuur 6.7. Er is zeer duidelijk een verloop te zien van nauwelijks zomerse dagen in het noordwesten, naar wel 40 per jaar in Oost-Limburg. Aan de kust wordt het dan wel niet zo vaak warm, maar in Figuur 6.8 is te zien dat daar wel relatief veel zonlicht aan de grond komt. Dit komt doordat aan de kust de impact van bewolking minder is dan landinwaarts.

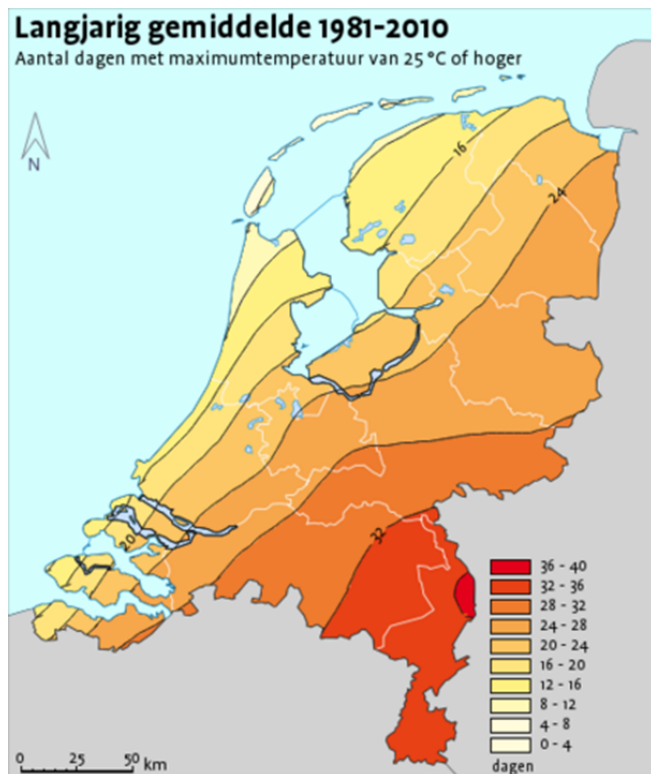
Figuur 6.9 en Figuur 6.10 tonen voor buurland Duitsland respectievelijk de tijdsontwikkeling van de temperatuurafwijking (anomalie) en het jaarlijks aantal zomerse dagen. Duitsland heeft minder kust dan Nederland, maar voor het Nederlandse binnenland lijkt ons Duitsland representatief. Deze gegevens van ons buurland demonstreren de verandering van het beschouwde klimaataspect, die zich inmiddels al heeft voltrokken. De zonkracht hangt met name af van de zonnehoek en de dikte van de ozonlaag. De zonnehoek wordt niet beïnvloed door klimaatverandering, dus impact van UV-straling op de menselijke gezondheid is in herfst en winter altijd minimaal.

Klimaatverandering leidt ertoe dat de temperatuurverdeling in Nederland naar de hogere temperaturen opschuift, zoals getoond in Figuur 6.6.

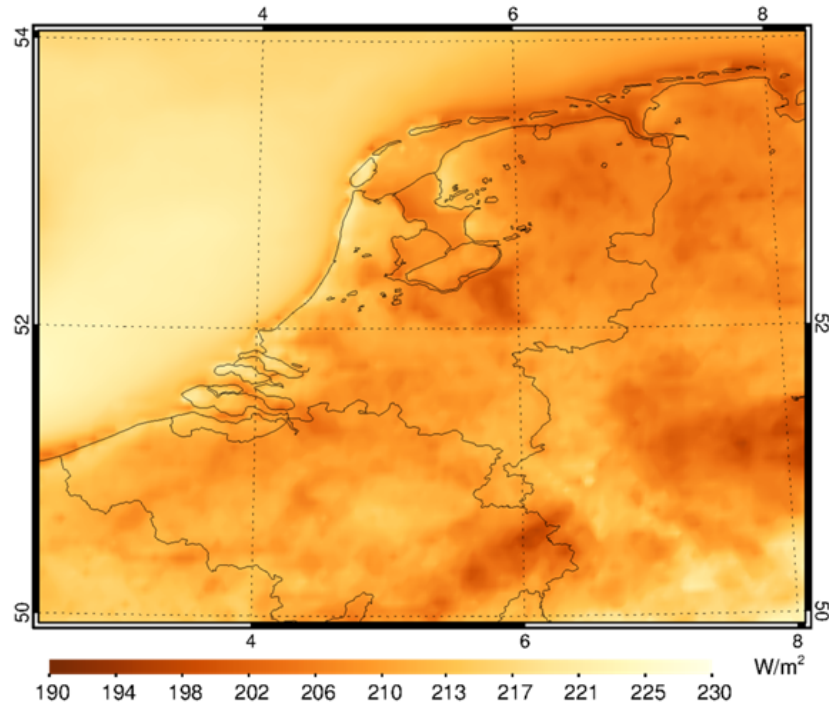
Figuur 6.6 Verdeling van de zomertemperatuur in Nederland voor twee historische periodes: 1901-1930 en 1981-2010. Grafiek overgenomen van [KNMI](#).



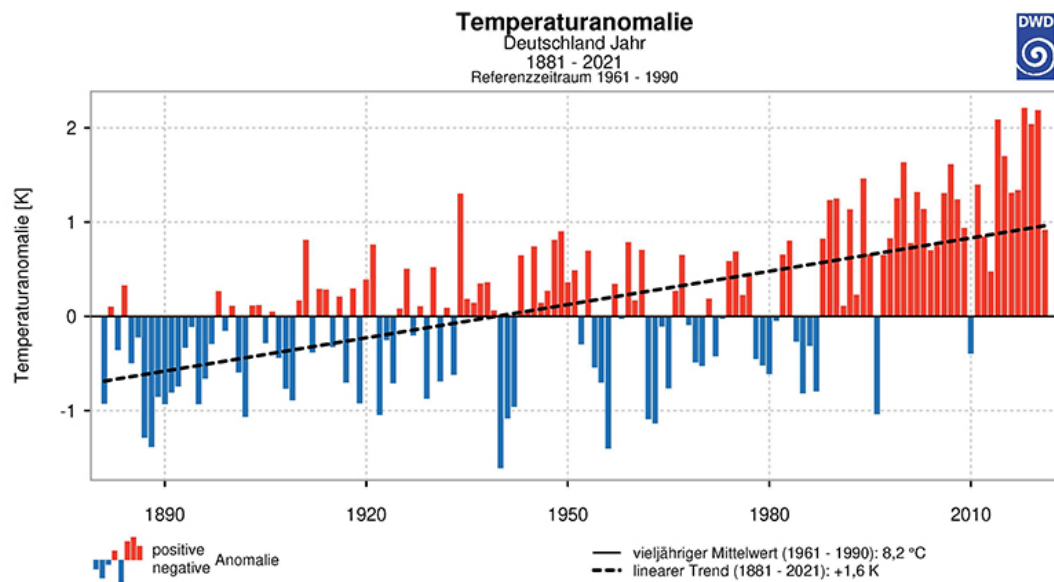
Figuur 6.7 Verdeling over het land van het aantal dagen met een zomerse temperatuur of warmer. Grafiek overgenomen van [KNMI](#).



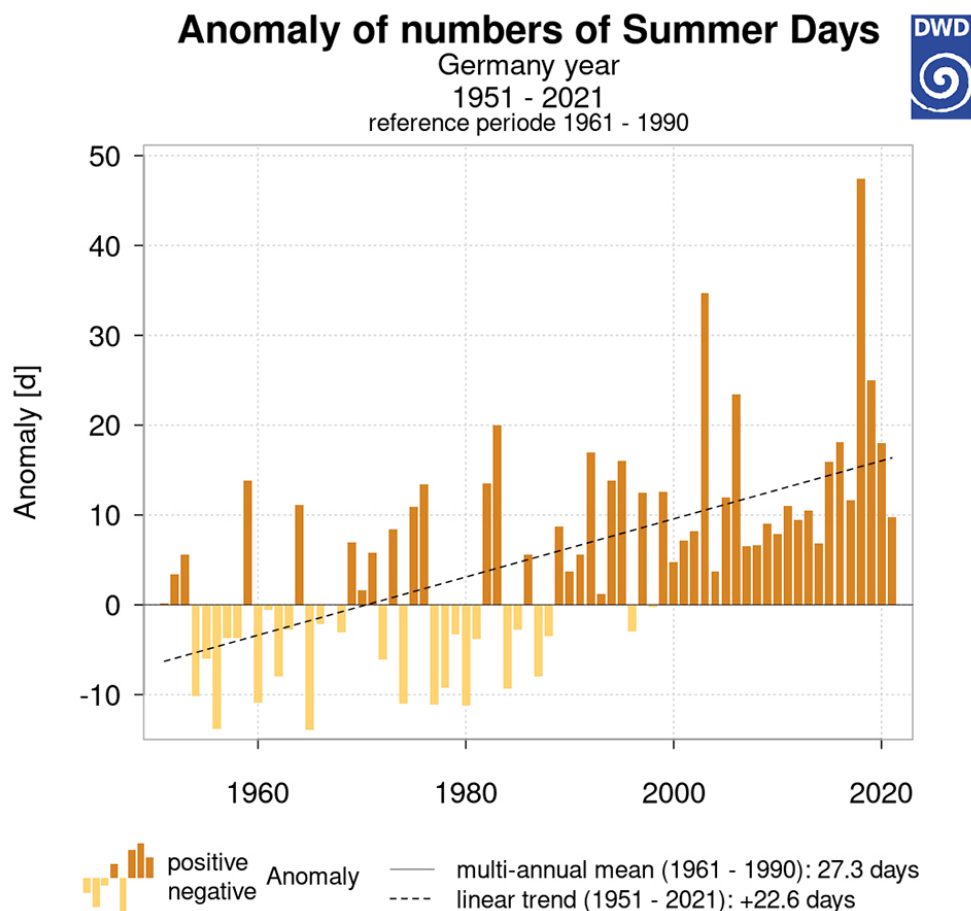
Figuur 6.8 Langjarig gemiddelde instraling van zonlicht. Bron: [KNMI](#).



Figuur 6.9 Temperatuuranomalie in Duitsland 1951-2021. Grafiek gedownload van https://www.bfs.de/EN/topics/opt/uv/climate-change/climate-uv-exposure/climate-uv-exposure_node.html. Bron: Data van Deutsche Wetter Dienst.



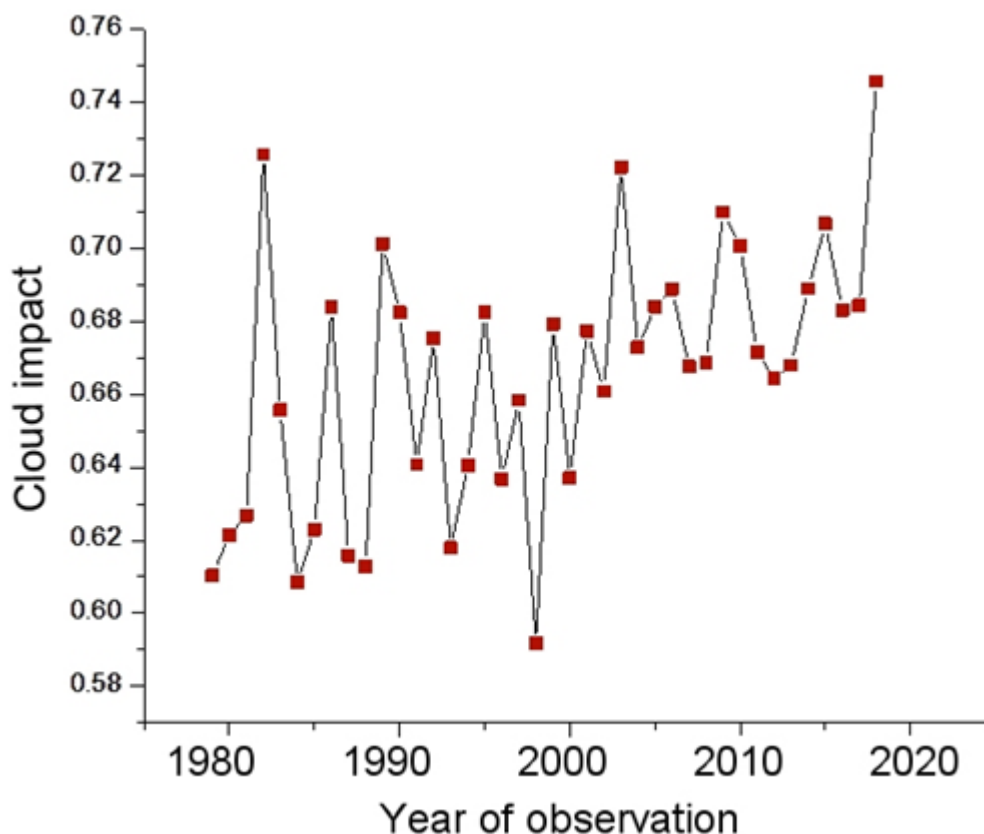
Figuur 6.10 Anomalie van het aantal zomerse dagen in Duitsland 1951-2021. (Bundesamt für Strahlenschutz, 2025).



Afname (temperende werking van) bewolking

In Figuur 6.11 staat de ontwikkeling in de tijd van de impact van bewolking op de jaarlijkse hoeveelheid erytheemgewogen UV-straling (= gewogen voor het effect huidverbranding). Deze effectgewogen dosis is ook de basis voor de zonkracht en voor de werking van zonnebrandproducten). We zien een aanmerkelijke stijging in de hoeveelheid doorgelaten UV-straling. Dit geldt zowel voor UV-A als ook voor UV-B. De metingen laten niet zien waardoor deze stijging komt.

Figuur 6.11 Ontwikkeling in de tijd van de impact van bewolking op de zonkracht. Eigen metingen RIVM.



Ozonlaagaantasting/herstel

UV-B-straling wordt getemperd door de ozonlaag. UV-A-straling wordt er niet door beïnvloed. In de 20ste eeuw is door het gebruik van Chloor-Fluor-Koolwaterstoffen (CFKs) en soortgelijke stoffen de ozonlaag aangetast en de UV-B-intensiteit toegenomen. Door het Montreal Protocol zal eind deze eeuw de CFK-belasting van de ozonlaag vermoedelijk weer zijn genormaliseerd. Door andere klimaatveranderingsbijdragen dan de CFKs zal desondanks de ozonlaag dunner blijven, dan voordat deze werd aangetast. Een relatief nieuw fenomeen zijn de 'low ozone-events'. Daarbij zakt vooral in het voorjaar af en toe lucht met zowel weinig ozon, als ook weinig vocht, vanaf de Noordpool af naar onze breedtegraden. In het voorjaar, wanneer de zon aan kracht aan het winnen is en de huid van de meeste mensen de zon is ontnod, kunnen deze low ozone-events voor perioden van uitbundige zonkracht zorgen (Inness et al., 2020).

Klimaatdreiging(en) contextscenario's

Huidkanker is gerelateerd aan blootstelling aan UV-straling van de zon, en klimaatverandering kan deze blootstelling beïnvloeden.

Door een stijging van de temperatuur zal het aantal dagen waarop mensen zich naar buiten begeven (15-30 graden) en aan de zon blootstellen (ook door aangepaste kledingkeuze) eerst toenemen. Bij een extreme stijging van de temperatuur wordt het vervolgens zo heet, dat mensen niet graag meer naar buiten gaan en juist binnenblijven. In

beide contextscenario's neemt de hoeveelheid dagen met temperaturen tussen 15 en 30 graden toe.

De afnemende bewolking biedt in de loop der tijd minder bescherming tegen zonlicht. Hierdoor neemt ook de blootstelling toe. De stijging in zonlicht is in het SRV-scenario het hoogste (+9,1 W/m² en +9,1 W/m² in het BRV-scenario in 2050 en 2100, en +14W/m² en + 24 W/m² in het SRV-scenario in 2050 en 2100).

De ozonlaagdikte neemt af door zowel de menselijke uitstoot van ozonafbrekende stoffen, als ook door de opwarming van de aarde. De eerste oorzaak lijkt onder controle, de tweede niet. Met het verdunnen van de ozonlaag neemt de hoeveelheid UV-B die op leefniveau in lente en zomer aankomt, toe. In de herfst en winter staat de zon te laag. Een toename van UV-B zal zeker leiden tot meer SCC en vermoedelijk bijdragen aan meer BCC en melanoom. Zoals in de inleiding aangegeven, kent huidkanker een grote onverklaarde trend qua incidentie. Er zijn geen tekenen dat deze trend voorlopig wordt gekeerd. De hieronder vermelde impact op huidkanker door klimaatverandering moet dus worden verondersteld een superpositie te zijn bovenop de al lopende toename, plus de impact van bevolkingsgroei en stijgende levensverwachting.

6.2 Adaptatiemaatregelen huidig beleid

Sinds 2024 voert het Nationaal Huidfonds, in opdracht van het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS), een landelijke huidkankerpreventiecampagne. Deze campagne beoogt een gedragsverandering bij Nederlanders te bewerkstelligen. De inzet is om kennis, kunde en attitude qua zongedrag te verbeteren. Er is een nulmeting gedaan en in opvolgende effectmetingen wordt bekeken hoe groot de impact van de campagne is. Er zijn meerdere speciale doelgroepen, onder wie buitenwerkers, kinderen en sporters. De gegunde subsidie loopt in 2026 af. Zonder voortgangssubsidie zal, zo blijkt uit ervaring met dit soort campagnes in Australië (Montague, Borland & Sinclair, 2001; Walker et al., 2022), de opgebouwde verbeterde zonbeschermingscompetentie van de Nederlander snel terugvallen.

6.3 Blootstelling

Blootstelling bij contextscenario 'Beperkt risico-verhogend' en huidig beleid

Bij ongewijzigd gedrag betekent het stijgen van de temperatuur dat de combinatie van naar buiten gaan en huid blootstellen bij de eerste paar graden opschuiving een hogere totale huiddosis UV-A en UV-B oplevert in lente en zomer. Dit zal bijdragen aan een risicotoename op met name SCC en vermoedelijk ook BCC. Als de dosis met een factor **f** verandert, zal het aantal huidkanker diagnoses mettertijd toenemen met die factor **f** tot de macht van wat de biologische versterkingsfactor wordt genoemd. Voor SCC is de biologische versterkingsfactor 2,5 en voor BCC is die 1,4. Voor SCC is de latentietijd meerdere (~5) decennia, voor BCC een paar (~1-2??) decennia. De numerieke samenhang tussen het aantal keren huidverbranding in de jeugd en het melanoomrisico is niet goed bepaald. Grotere onvoorspelbaarheid van het weer kan ertoe

leiden dat mensen niet meer zien aankomen dat de zonkracht lokaal hoog is, waardoor ze ook vaker verbranden. Gelukkig wordt zonkracht steeds vaker genoemd in het weerbericht en hebben KNMI en RIVM sinds 2025 een regionale zonkrachtkaart operationeel (<https://www.rivm.nl/zonkracht/zonkrachtwijzer>).

Een afname van de temperende werking van wolken op de zonkracht zal zorgen dat mensen mogelijk een hogere UV-dosis oplopen en ook eerder verbranden.

Blootstelling bij contextscenario 'Sterk risico-verhogend' en huidig beleid Dit scenario zal zich eerst ontploffen als het BRV-scenario. Als de temperatuurstijging sterk doorzet, kan het zijn dat het aantal tropische dagen stijgt waarop mensen liever niet naar buiten gaan. Hierdoor kan de ontvangen UV-dosis uiteindelijk zelfs afnemen en daarmee ook het huidkankerrisico. Door de blijvende jaarlijkse afwisseling met een 'donkere' periode van herfst en zomer zullen Nederlanders toch altijd in het begin van de lente geneigd zijn de zon op te zoeken. Zeker als ze inmiddels zeker weten dat het hiervoor in de zomer te heet wordt. De ongewende huid is dan extra gevoelig. Dit draagt bij aan een toename van het huidkankerrisico.

6.4 Gevoeligheid

- **Jeugd/jongeren:** Deze groep is bij uitstek extra gevoelig. Dit komt doordat de huid in deze leeftijdsgroep dunner is, waardoor de gevoelige cellen bij blootstelling aan zonlicht sterker worden belast. Ook is gebleken dat de jeugd zich veel meer aan zonlicht blootstelt dan volwassenen. Hierbij is in de jeugd de huid nog in ontwikkeling. Dat maakt dat er relatief veel sneldelende cellen aanwezig zijn, en celdeling maakt cellen gevoelig om DNA-mutaties te ontwikkelen bij blootstelling aan UV.
- **Ouderen:** Deze groep is niet extra gevoelig. Ouderen komen relatief weinig buiten en hun cellen delen zich minder vaak. Dat maakt ze verminderd gevoelig. Ook is huidkanker een ziekte met een grote latentietijd, waardoor ouderen vaak minder last krijgen van extra blootstelling op hogere leeftijd.
- **Buitenwerkers:** Buitenwerkers ontvangen uit aard van hun werk een hogere UV-dosis dan binnenwerkers. Uitgaande van de bestaande inzichten over dosis-effectrelaties is te verwachten dat vooral het risico op plaveiselcelcarcinoom, waarvan het risico bij een kleine stijging van de dosis al krachtig toeneemt, voor buitenwerkers een punt van aandacht is in een veranderend klimaat.
- **Buitensporters:** Net als buitenwerkers ontvangen ook buitensporters een relatief hoge UV-dosis. Om hun risico niet door klimaatverandering nog verder te laten toenemen, is het aan te raden trainingen en wedstrijden te plannen op tijden dat de zon laag staat. Dit helpt ook in de aanpak van hittestress.

6.5 Impact

Eindimpact mens en cultuur bij contextscenario 'Beperkt risico-verhogend'

De afname van de ozonlaagdikte vertaalt zich later deze eeuw naar een merkbare toename in het aantal huidkankergevallen, met name SCC. De low ozone-events voegen hieraan nieuwe bijdragen toe. Vooral bij buitenwerkers en mensen die buiten hebben gewerkt, wordt dit effect merkbaar. Zij ontvangen immers een 2- tot 3-voudige jaarlijkse UV-dosis, vergeleken met binnenwerkers en SCC wordt veroorzaakt door chronische blootstelling aan UV-B. Omdat SCC bij uitstek een ouderdomsziekte is, zal de vergrijzing van de bevolking ervoor zorgen dat de impact van klimaatverandering op huidkanker in de toekomst groter is dan op de huidige populatie.

Eindimpact mens en cultuur bij contextscenario 'Sterk risico-verhogend' en huidig beleid

In dit scenario is te verwachten dat de SCC-toename sterker zal zijn dan in het BRV-scenario. Door de veelheid aan spelende factoren, met vaak een synergistische inwerking, is het niet redelijk hier een kwantitatieve benadering toe te passen.

6.6 Kwaliteit

Met name van melanoom en basaalcelcarcinoom is onvoldoende bekend welke cellen in het lichaam het risico vormen om later uit te groeien tot huidkanker, en waar deze zich bevinden als ze geraakt worden. Ook is onbekend of dit directe schade betreft (UV-B) of indirecte schade door radicalen (door UV-A). Dit bepaalt welke golflengten van UV-straling een ziekmakende rol spelen. (UV-B is gevoelig voor ozonlaagdikteverandering, een klimaatveranderingscomponent. UV-A is dit niet.) Ook maakt het uit voor een impactschatting van klimaatverandering of die cellen gedurende het gehele leven aanwezig zijn, of alleen in de jeugd. Betere kennis hierover zal grote impact hebben op hoe de volksgezondheid kan worden geoptimaliseerd en op het effectief en efficiënt besteden van hulpmiddelen.

Vervolgens is ook onvoldoende bekend welke dosis-effectrelaties er spelen en welke dosismaat aan UV-straling hierbij risicovormend is (bijvoorbeeld levensgeïntegreerde UV-dosis, of aantal maal huidverbranding in de jeugd). De dosis-effectrelatie kan temperatuurafhankelijk zijn en hierover is niet genoeg bekend. Evidence-based werken vereist bewijs van causaliteit, maar de in de kankerregistratiecijfers waargenomen trends voor huidkanker zijn nog niet causaal gekoppeld aan de tientallen kandidaat-oorzaken. Een plausibele hoofdrol is hierbij weggelegd voor blootstellingsgedrag. Historisch blootstellingsgedrag sinds 1900 is niet in kaart gebracht. Daarmee is niet toetsbaar in welke mate de ontwikkeling hiervan de historische registratiecijfers kan verklaren. Er is nog geen schatting van hoe het blootstellingsgedrag en andere factoren zullen veranderen bij veranderend klimaat. (Gaan mensen echt meer naar buiten als het structureel flink warmer wordt? Of gaan mensen zich meer gedragen zoals in zuidelijker landen?) In de afgelopen eeuw is het populatie-aandeel gegroeid van mensen met een band met landen waar de zon veel krachtiger is. Bij deze mensen komt huidkanker relatief weinig

voor. Dit komt deels doordat zij vaak een huidtype hebben dat beter tegen de zon kan. Maar het is vrijwel zeker dat een aanzienlijke bijdrage ook komt doordat zij cultureel (en door de natuur afgedwongen) generaties lang gewend zijn geraakt om zich anders tot de zon te verhouden, dan mensen die generaties lang in Nederland hebben gewoond. Nu worden de voor klimaatverandering geboden kansen om van mensen met een migratieachtergrond te leren, niet benut.

De rol van huidgewenning op de gevoeligheid van mensen voor UV-straling is onvoldoende uitgezocht. Kan dit een netto voordeel geven, ofwel: is er een scenario te bedenken, waarbij de door de extra aangeboden blootstelling opgelopen DNA-schade kleiner is dan het voordeel door de op te bouwen extra bescherming tegen huidkankerrisico's? Hierdoor is het nu niet mogelijk doelbewuste UV-blootstelling aan de zon of een UV-lamp in adviezen in te zetten. Voor blootstelling aan zonlicht ontbreekt het nu aan een integrale aanpak: er wordt alleen op huidkanker gelet, maar niet op mogelijke positieve effecten van meer buiten zijn, zoals meer lichaamsbeweging, vitamine-D-productie, bijstelling van het immuunsysteem en verlaging van hart- en vaatziekten door in de huid aangemaakte stikstofverbindingen. Vermoedelijke impact van klimaatverandering op UV-gerelateerde gezondheidseindpunten, zoals huidkanker, kan ook worden gereduceerd door andere aangrijpende factoren te gebruiken dan de blootstelling, zoals bijsturing van het circadiane ritme. Het is nog onvoldoende bekend hoe dit blauwlichtgestuurde mechanisme de huidkankerrisico's beïnvloedt.

7 Infectieziekten

RIVM-experts: J. Limaheluw, M. Levisson, R. Heesterbeek

Samenvattende punten:

- *Klimaatverandering kan het milieu in Nederland gunstiger maken voor bepaalde infectieziekten, maar voor andere infectieziekten kan het milieu juist ongunstiger worden.*
- *Hogere temperaturen zorgen ervoor dat andere infectieziekten in Nederland kunnen voorkomen. Bijvoorbeeld doordat muggen die infectieziekten overdragen hier kunnen overleven. Muggen kunnen bijvoorbeeld knokkelkoorts overbrengen. Ook kunnen we meer blootgesteld worden aan bestaande ziekteverwekkers, zoals Legionella en Vibrio.*
- *Vectoroverdraagbare ziekten, zoals knokkelkoorts, zijn het meest klimaatgevoelig ten opzichte van andere milieu- en voedseloverdraagbare infectieziekten.*
- *Specifieke weersomstandigheden kunnen het voorkomen van infectieziekten sterk beïnvloeden. Hierdoor kunnen er grote verschillen zijn in de uitkomsten van infectieziekten in verschillende jaren.*
- *Naast klimaat zijn veel andere factoren van belang, zoals globalisering, gedrag en demografie.*

7.1 Klimaatdreiging

Toename in temperatuur, extreme neerslag en droogte zijn relevant voor infectieziekten en onderdeel van beide scenario's, maar in verschillende mate. Sommige klimaatdreigingen beïnvloeden de ziekteverwekker zelf. Ziekteverwekkers die kunnen groeien in het milieu, zoals Legionellabacteriën, groeien bijvoorbeeld sneller bij hogere temperaturen. Indirecte invloeden zijn bijvoorbeeld het effect op het voorkomen van overstromingen, afspoeling van mest naar oppervlaktewater, effecten op de levenscycli van vectoren zoals teken. Of op gedrag van mensen dat kan leiden tot blootstelling (zoals recreatief zwemmen). De effecten van de klimaatdreigingen zullen in de meeste gevallen groter zijn in het Sterk risico-verhogend (SRV) scenario. Sommige situaties, zoals het langdurig voorkomen van hoge temperaturen in het drinkwaterleidingnet (gunstig voor de groei van opportunistische ziekteverwekkers zoals *Legionella*) of langdurige droogte (niet gunstig voor bepaalde vectoren), zijn vooral in het SRV-scenario aan de orde (Reukers et al., 2024).

7.2 Adaptatiemaatregelen huidig beleid

Adaptatiemaatregelen die zich richten op hitte en wateroverlast in de leefomgeving betreffen onder andere de opvang, retentie en berging van water en vergroening van de leefomgeving (zie onder andere [de maatlat groene klimaatadaptieve gebouwde omgeving](#)). Meer water in de leefomgeving kan leiden tot meer contact met water waarvan de kwaliteit niet gecontroleerd wordt, of waarvan de kwaliteit niet geschikt is voor (direct) gebruik. Vergroening van de leefomgeving, ook in combinatie met water, kan de verspreiding van teken in stedelijk gebied

beïnvloeden, broedplaatsen voor muggen creëren, en leiden tot meer plaagdieren, zoals ratten (de Cock et al., 2024). RIVM en GGD adviseren over het beperken van deze risico's, onder andere door aanpassingen van de maatregelen zelf, of via communicatie (zoals de [GGD-handreiking](#) klimaatadaptatie en gezondheid, en de [Waterkwaliteitscheck](#)). Meer groen en water in de leefomgeving hebben ook positieve effecten op gezondheid. Door rekening te houden met de risico's zijn deze positieve effecten maximaal te benutten. Contact met water op straat (wateroverlast) is in verband gebracht met infectieziekten van de luchtwegen en het maag-darmkanaal (Mulder et al., 2019). Bijvoorbeeld wanneer in dit water wordt gespeeld, of voor mensen die betrokken zijn bij schoonmaakwerkzaamheden. Deze risico's worden kleiner door op het tegengaan van wateroverlast gerichte maatregelen. Dit kan bijvoorbeeld via waterbergende maatregelen, zoals wadi's, of het vergroten van de capaciteit van het rioolstelsel (bijvoorbeeld door het scheiden van afvalwater- en hemelwaterafvoer). Deze maatregelen verminderen ook het optreden van riooloverstorten, waardoor ongezuiverd (gemengd) afvalwater op het oppervlaktewater wordt geloosd. Het verminderen van riooloverstorten heeft een positief effect op de microbiologische waterkwaliteit. Tegen overstromingen van rivieren en aan de kust gerichte maatregelen beperken ook gerelateerde infectierisico's. Deze maatregelen worden vooral genomen in kader van het Deltaprogramma, hoewel infectieziekten hierin zelf niet worden genoemd.

Vestiging van de invasieve muggensoort *Aedes albopictus* (tjigermug) wordt op dit moment nog tegengegaan door actief uitroeingsbeleid van de NVWA, waaronder monitoring, het verwijderen van broedplaatsen en gerichte bestrijding met biociden (NVWA, 2020). Recent adviseerden VNG, RIVM en NVWA de rijksoverheid over bijstelling van dit beleid vanwege mogelijk lokale permanente vestiging van de tjigermug binnen twee tot vijf jaar. In een kamerbrief uit 2025 kondigde de minister van VWS aan op korte termijn met een toekomstige aanpak van de tjigermug te komen, gericht op het beperken van de gezondheidsrisico's ([Kamerbrief](#), 2025).

Er is beperkte aandacht voor infectieziekten in bestaande nationale klimaatadaptatieplannen. De eerste Nationale Adaptatie Strategie (NAS) wijst op toenemende risico's van vector- en milieuoverdraagbare infectieziekten. Er wordt verwezen naar bestaande signaleringsstructuren en acties, zoals monitoring van zwemwaterkwaliteit, die gaan over klimaatgevoelige infectieziekten, maar niet specifiek hiervoor zijn opgezet of aangepast. Het Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUPKA) bespreekt vector- en voedseloverdraagbare infectieziekten en zoönosen (ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023). Er worden geen nieuwe acties of doelen geformuleerd. Wel wordt verwezen naar het bestaande beleid wat betreft het tegengaan van vestiging van invasieve muggensoorten, en de beleidsaanpak voor zoönosen geformuleerd in het Nationaal Actieplan Versterken Zoönosebeleid (preventie, detectie, respons).

Adaptatiemaatregelen – Voedselveiligheid

De beheersing van microbiologische waterkwaliteit is een preventieve adaptatiemaatregel vanuit het beleid die gericht is op het beperken van

de verspreiding van enteropathogenen zoals *Salmonella*, *Campylobacter* en *E. coli* via oppervlaktewater. Deze ziekteverwekkers kunnen via besmet water in contact komen met voedselproductie, bijvoorbeeld bij irrigatie van gewassen of veedrenking, en vormen daarmee een risico voor de voedselveiligheid. Binnen het Nederlandse beleid zijn diverse maatregelen verankerd om deze risico's te beperken. Het gaat onder andere om het scheiden van afvalwater en hemelwater, het vergroten van de rioolcapaciteit en het voorkomen van riooloverstorten. Deze maatregelen zijn vastgelegd in Europese richtlijnen, zoals de Kaderrichtlijn Water (KRW) en de Richtlijn Stedelijk Afvalwater. Ze worden nationaal geïmplementeerd via het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) (Europese Unie, 2000; Europese Unie, 2024). Gemeenten en waterschappen zijn verantwoordelijk voor de uitvoering.

Koelketenbeheer en voedselverwerking vormen een preventieve adaptatiemaatregel, die zowel onder adaptatie vanuit beleid als adaptatie vanuit de sector zelf valt. Door klimaatverandering neemt het risico op voedselbederf en de groei van pathogene micro-organismen zoals *Listeria monocytogenes* en *Campylobacter* toe, vooral bij hogere temperaturen (Awad et al., 2024; Huynen et al., 2019). Dit vormt een directe bedreiging voor de voedselveiligheid en vraagt om extra inspanningen om consumenten te beschermen. Binnen het Nederlandse beleid is het HACCP-systeem wettelijk verplicht voor alle bedrijven die voedsel produceren, verwerken of verkopen ([NVWA – HACCP](#)). Dit systeem omvat preventieve maatregelen, zoals temperatuurbeheer bij hitte, terugkoelen, bewaren onder 7°C en het toepassen van aanvullende hygiëneprotocolen. Bedrijven nemen zelf extra maatregelen bij warme omstandigheden, zoals verkorte houdbaarheid en verscherpte monitoring van koelinstallaties.

Monitoring van toxinen zoals fycotoxinen in vis en schaal- en schelpdieren, en mycotoxinen in granen, zijn preventieve adaptatiemaatregelen die onder adaptatie vanuit beleid vallen. Dit is onderdeel van het beleid van de NVWA ([NVWA – Natuurlijke gifstoffen](#); BuRO, 2020). Er zijn wettelijke normen vastgesteld voor toxinen, en er worden modellen ontwikkeld voor blootstellingsanalyse.

Crisisrespons bij wateroverlast omvat reactieve adaptatiemaatregelen vanuit beleid die worden ingezet bij acute klimaatgebeurtenissen, zoals extreme neerslag en overstromingen. Deze maatregelen zijn onderdeel van bredere rampenbestrijdingsstructuren op lokaal niveau. Ze richten zich op het beperken van risico's voor de voedselveiligheid tijdens en direct na een calamiteit ([Rijksoverheid – Crisisbeheersing](#); ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2025). Specifieke maatregelen voor voedselverwerkingslocaties en distributiecentra zijn onder meer het toepassen van noodprocedures voor hygiëne, het tijdelijk sluiten van locaties om verdere besmetting of schade te voorkomen, en de herkeuring van voedselproducten om te beoordelen of deze nog veilig zijn voor consumptie. Deze maatregelen zijn niet altijd specifiek bedoeld voor voedselveiligheid, maar ze zijn wel belangrijk om die te beschermen bij wateroverlast.

Boeren veranderen hun werkwijzen, zoals het verbeteren van irrigatie en het beperken van afspoeling van meststoffen, om watervervuiling te

voorkomen en voedselkwaliteit te behouden. Dit is een vorm van preventieve adaptatie vanuit de sector zelf ([Rijksoverheid – Landbouwbeleid](#)). Deze maatregelen, ondersteund door het Europese Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB), verbeteren de bodemgezondheid en het waterbeheer. Dat leidt tot betere microbiologische kwaliteit van oppervlaktewater en minder infectierisico's in de voedselketen ([Europese Commissie – Gemeenschappelijk landbouwbeleid](#)). Hoewel deze maatregelen bijdragen aan beter waterbeheer, blijkt uit de huidige beoordelingen dat de ecologische en chemische toestand van oppervlaktewater in Nederland nog niet overal voldoet aan de normen. Ondanks dat ongeveer 80 procent van de parameters op orde is, voldoet geen enkel oppervlaktewaterlichaam volledig aan alle eisen. Prognoses geven aan dat de Kaderrichtlijn Water-doelen voor 2027 waarschijnlijk niet gehaald worden (ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2024)

7.3 Blootstelling

De belangrijkste aan klimaatverandering voor infectieziekte gerelateerde huidige risico's zijn milieu- en voedsel-overdraagbare infectieziekten en teek-overdraagbare infectieziekten (Betgen et al., 2023).

De netto verandering in concentraties ziekteverwekkers uit mest (zoals *Campylobacter*, *STEC*, *norovirus* en *Cryptosporidium*) door hevige neerslag is mogelijk beperkt, doordat zowel de aanvoer als de verdunning toenemen. Toch kunnen hevige neerslaggebeurtenissen, die naar verwachting vaker gaan optreden door klimaatverandering (vooral in het sterk SRV-scenario), leiden tot een verhoogde afspoeling van ziekteverwekkers vanaf landbouwgronden naar het oppervlaktewater (Awad et al., 2024).

Daarnaast neemt de kans op riooloverstorten toe bij extreme neerslag. Dat kan lokaal zorgen voor een sterke toename van microbiologische verontreiniging in water waarop wordt geloosd. Uit een overzichtsstudie blijkt bovendien dat er een positieve associatie bestaat tussen dergelijke overstorten en het optreden van gastro-intestinale infecties (Russell et al., 2025).

In combinatie met een grotere kans op warmere zomers en meer warme dagen (eveneens kenmerkend voor het 'SRV'-scenario) neemt de recreatie in oppervlaktewater toe. Hierdoor stijgt de kans op blootstelling aan mogelijke ziekteverwekkers, zeker wanneer deze wateren microbiologisch belast zijn door afspoeling of riooloverstorten (Adhikary et al., 2022). Bovendien kunnen langdurige droge periodes leiden tot een verhoogde concentratie van ziekteverwekkers in stilstaand of langzaam stromend oppervlaktewater (Awad et al., 2024).

Een bijkomend risico is het gebruik van besmet oppervlaktewater voor irrigatie of het besproeien van gewassen. Hierdoor kunnen voedselproducten, met name rauw geconsumeerde producten zoals sla of kruiden, besmet raken met ziekteverwekkers. Dat vergroot het risico op voedsel-gerelateerde infectieziekten (Gu et al., 2021). Warmere watertemperaturen bevorderen de groei en overleving van *Vibrio*-bacteriën in kustwateren (Harrison et al., 2022). Deze bacteriën,

waaronder pathogene soorten die geen cholera veroorzaken (non-cholera *Vibrios*), vormen een toenemend risico voor de volksgezondheid in gematigde gebieden, zoals Nederland. Hogere temperaturen creëren gunstige omstandigheden voor de kolonisatie van *Vibrio* in zeewater en schelpdieren. Hierdoor neemt het risico toe op besmetting van voedsel, met name bij de consumptie van rauwe of onvoldoende verhitte schaal- en schelpdieren, zoals oesters. Daarnaast kan recreatief contact met besmet water, bijvoorbeeld tijdens het zwemmen, leiden tot wondinfecties of oorontstekingen, vooral bij mensen met een verzwakt immuunsysteem of open huidletsels (Schets et al., 2022). Extreme weersomstandigheden, zoals hittegolven in combinatie met hevige regenval, kunnen uitbraken van *Vibrio*-infecties verder versterken (Baker-Austin et al., 2017). Dit vormt dus vooral in het SRV-scenario een risico. Mildere winters dragen bovendien bij aan een langere overlevingsduur van deze bacteriën in het milieu. Hoewel exacte voorspellingen lastig zijn, wijzen meerdere studies erop dat de incidentie van *Vibrio*-infecties in de toekomst aanzienlijk kan toenemen. Omdat de groei van deze pathogenen sterk temperatuurafhankelijk is, worden *Vibrio*-bacteriën beschouwd als een belangrijke en tastbare indicator voor de impact van klimaatverandering op mariene ecosystemen en voedselveiligheid (Baker-Austin et al., 2017).

Stijgende temperaturen wordt in verband gebracht met een verhoogde aanwezigheid en groei van *Salmonella* en *Campylobacter* (Akil et al., 2014; Kuhn et al., 2020). Dit kan leiden tot een groter risico op voedsel-gerelateerde infectieziekten bij mensen. Warmere temperaturen bevorderen de groei en overleving van deze bacteriën, waardoor ze zich gemakkelijker kunnen vestigen in pluimveepopulaties en vlees kunnen besmetten. Tegelijkertijd kan hittestress bij pluimvee zorgen voor een verzwakt immuunsysteem. Dat vergroot de vatbaarheid voor infecties en leidt tot een verhoogde uitscheiding van pathogenen in de omgeving (Queenan & Häslar, 2025). Daarnaast kunnen mildere winters de overleving van vectoren zoals vliegen bevorderen, die een mogelijke rol spelen in de verspreiding van *Campylobacter* (Nichols, 2005). Door deze verhoogde bacteriële belasting in de stallen, wordt de kans vergroot dat deze bacteriën in de voedselketen worden doorgegeven, en neemt ook het risico op overdracht naar mensen via besmet vlees toe. Daarnaast kan de mest die vrijkomt uit deze stallen na uitrijding op het land nabijgelegen waterbronnen en bodem besmetten (Black et al., 2021).

Klimaatverandering kan ook leiden tot veranderingen in geografische spreiding en/of seizoensvariatie van voedseloverdraagbare ziekteverwekkers en infecties. Door hogere temperaturen en veranderingen in neerslag kan het risico op een besmetting met *Salmonella*, *Campylobacter* en *Listeria* bijvoorbeeld toenemen. Dat speelt vooral wanneer voedsel niet voldoende gekoeld wordt. Om de risico's te beperken, is het dus belangrijk dat er goed gekoeld wordt. Er zijn ook ziekteverwekkers die juist minder goed tegen hitte kunnen. Het is nog niet berekend of klimaatverandering uiteindelijk leidt tot meer of minder ziekteverwekkers (Huynen et al., 2019). De meeste gevaren in voedsel zijn niet onbekend, maar de blootstelling eraan kan wel toenemen. Daarnaast kunnen met het verschuiven van klimaatzones andere of niet eerder voorgekomen (infectie)ziekten gaan voorkomen (Kox et al., 2025).

De blootstelling aan legionellose neemt naar verwachting toe door veranderende weersomstandigheden die de verspreiding van legionellabacteriën via omgevingsbronnen bevorderen. De toename in de afgelopen jaren is waarschijnlijk deels te verklaren door de toename van de verspreiding van deze bacteriën in de buitenlucht (Reukers et al., 2024). Klimaatverandering leidt steeds vaker tot perioden van droogte gevolgd door hevige neerslag, vooral in het SRV-scenario. Dit weerspatroon is gunstig voor de verspreiding van legionellose. Daarnaast kunnen stijgende temperaturen in het drinkwaterleidingnet zorgen voor een toename in groei van legionella en andere opportunistische ziekteverwekkers.

Ook voor teken overdraagbare ziekten zoals Lyme geldt dat de blootstelling toeneemt onder invloed van klimaatverandering. Nederland is nu al geschikt voor de verspreiding van de volgende teeksoorten: *Ixodes ricinus*, *Dermacentor reticulatus*, en *Dermacentor marginatus* (Gunze et al., 2022). Dit blijft ook zo onder beide klimaatscenario's, dus zowel 'BRV' als 'SRV'. Het aantal actieve tekennymphen neemt onder invloed van klimaatverandering toe in zowel het huidige tekenseizoen als in de winter. Dit vergroot de blootstelling en het risico voor mensen. Veranderingen in landgebruik kunnen dit beïnvloeden. Zo kan ontbossing lokaal leiden tot een afname van het Lyme-risico, ondanks een algemene vergroting van de klimatologische geschiktheid (Gunze et al., 2022).

Naast het versterken van al aanwezige infectierisico's, brengt klimaatverandering ook nieuwe dreigingen met zich mee, zoals mug-overdraagbare ziekten en nieuwe zoönosen. Een opkomend risico is bijvoorbeeld Westnijlvirus (WNV), een mug-overdraagbare ziekte waarvan in 2020 de eerste lokale uitbraak in Nederland werd vastgesteld. Door klimaatverandering neemt het risico op WNV-uitbraken in Europa toe. Een sterkere toename is verwacht bij meer opwarming en dus in het 'SRV'-scenario. Dit wordt vooral later in deze eeuw zichtbaar. In West-Europa wordt de grootste stijging in uitbraakrisico verwacht, waarbij het risico niet geleidelijk toeneemt, maar sprongsgewijs (Farooq et al., 2023). Deze sprongen in risico gebeuren bij het overschrijden van klimatologische drempels die gunstig zijn voor de vector.

Ook de tijgermug (*Aedes albopictus*) vormt een potentieel toekomstig risico. Bij vestiging van deze mug en aanwezigheid van de ziekteverwekkers die deze mug kan overdragen (zoals het dengue-, chikungunya- en het zika-virus), kunnen onder toekomstig klimaat uitbraken van nieuwe ziekten zoals Dengue optreden. Het Nederlandse klimaat blijft in beide scenario's ongeschikt voor de Gelekoortsmug (*Aedes aegypti*). Want ondanks dat de zomers in Nederland warmer worden, zijn ze nog steeds te kort en te koel om duurzame populaties te ondersteunen. De winters zijn bovendien te koud voor overwintering. Daarnaast kunnen veranderingen in biodiversiteit en landgebruik leiden tot een verhoogde blootstelling aan nieuwe zoönosen. Hoewel de totale rijkdom aan soorten in veel lokale ecosystemen tussen 2015 en 2035 niet-significant afneemt, verandert de samenstelling van soorten en hun onderlinge verhoudingen wel (Wang et al., 2021). Dit heeft gevolgen voor de manier waarop ziekten zich verspreiden. Het risico op dichtheidsafhankelijke ziekten neemt af. Deze komen vooral voor

wanneer individuen dicht op elkaar leven. Tegelijkertijd neemt het risico op frequentie-afhankelijke ziekten toe. Bij deze ziekten is de kans op overdracht niet afhankelijk van groepsgrootte per se, maar van hoe vaak individuen elkaar tegenkomen (Wang et al., 2021). Door klimaatverandering en het uitbreiden van landbouwgrond en verstedelijking, wordt het leefgebied van dieren steeds kleiner. Hierdoor trekken dieren naar nieuwe gebieden, waarbij soorten elkaar voor het eerst tegen komen (Carlson et al., 2022). Dit verhoogt de kans op uitwisseling van ziekteverwekkers en dus het risico op het ontstaan van nieuwe zoonosen. Naar verwachting is het klimaat inmiddels voldoende opgewarmd om dit proces in gang te zetten. Bovendien reizen mensen steeds meer, waardoor nieuwe infectieziekten zich gemakkelijker verspreiden.

Blootstelling bij contextscenario BRV en huidig beleid

In dit scenario verwachten we een geleidelijke toename van blootstelling aan infectieziekten, vooral door meer contact met oppervlaktewater en vergroening van de leefomgeving. Recreatie in natuurwater en stedelijke vergroening kunnen leiden tot meer blootstelling aan ziekteverwekkers.

Blootstelling bij contextscenario SRV en huidig beleid

In dit scenario neemt de blootstelling sterker toe door hogere temperaturen, meer extreme neerslag en verslechtering van waterkwaliteit. Langdurige hitte en overstromingen vergroten de kans op contact met ziekteverwekkers via drinkwater, oppervlaktewater en voedselproductie. Zonder aanvullende maatregelen kan dit leiden tot meer infectierisico's en ziekte.

7.4 Gevoeligheid

De gevoeligheid voor infectieziekten wordt bepaald door zowel biologische kwetsbaarheid als maatschappelijke en ruimtelijke factoren. Kinderen, ouderen en mensen met een verzwakte afweer zijn over het algemeen vatbaarder voor infecties. Zo wordt de hoogste incidentie van de ziekte van Lyme gerapporteerd bij kinderen tussen de vijf en veertien jaar ([LCI-richtlijn Lymeziekte](#)). Terwijl legionellose vaker leidt tot een ernstige longontsteking bij ouderen, mensen met een verminderde weerstand (door bijvoorbeeld afweerremmende medicijnen) en rokers. Deze gevoeligheid blijft in grote lijnen gelijk, maar de verwachting is dat het aantal mensen dat via bepaalde transmissieroutes besmet raakt (zoals via waterrecreatie) toeneemt. Door demografische ontwikkelingen nemen kwetsbare groepen zoals ouderen bovendien in omvang toe. Ook dit verhoogt de gevoeligheid van de bevolking voor klimaatgerelateerde infectierisico's.

Gevoeligheid bij contextscenario 'BRV' en huidig beleid

In het contextscenario 'BRV' en bij huidig beleid blijft de gevoeligheid naar verwachting relatief stabiel, maar neemt de blootstelling toe door veranderingen in gedrag en omgeving. Denk aan meer recreatie in en rond water, vergroening van stedelijke gebieden, en toename van contact met ongecontroleerd oppervlaktewater. In stedelijke gebieden met veel verharding en beperkte waterafvoer is de kans op wateroverlast groter. Dat verhoogt indirect de gevoeligheid voor enterale infecties bij contact met verontreinigd water.

Gevoeligheid bij contextscenario SRV en huidig beleid

In het contextscenario SRV neemt de gevoeligheid naar verwachting verder toe door een combinatie van factoren: een grotere groep kwetsbare mensen, intensievere blootstelling, en een toename van extreme weersomstandigheden. Langdurige hitte kan bijvoorbeeld leiden tot hogere temperaturen in drinkwaterleidingen. Dat is gunstig voor de groei van opportunistische pathogenen, zoals *Legionella*. Ook neemt de kans op overstromingen en riooloverstorten toe, wat de microbiologische waterkwaliteit negatief beïnvloedt. In landelijke gebieden met intensieve landbouw is er bovendien een verhoogd risico op afspoeling van meststoffen en pathogenen naar oppervlaktewater, wat de gevoeligheid van voedselproductie verhoogt.

Ruimtelijke verschillen zijn waarschijnlijk relevant: waar stedelijke gebieden gevoeliger zijn voor hittestress en wateroverlast, kunnen landelijke gebieden kwetsbaarder zijn voor waterverontreiniging en vectorverspreiding. Sociaaleconomische factoren spelen mogelijk eveneens een rol: mensen met beperkte toegang tot gezondheidszorg of veilige recreatievoorzieningen lopen mogelijk meer risico.

7.5 Impact

Voor *Vibrio* is een eerste kwantificering beschikbaar. Dit laat zien dat klimaatverandering leidt tot een relatieve toename in ziektelast van 49-97 procent in de periode rond 2050 en 66-193 procent in de periode 2071-2100 (rond 2085) ten opzichte van 2020 (Hall et al., 2021). In een recente studie wordt een toename van infectierisico's geschat met een maximale factor van 1.6 tot 3.2 in 2050, en tot 7.6 in 2100, afhankelijk van het contextscenario (BRV of SRV) (Schets et al., 2025). Hoewel de totale ziektelast van *Vibrio*-infecties niet bekend is, is de omvang van de toename in risico dus mogelijk aanzienlijk, vooral bij een uitbraak onder kwetsbare mensen. Cascade-effecten zijn mogelijk, bijvoorbeeld voor recreatie, waterbeheer en zorginstellingen.

Daarnaast kan er een verhoogde groei in het drinkwaterleidingnet van legionella en andere opportunistische ziekteverwekkers zorgen dat de veiligheid van drinkwater onder druk staat. Dit risico wordt versterkt door stijgende temperaturen en weerpatronen met droogte gevolgd door hevige neerslag, vooral in het SRV-scenario.

Voor milieu- en voedseloverdraagbare infectieziekte, kan klimaatverandering zorgen voor een grotere impact, met name in het SRV-scenario. Hevige neerslag kan leiden tot verhoogde afspoeling van ziekteverwekkers vanaf landbouwgrond naar oppervlaktewater, wat gevolgen heeft voor de waterkwaliteit en volksgezondheid. Bij extreme neerslag neemt ook de kans op riooloverstorten toe, wat lokaal kan zorgen voor microbiologische verontreiniging van water. Ook zoeken mensen met warm weer meer verkoeling in oppervlaktewater, terwijl het risico op infecties via zwemwater toeneemt, vooral bij kwetsbare mensen. Langdurige droge periodes kunnen bovendien leiden tot verhoogde concentraties van ziekteverwekkers in stilstaand water, wat de risico's ook versterkt. Deze verhoogde risico's kunnen de druk op eerstelijnszorg verhogen.

Het gebruik van besmet oppervlaktewater voor irrigatie kan leiden tot besmetting van voedselgewassen, vooral bij de rauwe consumptie van producten zoals sla. Dit vergroot het risico op voedselgerelateerde infectieziekten en kan gevolgen hebben voor voedselveiligheid. Bij pluimvee leidt temperatuurstijging tot verhoogde aanwezigheid van salmonella en Campylobacter. Dit verhoogt het risico op besmetting van vlees en daarmee infectieziekten bij mensen.

Voor dengue geldt dat de geschiktheid van het Nederlandse klimaat voor uitbraken toeneemt, mits zowel de vector als de ziekteverwekker aanwezig zijn. Al zou vooral *Aedes aegypti* voor meer uitbraken zorgen, maar deze soort wordt niet verwacht in Nederland in beide scenario's (Lui-Helmersson et al., 2016). *Aedes albopictus* kan ook Dengue overdragen, maar dit risico neemt niet toe in de toekomst ten opzichte van de huidige situatie (Sargent et al., 2022). De potentiële impact blijft daarmee waarschijnlijk beperkt.

Een toename van het risico op Lyme kan leiden tot een hogere ziektelast en druk op eerstelijnszorg. De toename van actieve teken, ook in de winter, vergroot de blootstelling. Veranderingen in landgebruik kunnen (lokaal) het risico beïnvloeden. De impact voor Westnijlvirus (WNV) is potentieel aanzienlijk, vooral omdat het risico niet geleidelijk toeneemt, maar sprongsgewijs. Dit kan leiden tot onverwachte lokale uitbraken. Ook dit kan zorgen voor meer druk op eerstelijnszorg.

Tot slot kunnen nieuwe zoönosen ontstaan. Dit vergroot de onzekerheid over toekomstige impacts, vooral in gebieden waar verstedelijking en landgebruik leiden tot verhoogde interactie tussen mens en dier.

Eindimpact mens en cultuur

Voor veel klimaatgevoelige infectieziekten is de huidige ziektelast onvoldoende gekwantificeerd. Hierdoor is het moeilijk om de toekomstige impact betrouwbaar in te schatten. Voor enkele ziekteverwekkers zijn er wel ziektelast cijfers beschikbaar die als referentie kunnen dienen. Voor andere ziekteverwekkers is een inschatting te geven, die de richting aangeeft (toe/afname).

Voor *Vibrio* wordt een toename van 49-97 procent in 2050 verwacht en in de periode 2071-2100 (rond 2085) kan dit oplopen tot 66-193 procent ten opzichte van 2020 (Hall et al., 2021). De totale ziektelast is echter onbekend, mede door het ontbreken van een meldplicht. Voor *Legionella* is de incidentie in Nederland gestegen van 0,27 per 100.000 inwoners (1987-1998) naar boven de 3 per 100.000 in recente jaren. Deze stijging wordt mede toegeschreven aan klimaatverandering. De verwachting is dat de ziektelast verder zal toenemen, maar exacte cijfers voor 2050 of 2100 zijn niet beschikbaar (Betgen et al., 2024).

Voor Lyme wordt jaarlijks een ziektelast van ongeveer 27.000 gevallen gemeld (Betgen et al., 2024). Door een toename van de blootstelling, wordt een grotere eindimpact verwacht. Een verdere kwantitatieve schatting is niet mogelijk.

De eindimpact voor mugoverdraagbare ziekten (WNV, Denguevirus, etc.) is op dit moment laag (<10.000 getroffen mensen). Voor Westnijlvirus zijn bijvoorbeeld 7000 tot 25.000 besmette mensen nodig, voor een sterfgeval. Deze aantallen, en de nodige aantallen voor andere mugoverdraagbare ziekten, zijn in Nederland nog niet in zicht (Betgen et

al., 2024). De impact blijft hierdoor waarschijnlijk laag. Wel neemt het risico op Dengue en Westnijlvirus toe door klimaatverandering.

Voor milieu- en voedseloverdraagbare infectieziekten zoals Campylobacter, Salmonella, Cryptosporidium, norovirus, en STEC zijn wel ziektelastcijfers (in DALY's) beschikbaar. De ziektelast van voedselgerelateerde ziekteverwekkers in Nederland wordt jaarlijks gerapporteerd door het RIVM (Mangen et al., 2018; Benincà et al., 2022). In 2023 was dit de geschatte ziektelast (Bos et al., 2024):

Campylobacteriose: 2.500 DALY's
 Salmonellose: 1.800 DALY's
 Cryptosporidiose: 230 DALY's
 Norovirus infectie: 2.400 DALY's
 STEC-O157-infectie: 150 DALY's

Deze cijfers geven een indicatie van de huidige impact van milieu- en voedseloverdraagbare infectieziekten, maar het is niet mogelijk om op basis hiervan een kwantitatieve schatting te maken voor 2050 of 2100. Wel is de verwachting dat de ziektelast voor deze ziekteverwekkers zal toenemen onder invloed van klimaatverandering, vooral in het SRV-scenario.

Tot slot kunnen er nieuwe zoönosen ontstaan. De impact hiervan is moeilijk uit te drukken, maar kan relevant zijn voor de volksgezondheid.

De inschatting is dat zowel in het BRV-scenario als het SRV-scenario de impact van de genoemde ziekteverwekkers door het vaker voorkomen van gunstige weersomstandigheden toeneemt. Deze impact is waarschijnlijk voor het SRV-scenario hoger zijn. Daarbij wordt ingeschat dat de impact wel in dezelfde klasse blijft (laag, midden of hoog) als in de huidige situatie. Voor nieuwe infectieziekten geldt dat uiteraard niet.

Eindimpact economie

De economische impact van infectieziekten in Nederland is substantieel (zie [RIVM/vzinfo](#)). Voor de klimaatgevoelige infectieziekten is een specifieke schatting van de toekomstige economische impact echter nog niet mogelijk. Dit omdat betrouwbare data over bijvoorbeeld toekomstige verspreiding, ziektelast en zorgkosten nog ontbreken. Daarnaast zijn sommige van deze ziekten in Nederland nog zeldzaam, waardoor modellen en kostenramingen beperkt zijn.

Waarschijnlijkheid

De waarschijnlijkheid dat klimaatverandering leidt tot een toename van infectieziekten is over het algemeen hoog, maar de frequentie waarmee specifieke ziekten optreden is lastig vast te stellen. Er is weinig gepubliceerd over hoe vaak en op welke schaal nieuwe infectieziekten gaan opkomen. De meeste infectieziekten zullen het hele jaar door voorkomen, maar de frequentie zal per ziekteverwekker verschillen.

Voor teken geldt dat er hoge zekerheid is dat klimaatverandering leidt tot een eerdere start van het tekenseizoen en tot hogere tekenactiviteit (Hall et al., 2021). Daarnaast komen weersomstandigheden die gunstig

zijn voor de transmissie van bepaalde teekoverdraagbare infectieziekten vaker voor. Het risico op blootstelling neemt hierdoor met hoge zekerheid toe. De vestiging van nieuwe muggen- en tekensoorten is waarschijnlijk, waardoor lokale uitbraken van nieuwe vectoroverdraagbare infectieziekten ook waarschijnlijk zijn (Hall et al., 2021).

Het risico op milieu- en voedseloverdraagbare infectieziekten, zoals *Vibrio*, *Campylobacter* en blauwalgen, neemt toe (Hall et al., 2021). Bij een toename van extreme buien door klimaatverandering (vooral in het 'SRV'-scenario), neemt het risico op blootstelling aan infectieziekten via overstromingswater toe. Door hogere temperaturen en veranderingen in neerslag kan het risico op een besmetting met *Salmonella*, *Campylobacter* en *Listeria* bijvoorbeeld toenemen. Er zijn ook ziekteverwekkers die juist minder goed tegen hitte kunnen. Het is nog niet berekend of klimaatverandering uiteindelijk leidt tot meer of minder ziekteverwekkers.

7.6 Kwaliteit

Kennishiaten

Voor veel infectieziekten is het beeld van de huidige risico's en ziektelast, en de rol van klimaat(verandering) in geobserveerde trends, onvolledig. Dit beperkt de mogelijkheden om toekomstige risico's en impacts te kwantificeren. Veel informatie over de effecten van klimaatverandering op infectieziekten gaat over veranderingen in (mogelijke) blootstellingen of risico's, en niet over de ziektelast/impact zelf. De genoemde data voor *Vibrio* laten bijvoorbeeld een toename in risico gerelateerd aan recreatief zwemmen zien. Maar omdat de huidige impact onbekend is, zijn ze niet om te zetten in een toekomstige impact. Niet alle informatie komt uit onderzoeken die specifiek over Nederland gaan, maar bijvoorbeeld op Europees of wereldwijd niveau zijn uitgevoerd. De belangrijkste kennishiaten op het gebied van klimaatverandering en infectieziekten voor Nederland zijn eerder uitgewerkt in Van der Ree et al. (2022).

Betrouwbaarheid

Alle informatie in dit hoofdstuk is gebaseerd op gepubliceerde wetenschappelijke informatie. Er zijn geen aanvullende analyses gedaan. Hoewel er afhankelijk van het klimaatscenario of andere aannames enige variatie kan zitten in de omvang van geprojecteerde effecten, is het beeld over de richting van mogelijke veranderingen in de meeste gevallen consistent. Onderzoeken op Europees of wereldwijd niveau geven, afhankelijk van de kwaliteit en resolutie van de inputdata, mogelijk een algemener en minder nauwkeurig beeld voor de situatie in Nederland dan onderzoeken die specifiek voor Nederland zijn uitgevoerd.

8 Allergieën en pollen

RIVM-expert: E.F. Hall

Samenvattende punten:

- *Het pollenseizoen begint eerder en duurt langer en pollenconcentraties en -allergeniciteit nemen toe. Hierdoor ervaren hooikoortspatiënten gedurende een langere periode meer en heviger klachten.*
- *Behalve directe gezondheidseffecten kan hooikoorts leiden tot een slechtere nachtrust, concentratieproblemen en slechter functioneren. Dat zorgt voor meer ziekteverzuim, verlies van arbeidsproductiviteit en verslechterde schoolprestaties.*
- *Hooikoortspatiënten zouden baat hebben bij een landelijk dekkend pollenmeetnetwerk, dat zorgt voor real time-pollenmetingen en accurate voorspellingen van pollenconcentraties.*
- *Bij groene adaptatiemaatregelen moet rekening worden gehouden met allergene planten en bomen.*

Klimaatverandering beïnvloedt de timing en duur van het pollenseizoen, de pollenconcentraties, de soortensamenstelling en de allergeniciteit³ van pollen. De mate waarin is complex en soortafhankelijk. Ook zijn andere factoren van belang, zoals veranderingen in (extreem) weer, landgebruik en luchtverontreiniging.

8.1 Klimaatdreiging

Primaire effecten

De belangrijkste klimaatdreiging voor gezondheidseffecten door pollenallergieën zijn: het wordt warmer en het CO₂-gehalte in de atmosfeer stijgt.

Stijging temperatuur en veranderingen in neerslag

De temperatuurstijging door klimaatverandering beïnvloedt het groeiseizoen, de periode waarin de temperatuur hoog genoeg is om planten te kunnen laten groeien. Het groeiseizoen begint op de eerste dag na de eerste periode van zes opeenvolgende dagen, waarbij de etmaalgemiddelde temperatuur niet onder de 5 °C komt. Het groeiseizoen eindigt op de dag voor de eerste periode van zes opeenvolgende dagen na 1 juli, waarbij de etmaalgemiddelde temperatuur niet boven de 5 °C komt.⁴

Klimaatverandering veroorzaakt een vervroeging van het groeiseizoen in Nederland en het groeiseizoen wordt langer. Het huidige groeiseizoen heeft een range van 204–247 dagen, met het kortste seizoen in het noordoosten van het land en het langste seizoen in het zuidwesten. In 2050 is de range van het groeiseizoen onder het Beperkt Risico-verhogend (BRV)scenario 217–265 dagen en onder het Sterk Risico-

³ Allergeniciteit is het vermogen van een stof om een abnormale immunerespons te veroorzaken die leidt tot een allergische reactie bij een persoon.

⁴ [KNMI'23-klimaatscenario's - Klimateffectatlas](#)

verhogend (SRV)scenario 231–274 dagen in 2050. De range blijft hetzelfde in 2100 onder het BRV-scenario. Onder het SRV-scenario is het groeiseizoen in 2100 met een range van 280-322 dagen meer dan 70 dagen langer dan de huidige situatie.

De vervroeging en verlenging van het groeiseizoen en veranderingen in neerslag beïnvloeden het pollenseizoen. Dit wordt verder omschreven in paragraaf 8.3 *Het effect van temperatuur en neerslag op het pollenseizoen en pollenconcentraties*

Stijging CO₂-concentratie

In het IPCC-scenario SSP1-2.6 (vergelijkbaar met KNMI-scenario L) stijgt de CO₂-concentratie in de atmosfeer op het Noordelijk halfrond naar 470 ppm in 2050. In 2100 is de CO₂-concentratie bij deze lage uitstootscenario gezakt naar 445 ppm (Meinshausen et al., 2020). In het IPCC-scenario SSP5-8.5 (vergelijkbaar met KNMI-scenario H) stijgt de CO₂-concentratie op het Noordelijk halfrond naar 567 ppm in 2050 (Meinshausen et al., 2020). In 2100 is de CO₂-concentratie bij deze hoge uitstootscenario gestegen naar 1.142 ppm, meer dan dubbel de huidige wereldwijde gemiddelde CO₂-concentratie van ongeveer 425 ppm.⁵

Door hogere CO₂-concentraties neemt de fotosynthese van planten toe, waardoor ze groter worden en meer pollen kunnen produceren (zie paragraaf 8.3 *Het effect van CO₂ op pollenproductie en allergeniciteit*).

Secundaire effecten: Synergetische effecten van gecombineerde blootstelling aan luchtverontreiniging, pollen en hitte
Luchtverontreiniging heeft een grote impact op de ziektelast van hooikoortspatiënten (Rouadi et al., 2020). Luchtverontreiniging werkt tweeledig; enerzijds tast een slechte luchtkwaliteit, zoals bijvoorbeeld langs verkeerswegen, de luchtwegen aan, waardoor hooikoortspatiënten gevoeliger zijn voor pollen (D'Amato et al., 2018). Anderzijds worden pollen in de lucht aangetast door schadelijke componenten in de lucht zoals dieseldeeltjes, ozon, stikstofdioxide. Deze componenten kunnen verschillende effecten hebben op pollen (Frank en Ernst, 2016), waaronder het verhogen van de allergeniciteit (Ghiani et al., 2012, Sénéchal et al., 2015). Onderzoek van Berger et al. (2021) in Wenen, Oostenrijk laat zien dat vooral ozon een impact heeft op de ernst van de symptomen van hooikoortspatiënten. Verhoogde ozonconcentraties verhoogden significant de symptomen van allergische rhinitis bij deze patiënten tijdens de pollenseizoenen van de berk, gras en alsemambrosia.

Tot nu toe is het epidemiologisch bewijs voor gezondheidseffecten van interacties tussen allergenen en luchtverontreinigende stoffen relatief zwak (Lam et al., 2021). In de systematische review van Lam et al. (2021) rapporteerde een derde van de onderzochte studies statistisch significante interacties, waarvan bijna de helft uit tijdreeksen/case-crossoverstudies naar het dagelijkse aantal ziekenhuisopnames of -bezoeken voor astma.

⁵ <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html>

Door klimaatverandering kan gecombineerde blootstelling aan luchtverontreiniging, pollen en hitte vaker voorkomen. Een hittegolf kan gepaard gaan met weinig neerslag en wind, waardoor de luchtkwaliteit slecht is, met hoge concentraties van ozon en fijnstof in de lucht. Door warmte kunnen grassen flink gaan bloeien, met een piek in graspollenconcentraties als gevolg. Meer onderzoek is nodig naar de mogelijke synergetische effecten van deze gecombineerde blootstelling.

8.2 Adaptatiemaatregelen huidig beleid

Preventieve adaptatie: Groene klimaatadaptatiemaatregelen
Het Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUPKA) uit 2023 benadrukt dat klimaatadaptatiemaatregelen niet moeten leiden tot nieuwe problemen, zoals meer allergieën.⁶ Bij het aanleggen van meer groen, bijvoorbeeld meer bomen in steden, meer parken met groen en planten op daken en muren, moet daarom rekening worden gehouden met de allergeniciteit van planten. Dit advies is opgenomen in het NUPKA.

Informatie over allergene planten moet wijdverspreid worden onder organisaties die zich bezighouden met vergroening van de leefomgeving. Dit om meer bewustwording te creëren over de mogelijke negatieve gezondheidseffecten van bepaalde bomen, kruiden en grassen. Het Bomenkompas⁷ (ontwikkeld binnen het door ZonMw gefinancierd KAPPA-project) geeft informatie over de allergeniciteit van bomen. In het vervolgpriject GoHot⁸ is gewerkt aan verdere disseminatie hierover. Met deze informatie kunnen groenbeheerders zorgen dat bij nieuwe aanplant in de openbare ruimte allergene planten zoveel mogelijk vermeden worden.

De GGD'en ondersteunen gemeenten en burgers onder andere bij het adviseren over groene adaptatiemaatregelen en houden daarbij rekening met pollenallergieën. Een factsheet is opgesteld voor medewerkers van GGD'en om hen hierin te ondersteunen⁹. De factsheet beschrijft hoe bij de aanleg van groen het ontstaan van meer allergische klachten zoveel mogelijk is te voorkomen. Op basis van systematisch literatuuronderzoek worden de volgende adviezen gegeven:

Algemeen advies: Betrek een botanist;

- Kies meer planten met een lage allergeniciteit en van diverse soortgroepen.
- Kies planten zonder windbestuiving en met een korte pollenperiode.
- Zorg voor meer vrouwelijke planten bij tweehuizige soorten.
- Zorg voor voldoende luchtstroming.
- Vermijd (invasieve) exoten.
- Zorg voor variatie in beplanting (vergroot biodiversiteit).
- Water dichtbij kan helpen.
- Onderhoud het groen.

⁶ <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-2f1a2258b86c19919999b03a927ca9e3ba0498af/pdf>

⁷ <https://www.lumc.nl/siteassets/over-het-lumc/maatschappelijke-rol/bomenkompas/bestanden/bomenkompas-brochure-5-apr-2023.pdf>

⁸ [GoHot](#)

⁹ <https://www.rivm.nl/media/240131>

Reactieve adaptatie: Pollenmonitoring en vroege waarschuwing

Om de ziektelast door pollenallergieën te verminderen, is het belangrijk om minder in aanraking te komen met pollen en om tijdig de juiste medicatie te nemen. Hiervoor moeten mensen weten voor welke pollen zij gevoelig zijn en welke pollen er op een bepaald moment in de lucht aanwezig zijn. Het NUPKA noemt het verbeteren van de monitoringssystemen voor allergenen en de ziektelast als een mogelijke extra maatregel om de gevolgen van allergieën te drukken.¹⁰

Maatregelen die de klachten enigszins verminderen, zijn het vermijden van buitenactiviteiten op tijdstippen wanneer de concentraties pollen waarvoor men gevoelig is hoog zijn; de was binnen drogen, zodat pollen vervolgens niet naar binnen komen; het dragen van een (zonne)bril buiten om minder pollen in de ogen te laten komen; het gras niet zelf maaien in de bloeiperiode. Omdat het vermijden van pollen moeilijk is, kunnen hooikoortssymptomen door medicatie worden verminderd. Bij mensen met matige tot ernstige klachten werkt het type medicatie (corticosteroidneusspray) het best als het tot wel tien dagen van tevoren wordt toegediend. Ook het gebruik van antihistaminica bij minder hevige reacties werkt het best als het een aantal uur voor de blootstelling wordt toegediend (Houweling et al., 2021).

Om de juiste maatregelen op het juiste moment te nemen, is het belangrijk om te weten wanneer hoge pollenconcentraties van welke soort worden verwacht. Daarom zouden hooikoortspatiënten veel baat hebben bij actuele polleninformatie voor heel Nederland. Nu zijn er maar twee meetpunten (bij het Leids Universitair Medisch Centrum en Elkerliek Ziekenhuis in Helmond) waar sinds de jaren zeventig pollen handmatig worden geteld en wekelijks (achteraf) worden gerapporteerd. Sinds voorjaar 2025 zijn er twee automatische pollentellers op deze locaties in gebruik genomen. De komende twee jaar wordt er geoefend met deze pollentellers en worden ze gekalibreerd met de bestaande meetreeksen. Binnen het GoHot-project¹¹ wordt er voorbereid op ontsluiting van de nieuwe data en verbetering van de informatievoorziening.

De automatische pollentellers zorgen voor real time-metingen met een veel hogere temporele resolutie (per uur in plaats van per dag) dan de oude methode. Hiermee zijn de voorspellingen van het begin van het pollenseizoen en van piekconcentraties veel preciezer te maken. Dit is belangrijk voor het verminderen van de ziektelast, omdat patiënten door de accuratere voorspellingen van het begin van het seizoen op tijd met hun medicatie kunnen beginnen. Ook pieken in pollenconcentraties worden direct waargenomen en patiënten kunnen daarvoor worden gewaarschuwd. De pollentellers staan echter slechts op twee locaties. De lengte van het groeiseizoen kent verschillen van meer dan veertig dagen tussen regio's in Nederland (zie *Klimaatdreiging*). De verwachting is dat het moment waarop pollen vrijkomen en de lengte van het pollenseizoen ook veel variatie kent in Nederland. Daarom is het van belang om een landelijk dekkend pollenmeetnetwerk te hebben, zodat patiënten in heel Nederland op basis van actuele regionale

¹⁰ <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-2f1a2258b86c19919999b03a927ca9e3ba0498af/pdf>

¹¹ [GoHot](#)

pollentellingen en accurate voorspellingen de juiste maatregelen op het juiste moment kunnen nemen. Houweling et al. (2021) hebben een voorstel gedaan voor een landelijk dekkend pollenmeetnetwerk.

8.3 Blootstelling

De blootstelling aan de verschillende pollen hangt af van het moment van bloeien van de bomen, grassen, en kruiden, wat afhankelijk is van het klimaat (zie hieronder). Pollen zijn onderdeel van de voortplantingscyclus van planten en komen voor in de lucht als de planten gaan bloeien. Bomen zoals de els en hazelaar beginnen in februari al met bloeien, voor berken is de pollenpiek doorgaans in april; begin juni zijn de meeste boompollen uit de lucht¹². Grassen en kruiden bloeien ongeveer van eind april tot september.

In Nederland zijn de allergene pollen die het grootste deel van de hooikoortsklachten veroorzaken die van de berk en van grassen, direct gevolgd door de els en de hazelaar. Maar ook pollen van onder andere de es, bijvoet, zuring en alsemambrosia zorgen voor hooikoortsklachten¹³. De soorten die voor hooikoortsklachten zorgen, komen in heel Nederland voor. Allergene pollen verspreiden zich via de wind, waardoor de klachten zich kunnen uiten op plekken waar de soort niet direct voorkomt. Direct aan de Noordzee, op het strand, zullen weinig pollen te vinden zijn bij de doorgaans zuidwestenwind.

Het effect van temperatuur en neerslag op het pollenseizoen en pollenconcentraties

De vervroeging en verlenging van het groeiseizoen door temperatuurstijging (zie *Klimaatdreiging*) is van invloed op het pollenseizoen. Een recente systematische literatuurreview (Schramm et al., 2021) van de effecten van temperatuur en neerslag op pollenconcentraties en de timing van het pollenseizoen concludeerde dat er een verband is tussen warmere temperaturen en een vroeger en langer pollenseizoen. Het effect van een kortere winter door warmere temperaturen zorgt vooral bij bomen voor een vroegere start van het pollenseizoen, omdat zij vroeg in het jaar pollen produceren. Bij grassen vonden de meeste analyses (14 van de 23 analyses) geen significant verband tussen temperatuur en de start van het pollenseizoen.

De meeste analyses die geïnccludeerd zijn in de literatuurreview van Schramm et al. (2021) vonden een positief verband tussen temperatuur en dagelijkse pollenconcentraties. Wat betreft de totale jaarlijkse pollenconcentraties waren er vooral bij de analyses van boompollen positieve correlaties met temperatuur gevonden. Het effect van neerslag was wisselend en soortafhankelijk. Meer neerslag tijdens het pollenseizoen kan zorgen voor lage pollenconcentraties als gevolg van het "uitwaseffect". De meeste analyses vonden dan ook een significante negatieve correlatie tussen gemiddelde dagelijkse pollenconcentraties en hoeveelheid neerslag. De langetermijneffecten van neerslag varieerden echter voor bomen en kruidachtige planten en hadden een positieve correlatie met graspollenconcentraties, waarschijnlijk omdat neerslag de groei bevordert. Ook werd er een significant positief verband gevonden

¹² <https://www.lumc.nl/patientenzorg/specialistische-centra/hart-long-centrum/voor-patienten/pollen-en-hooikoorts/>

¹³ <https://www.lumc.nl/patientenzorg/specialistische-centra/hart-long-centrum/voor-patienten/pollen-en-hooikoorts/>

tussen de hoeveelheid neerslag en piekconcentraties van boom- en graspollen.

De invloed van temperatuur op het pollenseizoen en pollenconcentraties is ook onderzocht in een recente studie in de Benelux-landen, wat vergelijkbare resultaten opleverde. De Weger et al. (2021) vonden een toename in jaarlijkse en piekconcentraties van pollen en een verschuiving van het pollenseizoen naar eerder in het jaar voor de onderzochte boomsoorten. Hierbij werd voor de berk, de boomsoort in Nederland met de meest sterke allergene pollen¹⁴, een significante positieve associatie gevonden tussen de trends in pollenconcentraties en de trends in temperatuur. Voor grassen werd een langer pollenseizoen gevonden en een afname in pollenconcentraties. De onderzoekers vermoeden dat de afname in graspollenconcentraties werd veroorzaakt door de toegenomen verstedelijking in de buurt van de pollenmeetstations (de Weger et al., 2021).

Zhang et al. (2022) hebben toekomstige pollenemissies in de Verenigde Staten gemodelleerd onder het IPCC SSP 585-klimaatscenario. Dit scenario is vergelijkbaar met het SRV-scenario. Hun projecties geven aan dat het pollenseizoen onder dit klimaatscenario tot 40 dagen vroeger begint en 19 dagen langer wordt. De jaarlijkse totale pollenemissies zullen ook toenemen in de Verenigde Staten met 16-40 procent.

Gezien de uitkomsten van bovenstaande onderzoeken, is het aannemelijk dat door klimaatverandering de trends in langere en heviger pollenseizoenen voorlopig doorzetten. Hoge temperaturen in de maanden voorafgaand aan het pollenseizoen versnellen over het algemeen de ontwikkeling van planten en het begin van de bloei. Tijdens het seizoen bevorderden hogere temperaturen en zonneshijn de pollenemissies. Voor grassen kan droogte de groei en pollenproductie verminderen, afhankelijk van de soort. Als de bodem voldoende vochtig is, kunnen de pollenconcentraties bijzonder hoog zijn tijdens lange, zonnige periodes.

Aangezien er in het SRV-scenario sprake is van een sterke stijging in temperaturen en meer zonneshijn, is het aannemelijk dat het pollenseizoen langer en intenser wordt dan in het BRV-scenario. Hierdoor zullen mensen langer worden blootgesteld aan pollen en aan hogere pollenconcentraties. Daardoor zullen hooikoortsklachten vaker, heviger, en meer langdurig voorkomen dan in het BRV-scenario.

Het klimaatscenario met een hoge CO₂-uitstoot en een vernattend klimaat (niet meegenomen in de huidige studie) zal echter mogelijk tot nog meer pollenblootstelling en klachten leiden dan het SRV-scenario (hoge CO₂-uitstoot en een verdrogend klimaat). Dit vanwege meer neerslag in de lente en minder droogte in de zomer dan in het SRV-scenario, wat de groei en pollenproductie van planten ten goede komt. De timing van de neerslag is echter wel een belangrijke factor hierin vanwege het 'uitwaseffect', zoals eerder toegelicht.

¹⁴ <https://www.lumc.nl/siteassets/over-het-lumc/maatschappelijke-rol/bomenkompas/bestanden/bomenkompas-brochure-5-apr-2023.pdf>

Het effect van CO₂ op pollenproductie en allergeniciteit

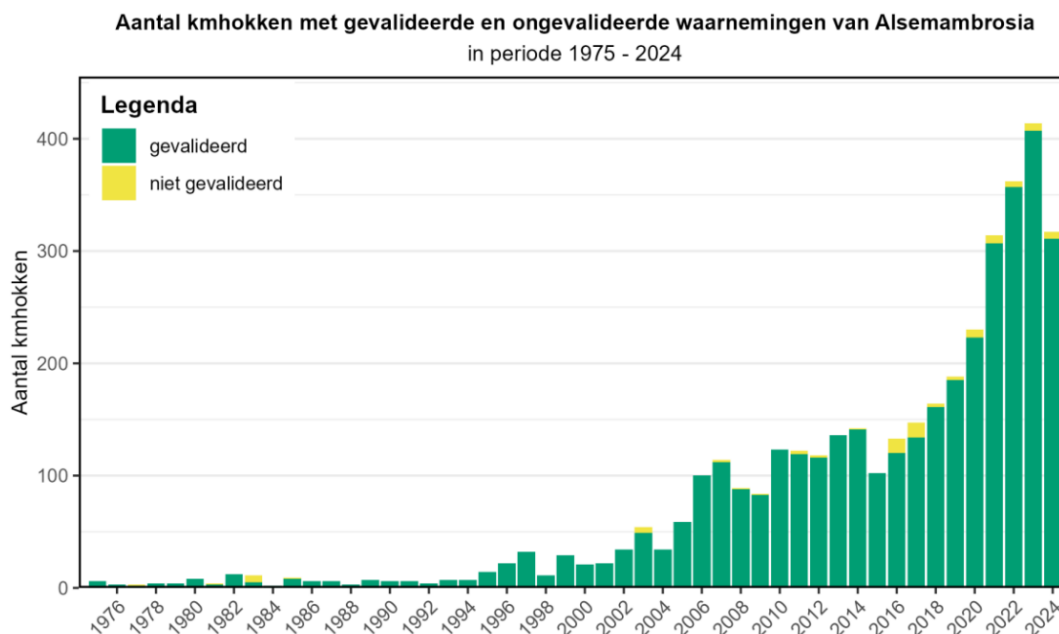
Door hogere CO₂-concentraties neemt de fotosynthese van planten toe, waardoor ze groter worden en meer pollen kunnen produceren. In een experiment waarin timoteegras (*Phleum pratense*) werd gekweekt onder verschillende concentraties CO₂ nam de hoeveelheid geproduceerd graspollen toe met ongeveer 50 procent per bloem bij 800 ppm CO₂ vergeleken met 400 ppm CO₂ (Albertine et al., 2014). Vergelijkbare resultaten zijn gevonden voor alsemambrosia, waarbij een verdubbeling van de CO₂-concentratie (700 ppm versus 350 ppm) zorgde voor een toename van pollenproductie van ongeveer 60 procent (Wayne et al., 2002).

Hogere CO₂-concentraties kunnen ook de allergeniciteit van pollen versterken. Onderzoek van El Kelish et al. (2014) vond een verhoging van alsemambrosia allergenen op eiwit- en transcriptieniveau bij planten gekweekt onder verhoogde CO₂-concentraties (700 ppm versus 380 ppm) en droogtestress. Onderzoek van Rauer et al. (2020) met alsemambrosia gekweekt onder dezelfde CO₂-concentraties als El Kelish et al. (2014) vond dat de pollen van planten gekweekt onder hogere CO₂-concentraties (700 ppm) een sterkere allergische ontstekingsreactie uitlokte als planten gekweekt onder lagere CO₂-concentraties (380 ppm), zowel in humane cellen (in vitro) als in een muismodel voor allergische aandoeningen (in vivo).

Verandering in leefgebied van planten

Omdat de gemiddelde temperatuur in Nederland stijgt, breidt het leefgebied van diverse warmteminnende zuidelijke boom- en plantensoorten uit naar het noorden. Hierdoor krijgt Nederland te maken met nieuwe soorten die allergene pollen produceren, zoals de olijfboom en de alsemambrosia-plant. Omdat alsemambrosia laat in het seizoen bloeit, nadat de inheemse allergene pollen uit de lucht verdwenen zijn, zal vestiging van deze soort het pollenseizoen verlengen (de Weger et al., 2009). Alsemambrosia wordt sinds het begin van de eeuw steeds vaker en in grotere aantallen in ons land aangetroffen en duikt in nieuwe gebieden op. De plant wordt vooral in stedelijke gebieden herhaaldelijk aangetroffen (Huynen et al., 2019). Doormaal et al. (2025) heeft een analyse gedaan naar de verspreiding van alsemambrosia in de periode 1975 t/m 2024. Uit de analyse blijkt dat vanaf 2005 het aantal kilometerhokken met waarnemingen van alsemambrosia sterk toenam tot 2023, zie Figuur 8.1. In 2024 is er een lichte daling in aantal kilometerhokken met waarnemingen geweest. Maar het aantal grote populaties - over het algemeen populaties in het openbaar groen en agrarische gebieden - is toegenomen (Doormaal et al., 2025).

Figuur 8.1 Aantal kilometerhokken per jaar (y-as) waarin alsemambrosia is waargenomen (x-as) (Doormaal et al., 2025).

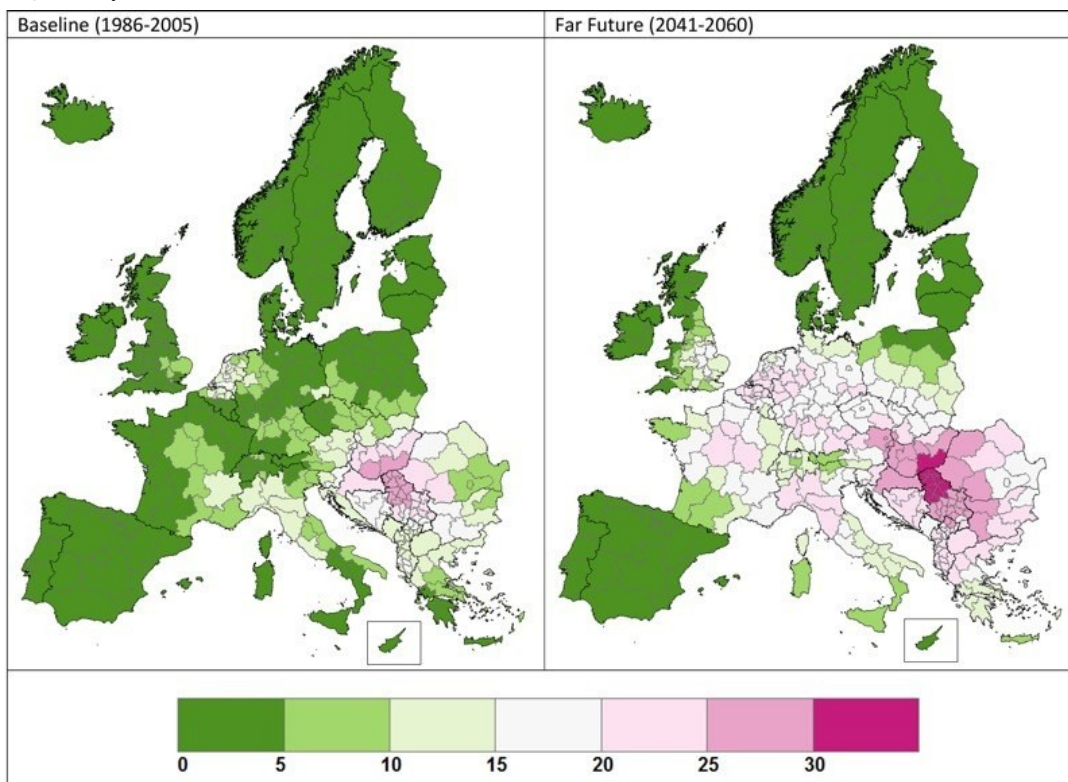


Lake et al. (2017) hebben gekeken naar de verwachte gezondheidsrisico's door een verandering in de verspreiding van alsemambrosia door klimaatverandering bij twee IPCC-scenario's (RCP4.5 en RCP8.5. Deze scenario's zijn respectievelijk vergelijkbaar met het KNMI-klimaatscenario bij een matige CO₂-uitstoot (M) en bij een hoge CO₂-uitstoot (H)). De verwachting is dat ambrosia gaat uitbreiden in Europa en dat bijna twee keer zoveel mensen gevoelig worden voor de ambrosiapollen in 2041-2060 bij IPCC-scenario RCP4.5, zie Figuur 8.2. 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 Lake et al. (2017) berekend dat ongeveer 3,5 miljoen gevoelig zullen zijn voor ambrosiapollen in 2041-2060, ten opzichte van 2,2 miljoen tijdens het onderzoek. Hierbij is rekening gehouden met ontwikkelingen van de bevolkingsomvang. Lake et al. (2017) verwachten dat in de toekomst de voor ambrosiapollen gevoelige mensen hevigere hooikoortsklachten zullen ervaren vanwege zowel de toegenomen concentraties ambrosiapollen, als de langere duur van het ambrosiapollenseizoen. Het seizoen kan daarbij in veel Europese landen tot oktober duren.

Een recentere schatting van het aantal mensen in Nederland dat een gevoeligheid voor ambrosiapollen hebben 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 (ongeveer 3%) een klinisch relevante gevoeligheid voor ambrosiapollen hebben. Wanneer de projecties uit Lake et al. (2017) worden toegepast op de schatting van Schaffner et al. (2020) zouden ongeveer 875.000 Nederlanders (ongeveer 5%) in 2050 een klinisch relevante gevoeligheid voor ambrosiapollen hebben bij het IPCC-scenario RCP4.5. Dit scenario

is vergelijkbaar met het KNMI'23- klimaatscenario bij een matige CO₂-uitstoot (M) (Dorland et al., 2023).

Figuur 8.2 Gemodelleerd percentage van de bevolking dat gevoelig is voor ambrosiapollen in het basisscenario (links) en in de toekomst, uitgaande van een gematigd uitstootscenario voor broeikasgassen (RCP4.5; rechts). (Lake et al., 2017).



Thunderstorm-astma

Thunderstorm-astma is een fenomeen dat vooral in het Verenigd Koninkrijk en Australië is gedocumenteerd en onderzocht (Thien et al., 2018). Ook in enkele andere landen zijn er gevallen beschreven (onder andere Italië, VS, Canada, China). Bij warm weer worden veel allergene graspollen gevormd. Als daarop heftig onweer volgt, kan dat gepaard gaan met meer en hevigere astma-aanvallen vanwege het uiteenvallen van de pollen in kleinere deeltjes die diep in de longen kunnen worden ingeademd. In het ergste geval tot nu beschreven, zijn in 2016 meer dan 3.000 patiënten na een hevige onweersbui met astma-aanvallen op de spoedeisende hulp in Melbourne, Australië beland. Tien mensen zijn overleden (Thien et al., 2018). Het is nog onzeker of gevallen van *Thunderstorm-astma* al in Nederland zijn voorgekomen.

Door klimaatverandering is het niet ondenkbaar dat dit fenomeen vaker gaat voorkomen. Zware buien komen vaker voor in een warmer klimaat in alle seizoenen, en over het algemeen nemen de zwaarste buien het meest toe (Dorland et al., 2023). Informatie over toekomstige veranderingen in onweer in Nederland is echter nog zeer beperkt.

8.4 Gevoeligheid

Hooikoorts is een IgE-gemedieerde ontstekingsreactie door een overgevoeligheid voor pollenallergenen. Het is een seizoensgebonden vorm van allergische rhinitis. Het kan gepaard gaan met veel klachten en kan een grote invloed hebben op de kwaliteit van leven (NHG, 2018). Uit huisartsgegevens blijkt dat het aantal nieuwe gevallen van allergische rhinitis (waaronder hooikoorts) toeneemt tot een leeftijd van tussen de 19 en 24 jaar. Daarna neemt het aantal nieuwe gevallen langzaam met de leeftijd af (NHG, 2018). Allergische rhinitis komt iets meer voor bij vrouwen dan bij mannen (NHG, 2018).

Genetische factoren spelen een belangrijke rol bij het bepalen of iemand gevoelig is voor hooikoorts. Een familiegeschiedenis van atopische aandoeningen (zoals eczeem, hooikoorts en astma) is de sterkste risicofactor voor het ontwikkelen van allergische symptomen. Het hebben van andere allergieën, astma, allergische dermatitis of eczeem kan het risico op het ontwikkelen van hooikoorts vergroten.

Hoge en herhaalde blootstelling aan allergene pollen verhoogt de kans op sensibilisatie, vooral in de kindertijd. Omgevingsfactoren zoals blootstelling aan luchtverontreiniging, tabaksrook en andere irriterende stoffen kunnen iemand ook meer gevoelig maken voor hooikoorts. Dit kan te wijten zijn aan schade aan de neusholtes en de luchtwegen, waardoor allergenen gemakkelijker het lichaam kunnen binnendringen en een allergische reactie kunnen veroorzaken. Zie ook 8.1: *Secundaire effecten: Synergetische effecten van gecombineerde blootstelling aan luchtverontreiniging, pollen en hitte*

Uit onderzoek blijkt dat er ook beschermende omgevings- en levensstijlfactoren zijn die vooral in de vroege kinderjaren en adolescentie een rol spelen, bijvoorbeeld opgroeien in een landelijke omgeving met contact met boerderijdieren, en vroeg contact met broers, zussen of leeftijdsgenoten. Deze omgevingsfactoren bevorderen de vorming van een zeer diverse microbiota op en in het lichaam, met name de huid, het slijmvlies van de luchtwegen, en het maag-darmkanaal, dat een beschermende rol kan spelen (Gilles et al., 2018, Murrison et al., 2019).

8.5 Impact

Hooikoorts: klachten en ziektelast
Hooikoortspatiënten kunnen gedurende een periode van een aantal jaren in hun leven lichte tot ernstige hooikoortsklachten ervaren¹⁵. Deze klachten ontstaan als in de lucht pollen voorkomen waarvoor men gevoelig is. Hooikoortspatiënten kunnen allergisch zijn voor één soort pollen, maar vaak zijn ze allergisch voor meerdere pollensoorten, waardoor de klachten langere perioden kunnen aanhouden. Uit een vragenlijstonderzoek van Houweling et al. (2021) blijkt dat 38 procent van de respondenten per jaar één tot drie maanden klachten ervaart en 45 procent meer dan drie maanden.

De belangrijkste verschijnselen bij hooikoorts zijn: jeukende of kriebelende neus en neus-keelholte, niezen, verstopte neus, tranende

¹⁵ <https://www.lumc.nl/patientenzorg/specialistische-centra/hart-long-centrum/voor-patienten/pollen-en-hooikoorts/>

ogen (last van veel licht) en soms lichte benauwdheid¹⁶. Naast deze directe gezondheidseffecten kan hooikoorts leiden tot een slechtere nachtrust, concentratieproblemen en slechter functioneren. Dit kan leiden tot ziekteverzuim, verlies van arbeidsproductiviteit (Hellgren et al., 2010; Hoz Caballer, de la et al., 2013) en verslechterde schoolprestaties (Walker et al., 2007; Blaiss et al., 2018). Onderzoek naar graspollenallergie in enkele Europese landen (waaronder Nederland) vond gemiddeld bijna vier uur ziekteverzuim per patiënt tijdens het pollenseizoen (Bachert et al., 2007). Uit het vragenlijstonderzoek van Houweling et al. (2021) is opgehaald dat hooikoortsklachten in 52 procent van de gevallen worden ervaren als redelijk beïnvloedend op het dagelijks leven. 20 procent geeft aan in hoge mate beïnvloedend en 5 procent in zeer hoge mate.

De ziektelast door hooikoorts in Nederland is niet goed bekend. Maar een deel van de hooikoortspatiënten gaat met zijn klachten naar de huisarts en krijgt een recept mee. Vaak gaan patiënten niet naar de huisarts en kopen ze zelf hun medicatie, omdat hooikoortsmedicatie vrij verkrijgbaar is. Mensen kunnen hun medicatie kopen zonder recept. Ook weten sommige mensen niet dat hun verschijnselen hooikoorts zijn. Hierdoor is deze aandoening onder-geïdiagnosticeerd en onder-gerapporteerd (Maurer et al., 2007, NHG, 2018).

Vragenlijstonderzoek kan een beeld geven van de prevalentie van hooikoorts. Mortimer et al. (2022) en García-Marcos et al. (2022) hebben op deze wijze de prevalentie van hooikoorts onderzocht bij respectievelijk volwassenen in 17 landen, en kinderen en adolescenten in 25 landen. Bij volwassenen was het antwoord op de vraag "Heeft u ooit hooikoorts gehad?" bevestigend beantwoord door 30,9 procent van de ondervraagden (n=30.556) in de onderzoeksperiode 2015-2020 in de als hoge inkomenslanden geïnclassificeerde landen (Mortimer et al., 2022). Bij kinderen werd dezelfde vraag bevestigend beantwoord door 15,2 procent van de ondervraagden (n=23.040), en bij adolescenten door 19,6 procent van de ondervraagden (n=35.459) in de onderzoeksperiode 2015-2020 in de landen geïnclassificeerd als hoge inkomenslanden (García-Marcos et al., 2022). Dit geeft een indruk van de mogelijke prevalentie in hoge inkomenslanden, zoals Nederland. Kanttekening bij dit onderzoek is dat de antwoorden van de ondervraagden niet bevestigd werden door bijvoorbeeld een huidpriktest. Ook kan hooikoorts weer overgaan, waardoor de vraag of men ooit hooikoorts heeft gehad een overschatting geeft van het aantal patiënten op dit moment (de prevalentie).

In een onderzoek op een openbare beurs in Gent (n=2.320) naar de prevalentie van allergische sensibilisatie (door middel van een huidpriktest) en symptomen van allergische rhinitis werd voor graspollen een prevalentie gevonden van 25,6 procent en voor boompollen een prevalentie van 13,2 procent (Blomme et al. 2013). Een klinische diagnose van allergische rhinitis was aanwezig bij 30,9 procent van de onderzochte mensen. Kanttekening bij dit onderzoek is dat er wellicht

¹⁶ <https://www.lumc.nl/patientenzorg/specialistische-centra/hart-long-centrum/voor-patienten/pollen-en-hooikoorts/>

selectiebias is opgetreden, omdat bezoekers zich ter plekke konden laten onderzoeken.

Op basis van dit onderzoek en dat van Mortimer et al. (2022) schatten we de prevalentie van hooikoorts bij volwassenen in Nederland op 20-25 procent.

In 2023 gebruikte ongeveer 8 procent van de Nederlandse bevolking voorgeschreven medicatie tegen allergische rhinitis (antihistaminica en neussprays¹⁷). Omgerekend zijn dit rond de 1,43 miljoen mensen die voorgeschreven medicatie gebruiken voor deze klachten. Het daadwerkelijke aantal mensen dat medicatie neemt, is niet bekend, omdat veel mensen vrij verkrijgbare medicijnen kopen.

Impact van klimaatverandering op hooikoorts

Door klimaatverandering begint het pollenseizoen eerder, wordt het pollenseizoen langer en nemen de pollenconcentraties van sommige soorten toe (zie Blootstelling). Ook kan de allergeniciteit van pollen toenemen. Hierdoor ervaren hooikoortspatiënten naar verwachting gedurende een langere periode meer en heviger klachten. Meer mensen kunnen ook gesensibiliseerd raken, vooral voor pollen van allergene soorten die nu beperkt voorkomen, maar door klimaatverandering zullen uitbreiden, zoals alsemambrosia.

Een recent onderzoek in Seoel, Korea vond een positieve correlatie tussen de duur van het pollenseizoen en veranderingen in sensibilisatie voor belangrijke boompollen bij kinderen tussen 1998 en 2019 (Lee et al., 2021). De duur van het boompollenseizoen steeg van 98 dagen in 1998 tot 140 dagen in 2019. Zowel de sensibilisatiegraad voor boompollen als de prevalentie van boompollenallergie nam toe bij allergische kinderen (3-18 jaar). Een markante bevinding is dat steeds jongere kinderen (<10 jaar) gesensibiliseerd raakten. Ook was er een positieve correlatie tussen veranderingen in sensibilisatie en stijgende temperatuur gedurende de studieperiode. De onderzoekers verwachten dat door klimaatverandering deze trend van een langere duur van het boompollenseizoen en toenemende sensibilisatie van kinderen zal doorzetten.

Er is wereldwijd maar één onderzoek bekend naar de gevolgen van toegenomen temperaturen door klimaatverandering op hooikoortsconsulten bij de huisarts. Dit onderzoek is in Nederland uitgevoerd in drie huisartspraktijken over een periode van 25 jaar (Schreurs et al., 2022). Voor elk jaar werd een voor hun onderzoek gedefinieerde piekperiode geïdentificeerd, waarbinnen een aanzienlijke toename van hooikoortsconsulten plaatsvond. De duur van deze piekperiode nam gedurende de onderzoeksperiode met gemiddeld 1-3 dagen per jaar toe. Ook was er een statistisch significant verband tussen de luchttemperatuur tussen februari en juli en de duur van de piekperiode. Schreurs et al. (2022) hebben de gemiddelde start en duur van de piekperioden tussen 2015-2019 vergeleken met de gemiddelde start en duur van de piekperioden tussen 1995-1999. Tussen 2015-2019 was de gemiddelde start van de piekperiode vier weken eerder dan tussen 1995-1999. De piekperioden tussen 2015-2019 duurden

¹⁷ [StatLine - Personen met verstrekte geneesmiddelen; leeftijd en geslacht](#)

gemiddeld 24 dagen langer dan tussen 1995-1999 (122 dagen vergeleken met 98 dagen). De onderzoekers vinden het aannemelijk dat het vroeger en langer worden van het hooikoortsseizoen door klimaatverandering veroorzaakt wordt (Schreurs et al., 2022). Tijdens deze studie steeg het gemiddelde aantal hooikoortsconsulten per patiëntjaar van 2,0 gedurende de eerste vijf jaar (1995-1999) naar 2,2 gedurende de laatste vijf jaar (2015-2019). Deze toename in consulten kan duiden op een verergering van hooikoortsklachten en wordt als klinisch relevant beschouwd (Schreurs et al., 2022).

Neumann et al. (2019) hebben de impact van klimaatverandering op jaarlijkse bezoeken aan de spoedeisende hulp voor pollen gerelateerde astma-aanvallen in de VS geschat. Dit hebben ze gedaan voor twee IPCC-klimaatscenario's: RCP4.5, vergelijkbaar met het KNMI'23-klimaatscenario bij een matige CO₂-uitstoot (M) en RCP8.5, vergelijkbaar met het KNMI'23-klimaatscenario bij een hoge CO₂-uitstoot (H). De veranderingen in de lengte van het pollenseizoen en de pollenconcentraties van de onderzochte boom- en grassoorten leiden tot een toename van de jaarlijkse bezoeken aan de spoedeisende hulp van 8 procent onder scenario RCP4.5 en 14 procent onder scenario RCP8.5 in 2090 ten opzichte van 2010 (Neumann et al., 2019). Vertaald naar de Nederlandse situatie kan dit betekenen dat onder de KNMI-H-scenario (onderdeel van het SRV-scenario; vergelijkbaar met RCP8.5) een toename plaatsvindt in spoedeisende hulpbezoeken voor pollen-gerelateerde astma-aanvallen.

Eindimpact mens en cultuur

Een hooikoortspatiënt kan milde klachten hebben, maar ook ernstige klachten die een grote impact hebben op zijn dagelijks functioneren en die zijn kwaliteit van leven aanzienlijk kan verminderen (Muzalyova et al., 2019; Meltzer, 2001). Bij de eindimpact beoordeling wordt zowel van milde als ernstige klachten uitgegaan.

Geschat wordt dat 20-25 procent van de Nederlandse populatie hooikoorts heeft, zo'n 3,6-4,5 miljoen mensen. Het pollenseizoen start eerder en wordt langer. Cijfers uit de eerdergenoemde studie (Schreurs et al., 2022) laten zien dat het aantal huisartsconsulten voor hooikoorts toeneemt. Klimaatverandering speelt hierin een rol. Ook al is niet precies duidelijk hoe groot die rol is, het aantal getroffen is hoog. De eindimpact op de mens voor gezondheidsklachten door een toename van hooikoorts door klimaatverandering wordt geschat op hoog (> 100.000 getroffen mensen).

In het BRV-scenario wordt verwacht dat de duur en hevigheid van de hooikoortsklachten licht zal toenemen. In het SRV-scenario verwachten we dat de duur van hooikoortsklachten zal toenemen én dat de intensiteit van de klachten sterk zal toenemen. Vooral in het SRV-scenario neemt het aantal patiënten waarschijnlijk toe vanwege hogere pollenconcentraties en de introductie van nieuwe allergene soorten door klimaatverandering.

Eindimpact economie

Naast fysieke klachten leidt hooikoorts tot ziekteverzuim en verminderde arbeidsproductiviteit, waarbij deze indirecte kosten hoger blijken te zijn

dan de directe kosten van medische zorg. In een Spaanse steekproef van patiënten bij allergieklinieken met hooikoorts waren de gemiddelde totale kosten 1.485 euro per jaar, waarvan 1.036 euro indirecte kosten gerelateerd aan ziekteverzuim en verminderde arbeidsproductiviteit (Colas et al., 2017). In een Zweeds onderzoek bij een aselechte steekproef van de Zweedse bevolking tussen 18-65 jaar zijn de directe kosten (medicatie en contacten met de gezondheidszorg) en indirecte kosten (ziekteverzuim en verminderde arbeidsproductiviteit) van allergische rhinitis geschat op 961 euro per persoon per jaar (Cardell et al., 2016), waarbij de indirecte kosten 751 euro per persoon per jaar waren. Verminderde arbeidsproductiviteit vertegenwoordigde 70 procent van de totale kosten.

Avdeeva et al. (2020) heeft de directe en indirecte kosten onderzocht van chronische allergische en niet-allergische rhinitis in Nederland. Bij patiënten met chronische allergische rhinitis worden de gemiddelde kosten per persoon per jaar geschat op 4.827 euro, waarbij 3.681 euro door indirecte kosten (ziekteverzuim en verminderde arbeidsproductiviteit). Net als bij het onderzoek van Cardell et al. (2016), vertegenwoordigde verminderde arbeidsproductiviteit het grootste deel van de totale kosten (2.429 euro). In dit onderzoek is niet specifiek naar de kosten van hooikoorts (een seizoengebonden allergie) gekeken, maar hooikoortspatiënten kunnen ook allergisch zijn voor meerdere, niet-seizoengebonden allergenen, zoals huisstofmijten, waardoor ze chronische allergische rhinitis hebben.

Op basis van deze schattingen, worden de kosten van ziekteverzuim en verminderde arbeidsproductiviteit door hooikoorts in Nederland geschat op ongeveer 1.000 euro per persoon per jaar. In 2023 behoorden 9,7 miljoen mensen in Nederland tot de werkzame beroepsbevolking¹⁸. Als volgens schattingen 20-25 procent aan hooikoorts lijdt, met indirecte kosten van 1.000 euro per persoon per jaar, dan betekent dit een economisch verlies van ongeveer 1,94-2,42 miljard euro per jaar.

Het aandeel van klimaatverandering op het aantal hooikoortspatiënten is nog niet goed onderzocht. De schatting is dat het eindrisico op de economie in de categorie 'Midden' valt (100 miljoen euro–1 miljard euro), maar dat meer onderzoek kan leiden dat het op 'hoog' uitkomt (> 1 miljard euro).

De verwachting is dat het productiviteitsverlies door hooikoortsklachten groter is in het SRV-scenario dan in het risicobeperkend scenario, door een grotere toename van pollenblootstelling en de introductie van nieuwe allergenen soorten. Het maken van een exacte inschatting hiervan is echter niet mogelijk.

Waarschijnlijkheid

De effecten van klimaatverandering op hooikoorts zijn al zichtbaar en nemen waarschijnlijk toe. Hooikoorts komt elk jaar voor. Het pollenseizoen begint eerder en wordt langer en waarschijnlijk heviger. Hierdoor ervaren hooikoortspatiënten naar verwachting gedurende een langere periode meer en heviger klachten.

¹⁸ <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/dashboard-beroepsbevolking/werkzaam>

9 Aanvullende thema's

Naast de al besproken gezondheidsthema's gaan we in dit hoofdstuk in op drie aanvullende onderwerpen: mentale gezondheid, zorg, en gedrag en perceptie. Deze thema's zijn van groot belang om de effecten van klimaatverandering op zowel de gezondheid als de samenleving beter te begrijpen. Mentale gezondheid en zorg worden beide beïnvloed door klimaatverandering, maar het is op basis van de huidige literatuur vaak lastig om de omvang en attributie van deze effecten goed in te schatten. Het thema Gedrag en perceptie bevindt zich op het snijvlak van gezondheidseffecten en de haalbaarheid van aanpassing aan klimaatverandering. In dit hoofdstuk lichten we deze drie thema's verder toe.

9.1 Mentale gezondheid

RIVM-experts: I. Ramon, M. de Vetten, redactie: I. Ramon

Samenvattende punten:

- *Meer mensen maken extreme weersgebeurtenissen mee, zoals overstromingen en hittegolven. Dat kan leiden tot mentale problemen en zorgen (ook door verlies van werk en inkomen, en niet of moeilijk vergoede schade door weersomstandigheden). Op basis van internationaal onderzoek is het aannemelijk dat het aantal mensen met mentale gezondheidsklachten door klimaatverandering zal toenemen.*
- *Al bestaande mentale gezondheidsklachten kunnen door klimaatverandering worden versterkt.*
- *De verslechterende mentale gezondheid door klimaatverandering wordt gevoed door een samenspel van factoren: directe ervaringen met extreem weer en natuurrampen, het verlies van bestaanszekerheid en vertrouwde leefomgeving en de druk van fysieke gezondheidsproblemen. Dit geheel roept gevoelens op van angst, verdriet, machteloosheid en verlies, verzwakt de mentale veerkracht, verergert bestaande klachten en leidt tot een stijging van psychiatrische opnames en suïdecijfers.*

Klimaatverandering beïnvloedt de mentale gezondheid van de bevolking via meerdere directe en indirecte wegen (Charlson et al., 2021). De omvang van deze impact hangt af van uiteenlopende, vaak samenhangende en elkaar versterkende factoren. Hierdoor is het ingewikkeld te voorspellen hoeveel mensen in de toekomst mentale klachten door klimaatverandering ontwikkelen. Dit hoofdstuk bespreekt op welke manieren klimaatverandering de mentale gezondheid kan beïnvloeden, welke groepen kwetsbaar zijn, welke adaptatiemaatregelen mogelijk zijn en welke kennis nodig is om de impact beter in kaart te brengen.

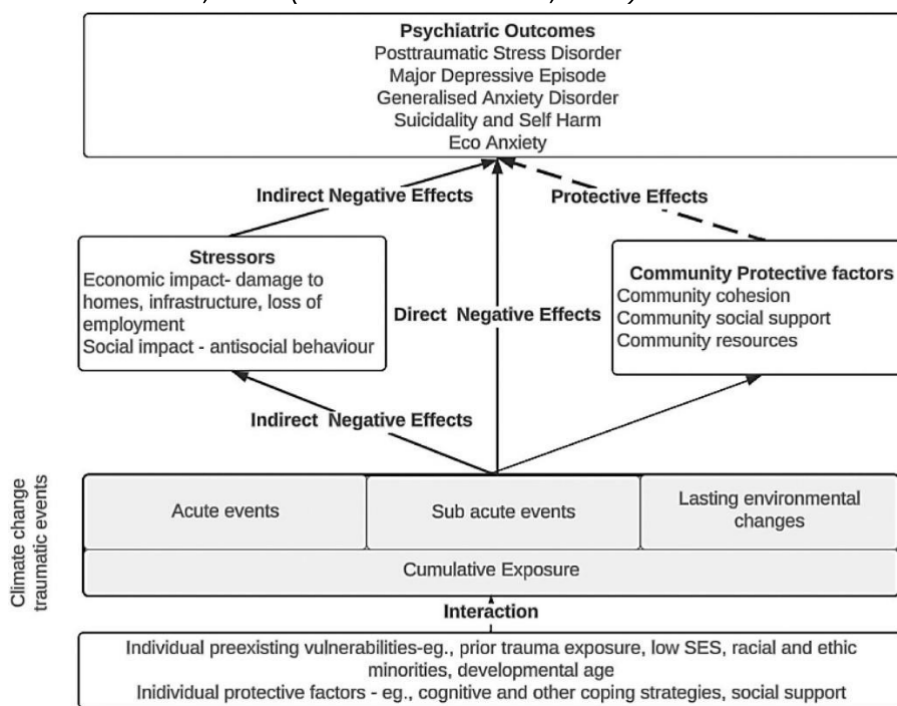
9.1.1 *Klimaatdreiging*

Op basis van internationaal onderzoek, en rekening houdend met de verwachte klimaatverandering in Nederland, is het aannemelijk dat het aantal mensen met mentale gezondheidsproblemen aanzienlijk zal toenemen, zowel bij een beperkt als een SRV-contextscenario. Er zijn verschillende gebeurtenissen gerelateerd aan klimaatverandering die de mentale gezondheid kunnen beïnvloeden, waaronder de eerder benoemde (sub)acute klimaatrampen en geleidelijke klimaatverandering. Hiernaast maken sommige mensen meerdere klimaatrampen mee, wat de impact op de mentale gezondheid vergroot. Zowel de ernst van de klimaatramp als de toenemende angst voor existentiële bedreigingen voor de gezondheid en het welzijn van toekomstige generaties zijn hierbij van invloed. Deze toename wordt veroorzaakt door toenemende (overlappende) blootstelling aan acute klimaatrampen die dagen aanhouden (zoals bosbranden, orkanen en overstromingen), subacute klimaatrampen die maandenlang duren (zoals droogte en hittegolven) en door geleidelijke blijvende veranderingen van het klimaat (zoals de zeespiegelstijging; O'Donnell & Palinkas, 2024).

Tot op heden zijn in Nederland de gevolgen van klimaatverandering voornamelijk voelbaar in de vorm van geleidelijke klimaatverandering. Denk hierbij aan toenemende droogte en het stijgen van de zeespiegel. Hiernaast is het te verwachten dat we in Nederland te maken gaan krijgen met een groter aantal dagen waarop de maximumtemperatuur 30 graden Celsius of hoger is, hevige regenval met wateroverlast tot gevolg, afname van de kwaliteit van het oppervlaktewater en achteruitgang van de biodiversiteit (Schroor, 2024).

Figuur 9.1 geeft overzicht van de manieren waarop klimaatverandering de mentale gezondheid van de bevolking beïnvloedt, via beschermende, directe en indirecte effecten. In het overzicht staan factoren die indirect van invloed zijn op de mate waarin men last kan krijgen van mentale problemen door klimaatverandering. Hieronder vallen economische en sociale stressoren die een negatieve impact hebben, maar ook sociale cohesie, steun en middelen die beschermend werken tegen de negatieve mentale gezondheidsgevolgen van klimaatverandering. Bestaande kwetsbaarheden, zoals eerdere blootstelling aan trauma, het hebben van een lage sociaaleconomische status, het behoren tot etnische minderheden en de ontwikkelingsfase waarin iemand zich bevindt, kunnen de impact van klimaatverandering op de mentale gezondheid vergroten. Anderzijds kunnen individuen en gemeenschappen over eigenschappen bezitten die hen helpen om beter met deze stress om te gaan. Denk hierbij aan (cognitieve) coping strategieën, sociale samenhang en steun (O'Donnell & Palinkas, 2024).

Figuur 9.1 Mentale gezondheidseffecten van klimaatverandering, naar model van O' Donnell et al., 2024 (O'Donnell & Palinkas, 2024).



Primaire effecten

Mensen die door extreem weer (zoals orkanen, overstromingen of bosbranden) traumatische gebeurtenissen meemaken, hebben een grotere kans op psychische aandoeningen zoals depressie, angststoornissen en vooral posttraumatische stressstoornis (PTSS; Walinski et al., 2023). Ook mensen die zich meer bewust zijn van klimaatverandering, of zich meer zorgen erover maken, hebben vaker last van psychische klachten, zoals depressie, (klimaat)angst en soms zelfs suïcidale gedachten. Ook stress, aanpassingsstoornis, middelengebruik (zoals alcohol of drugs) en somberheid worden hiermee in verband gebracht. Dit heeft invloed op het dagelijks leven: mensen voelen bijvoorbeeld verlies of machteloosheid, wat kan bijdragen aan somberheid en gedachten aan zelfdoding (Gianfredi et al., 2024).

Secundaire effecten

Hitte zorgt ervoor dat mensen met psychische klachten vaker ziek worden, of zelfs overlijden. Ook leidt dit tot meer spoedgevallen op de psychiatrische eerste hulp. Hiernaast worden langdurige problemen zoals droogte, onzekerheid over voedsel en gedwongen migratie door klimaatverandering geassocieerd met het hebben van psychische problemen (Walinski et al., 2023). Gevolgen voor de mentale gezondheid kunnen over generaties doorwerken als ouders (tijdens de zwangerschap) zijn blootgesteld aan de ingrijpende gevolgen van klimaatverandering (Barkin et al., 2024; Raker et al., 2019). In 2020 gaf 31 procent van de Nederlanders aan zich veel zorgen te maken over de gevolgen van de klimaatverandering voor toekomstige generaties. 45 procent maakte zich enige zorgen (Kloosterman, 2021). Wanneer mensen zich veel zorgen maken over klimaatverandering, heeft dit een

negatieve impact op weerbaarheid, waardoor ze minder goed met tegenslagen kunnen omgaan (Gianfredi et al., 2024).

9.1.2 *Adaptatiemaatregelen*

In het geval van een ramp in Nederland heeft de GGD samen met de GHOR de wettelijke taak om de psychosociale hulp (PSH) te bevorderen. Zowel in de acute fase van een ramp als in de nāfase ligt de focus op de ondersteuning en zorg op het psychisch welbevinden en de gezondheid van getroffenē. Dit gebeurt op zowel het collectieve als individuele niveau. De PSH-doelen omvatten het 1) bijdragen aan gevoelens van controle, veiligheid, geruststelling, zelfredzaamheid, sociale verbondenheid en hoop; 2) tijdig waarnemen van hulpbehoeftes en hier blijvend op acteren; en: 3) identificeren van risicofactoren (Steen et al., 2022).

Hoewel er weinig bekend is over PSH in het kader van klimaatverandering, biedt het wel mogelijkheden om de PSH-doelstellingen beter af te stemmen op de klimaatcontext en zo klimaatadaptatie te bevorderen. Beschermende factoren die de veerkracht van de mentale gezondheid bevorderen bij (sub)acute klimaatrampen en geleidelijke klimaatverandering, omvatten gemeenschapsstructuren en sociale steun van dierbaren, maar ook individuele factoren als psychologische veerkracht. Sociale steun werkt beschermend via het vergroten van zelfcompassie en posttraumatische groei na trauma. Ook neemt sociaal gedrag toe door sociale steun. Wat betreft psychosociale factoren houdt het vertrouwen hebben in de toekomst, efficiēte coping strategieēn en acceptatie van de situatie verband met herstel van posttraumatische stress (O'Donnell & Palinkas, 2024). Bij het ontwikkelen van passende interventies is het daarom belangrijk om de getroffen gemeenschappen actief te betrekken bij het beoordelen van hun behoeften en het versterken van hun veerkracht (Reuben et al., 2022).

Ook sociale cohesie blijkt hierin een belangrijke rol te spelen. Het aangaan van verbinding en het vergroten van onderling vertrouwen, maakt het mogelijk om van elkaar te leren en elkaar te helpen bij klimaatrampen. Hierbij is het belangrijk om ruimte te maken voor mensen om elkaar te ontmoeten. Een buurt met sterke sociale cohesie herstelt sneller na een ramp. Andersom kunnen de gevolgen van klimaatverandering effect hebben op de sociale cohesie. Verwarring door het handelen van overheden kan het vertrouwen hierin laten afnemen en mensen juist tegen elkaar opzetten, in plaats van verenigen (WRR, 2025).

Beleidsmakers en instanties moeten strategieēn ontwikkelen om de mentale gezondheid van getroffenē te beschermen tegen de negatieve gevolgen van klimaatverandering (Reuben et al., 2022). Een adaptief klimaatbestuur kan hierin houvast bieden, door systematisch en doelgericht nieuwe kennis te produceren en te beoordelen, en op basis hiervan besluiten te nemen voor toekomstige klimaatplannen, of deze bij te stellen (WRR, 2023). Hierbij moet regelgeving rekening houden met de gecombineerde impact van milieu- en sociale stressoren en moet de mentale gezondheidszorg opgenomen worden in de rampenaanpak (Reuben et al., 2022). Voldoende financiering voor zowel mentale

gezondheidszorg als de aanpak van de mentale gezondheidseffecten van klimaatverandering is hierbij van belang (World Health Organisation, 2022). Verder moet risicocommunicatie helder, tijdig en toegankelijk zijn, met aandacht voor de mentale gevolgen van een klimaatramp (Reuben et al., 2022).

9.1.3 *Blootstelling*

De blootstelling aan negatieve mentale gezondheidseffecten van klimaatverandering werkt naar verwachting via meerdere directe en indirecte wegen (Charlson et al., 2021) en verschilt voor (sub)acute klimaatrampen en geleidelijke blijvende klimaatverandering. Directe wegen omvatten blootstelling aan traumatische gebeurtenissen, zoals bosbranden en andere extreme weersomstandigheden. Indirecte wegen werken voor een groot deel via een reeks sociale, politieke en economische determinanten, zoals armoede, werkloosheid en huisvesting (Charlson et al., 2021).

Klimaatrampen worden geassocieerd met mentale gezondheidsproblemen. In geval van acute klimaatrampen ondervindt 25 tot 50 procent van de mensen die worden blootgesteld nadelige gevolgen voor de mentale gezondheid (Palinkas & Wong, 2020), meestal angst, depressie of PTSS. Dit is het geval voor natuurbranden (Hayes et al., 2022; Newman Thacker et al., 2025; Walinski et al., 2023; Zhao et al., 2022), overstromingen (Hayes, 2022; Romanello et al., 2024; Walinski et al., 2023), extreme hitte/temperaturen (Hayes et al., 2022; Thompson et al., 2023; Walinski et al., 2023; Zhao et al., 2022) en extreme stormen (Hayes et al., 2022; Romanello et al., 2024; Walinski et al., 2023). Deze nadelige effecten kunnen maanden of zelfs jaren aanhouden (Clayton & Brown, 2024; Palinkas & Wong, 2020; Raker et al., 2019). Hiernaast kunnen mensen die indirect worden blootgesteld aan klimaatrampen te maken krijgen met plaatsvervangend trauma, secundaire stress en/of compassiemoeheid (vermoeidheid die mensen ervaren als gevolg van langdurige blootstelling aan andermans leed, waardoor het moeilijker wordt om nog empathie of medeleven te voelen) voor de directe getroffen (Hayes et al., 2022). Naast de directe effecten van blootstelling aan trauma en fysiek gevaar door acute klimaatrampen, dragen indirecte effecten van de blootstelling, zoals economische factoren (bijvoorbeeld schade aan huizen en infrastructuur, bedreigingen voor het levensonderhoud en de werkgelegenheid) en de daarmee gepaard gaande financiële stressoren, bij aan negatieve mentale gezondheidseffecten van klimaatverandering (O'Donnell & Palinkas, 2024).

Voedsel- en wateronzekerheid, door stijgende temperaturen, veranderende neerslagpatronen, extreem weer, droogte en zeespiegelstijging (denk hierbij aan overstromingen van kusten), worden geassocieerd met stress, angst en depressie en sociale isolatie. Ook wordt dit in verband gebracht met verhoogde agressie en zelfmoord (Hayes et al., 2022). Daarnaast kunnen de mentale gevolgen van geleidelijke klimaatverandering bestaan uit verstoringen van het psychisch welbevinden en veerkracht, het gevoel van zingeving en het ervaren van gebrek aan cohesie in de gemeenschap. Dit alles kan leiden tot stress, een hoger aantal ziekenhuisopnames, meer zelfmoordgedachten of zelfmoord, en meer middelenmisbruik, geweld en

agressie. Studies tonen ook aan dat mensen stress kunnen ervaren over klimaatverandering zelf, wat resulteert in meer angst, verdriet, bezorgdheid, woede, hopeloosheid en angst (Hayes et al., 2022).

Sinds 2007 is de prevalentie van het aantal psychische aandoeningen toegenomen in Nederland. Vooral bij jongvolwassenen en mensen die in de stad wonen, was deze stijging sterker (Ten Have et al., 2023). Door klimaatverandering zullen vooral Nederlandse steden in 2050 en 2100 in de zomer sterk opwarmen. Ook worden er nationaal meer hittegolven, droogte, natuurbranden, nattere winters en drogere zomers verwacht. Dit heeft lagere landbouwopbrengsten, verstoringen in de voedselketen, meer zonuren en een grotere kans op overstromingen door zeespiegelstijging tot gevolg (KNMI, 2023). Gebaseerd op internationale literatuur zal de huidige toename van psychische aandoeningen verder doorzetten en zal het mentaal welbevinden onder Nederlanders verder verslechteren door klimaatverandering. Ook zullen de directe en indirecte negatieve mentale gezondheidsgevolgen in toenemende mate voelbaar zijn voor Nederlanders, waarbij 25 tot 50 procent van de getroffen personen van een acute klimaatramp nadelige gevolgen voor de mentale gezondheid zal ervaren en behoefte zal hebben aan PSH (Palinkas & Wong, 2020). Anderzijds is het waarschijnlijk dat de toename in het aantal zonuren zowel direct als indirect via een toename in het aantal recreatiedagen een positief effect zal hebben op de mentale gezondheid van mensen (KNMI, 2023; Taniguchi et al., 2022). Er moet hierbij echter wel rekening gehouden worden met de negatieve effecten op de fysieke gezondheid van de toenemende blootstelling aan UV-straling (waaronder huidkanker; KNMI, 2023) en de indirecte effecten hiervan op de mentale gezondheid (Tkachenko et al., 2020). Ook de toename van blauwalggroei in plassen en meren door de stijging van de oppervlaktewatertemperatuur kan averechts uitpakken voor de mentale gezondheid, omdat mensen op warme dagen geen verkoeling kunnen zoeken (KNMI, 2023).

9.1.4

Gevoeligheid

Omdat onderzoek in de Nederlandse context tot op heden ontbreekt, richten we ons op internationale literatuur. Uit internationale bevindingen blijkt dat de sociale determinanten van gezondheid (waaronder inkomen, opleiding, werkgelegenheid en werk- en leefomstandigheden) van invloed zijn op de blootstelling of gevoeligheid van een individu aan de mentale gezondheidsimpact van klimaatverandering (door zowel blootstelling aan acute klimaatrampen als aan geleidelijke klimaatverandering) en op het vermogen om hiervan te herstellen. Bestaande ongelijkheden in de gezondheidszorg (door bijvoorbeeld racisme, heteronormativiteit en kolonialisme) en determinanten voor een slechte gezondheid (zoals een laag inkomen, ondermaatse huisvesting, voedselonzeekerheid) spelen hierin een rol. Het aanpakken van sociale ongelijkheden en het versterken van determinanten van goede gezondheid zijn nodig om de veerkracht tegen de gezondheidsgevolgen van klimaatverandering te vergroten (Hayes et al., 2022).

Factoren die internationaal in verband worden gebracht met een grotere kwetsbaarheid voor klimaatverandering zijn onder andere bepaalde geografische locaties (zoals laaggelegen eilanden, kusten en

overstromingsgebieden) en het verschil in landelijke en stedelijke gebieden, specifieke beroepsgroepen (bijvoorbeeld boeren), het vrouwelijk geslacht (vanwege factoren die samenhangen met opleidingsniveau, biologische verschillen, sociale rollen, het krijgen van kinderen en omdat vrouwelijk geslacht in verband wordt gebracht met een verhoogd risico op angststoornissen), lagere sociaaleconomische status, een jongere of juist oudere leeftijd en al bestaande geestelijke aandoeningen (Clayton & Brown, 2024; Palinkas & Wong, 2020; Zhao et al., 2022). Voor deze laatste groep geldt dat extreme hitte de werking van psychische medicatie kan verstoren en het lichaam minder goed kan laten afkoelen. Daarnaast hebben mensen met een psychische aandoening meer moeite zich aan te passen aan extreme hitte door cognitieve beperkingen en sociaaleconomische obstakels (Hayes et al., 2022).

Kinderen zijn in het bijzonder kwetsbaar voor de indirecte gevolgen van klimaatverandering. Denk hierbij aan economische gevolgen, verlies van verbondenheid met de natuurlijke omgeving en sociale conflicten en geweld tussen groepen (O'Donnell & Palinkas, 2024; Palinkas & Wong, 2020). Dit komt door hun biologische gevoeligheid, onvolgroeide fysiologie, beperkte aanpassingsvermogen, afhankelijkheid van gestreste volwassenen en levenslange blootstelling (Palinkas & Wong, 2020). Klimaatverandering beïnvloedt bijna elk aspect van de gezondheid en het welzijn van kinderen, van de zwangerschap tot de adolescentie (UNICEF, 2024). Zo heeft klimaatgerelateerde stress een aantoonbaar effect op de mentale gezondheid – met meer depressie, angst en een lagere kwaliteit van leven – van jongvolwassenen (Lass-Hennemann et al., 2024).

De mogelijke invloed van extreme weersomstandigheden op de mentale gezondheid hangt deels af van de mate van blootstelling en deels van het vermogen om die stress op te vangen. Factoren die meespelen, omvatten de mate van blootstelling en schade door klimaatverandering, eerdere blootstelling aan traumatische gebeurtenissen of economische stressoren. Ook de toegang tot middelen, zoals voedsel, onderdak, sociale steun en medische en mentale gezondheidszorg, speelt een rol (IPCC, 2023).

9.1.5 *Impact*

De mentale gevolgen van klimaatverandering zullen verder reiken dan de directe gevolgen van acute klimaatrampen. In de loop der tijd nemen de gevolgen van klimaatverandering wereldwijd niet alleen toe in frequentie, maar zullen gemeenschappen ook vaker getroffen worden door meerdere (overlappende) acute klimaatrampen. Hiermee nemen psychische problemen verder toe (O'Donnell & Palinkas, 2024).

Cascade-effecten in het kader van klimaatverandering en mentale gezondheid verwijzen naar opeenvolgende en onderling verbonden gevolgen waarbij een fysieke klimaatgebeurtenis – zoals een overstroming of hittegolf – niet alleen directe schade veroorzaakt, maar ook indirecte sociale, economische en mentale problemen, die elkaar versterken en het risico op langdurige mentale gezondheidsproblemen vergroten. Zo ontstaan er sociaaleconomische verschuivingen en maatschappelijke onrust die impact hebben op mentale gezondheid en

andersom. Deze hebben ook weer invloed op gedrag en mogelijkheid van mensen om klimaatverandering terug te dringen en zich te houden aan regelgeving.

Klimaatverandering kan leiden tot een verslechtering in de mentale gezondheid in Nederland. In internationaal onderzoek zijn klimaatrampen in verband gebracht met ontheemding van de bevolking, verminderde voedselzekerheid, verslechterde economische omstandigheden, en sociale conflicten en geweld tussen groepen (Hayes et al., 2022; Palinkas & Wong, 2020). Deze factoren zijn indirect van invloed op de mate waarin men last kan krijgen van mentale problemen door klimaatverandering (O'Donnell & Palinkas, 2024). Ook komen (mentale) gezondheidszorgsystemen tijdens klimaatrampen onder druk te staan. Verstoringen in de gezondheidszorg kunnen grote gevolgen hebben voor de (mentale) gezondheid en het welzijn (Hayes et al., 2022).

9.1.6 *Kwaliteit*

Er zijn belangrijke kennishiaten waarnaar onderzoek verricht kan worden om adaptatie aan de negatieve mentale gezondheidseffecten van klimaatsverandering te verbeteren.

Omdat onderzoek naar de mentale gezondheidseffecten van klimaatverandering in Nederland uitblijft, zijn de volgende kennishiaten gebaseerd op bevindingen van internationale literatuur. Zo is er meer kennis nodig over goede methodologieën om het verband tussen klimaatverandering en mentale gezondheid beter in kaart te brengen (Kumar et al., 2024).

Ook mist er voldoende kennis over *evidence-based* mitigatie en adaptatie strategieën. De mogelijke effectiviteit, schaalbaarheid en kosteneffectiviteit van interventies en op het waarborgen van mentale gezondheid in het licht van klimaatverandering gericht beleid zouden beter onderzocht moeten worden, met inbegrip van niet-mentale gezondheidsinterventies (Charlson et al., 2021). Hierin zouden apps voor het voorkomen of onder controle brengen van nadelige gezondheidseffecten een uitkomst kunnen bieden (Bhawra et al., 2024).

Hiernaast ontbreekt kennis over welke coping mechanismen veerkracht versterken (Charlson et al., 2021). Ook is er meer onderzoek nodig om de omvang van de mentale gezondheidsgevolgen te documenteren, evenals de beste opties om ze te beperken en te behandelen (Clayton, 2021; Clayton & Brown, 2024).

Er is meer hoogwaardig, gestandaardiseerd onderzoek nodig om ons begrip van de effecten van hitte en temperatuurschommelingen voor mentale gezondheid te begrijpen en aanpassingsstrategieën te verbeteren (Thompson et al., 2023).

Er is dringend behoefte aan meer onderzoek naar de emotionele impact van klimaatverandering op kinderen en jongeren (Hickman et al., 2021).

Er zijn kennishiaten in het huidige onderzoek naar hoe sommige sociale groepen, zoals gender- en seksueel diverse mensen, de

gezondheidseffecten van klimaatverandering ervaren (Hayes et al., 2022).

Verder is longitudinaal onderzoek nodig om attributie van de mentale gezondheidseffecten aan klimaatverandering mogelijk te maken (Hayes et al., 2018).

Als laatste is inzicht in de reikwijdte en omvang van de impact cruciaal voor preventie en behandeling (Palinkas & Wong, 2020). En is de ontwikkeling van preventiestrategieën op bevolkingsniveau noodzakelijk om psychische stoornissen te voorkomen en een optimale geestelijke gezondheid te garanderen voor de gehele samenleving (Reuben et al., 2022).

Bij het onderzoeken van de mentale gezondheidsimpact van klimaatverandering in de Nederlandse context, is het wenselijk bovenstaande kennisvragen hierin te borgen. Eerder literatuuronderzoek naar kennisvragen voor onderzoek op dit gebied leidde tot kennisvragen op inhoudelijk vlak (waaronder onderzoek naar weerbaarheid, interventies en behandelingen, positieve psychologische interventies, het aantonen van causaliteit, de gevolgen van geleidelijke klimaatverandering, kwetsbare groepen, de sociale impact van klimaatverandering, overstromingen en andere type rampen). Ook leidde het naar methodologische kennisvragen over verbeterpunten in de manier waarop onderzoek naar de mentale gezondheidseffecten van klimaatverandering wordt uitgevoerd en welke type onderzoek nu nog ontbreekt (Van der Ree et al., 2022).

9.2 Effecten op zorg

RIVM-expert: M.M. Harbers

Samenvattende punten:

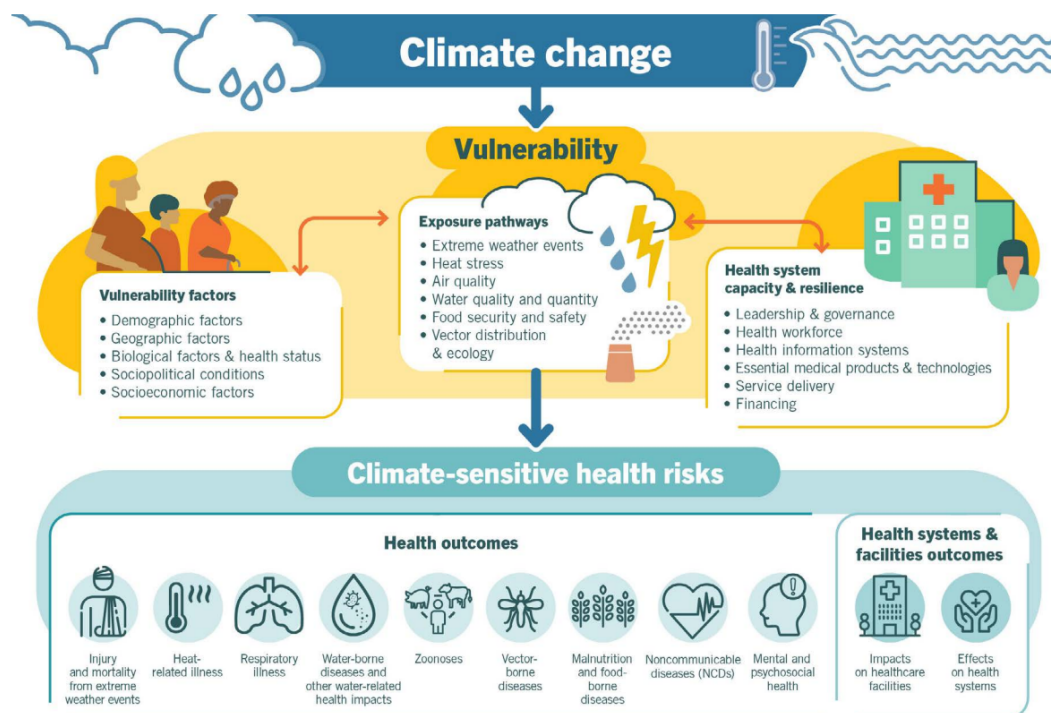
- *De zorg staat al onder druk en de druk neemt vermoedelijk verder toe door klimaatverandering en vergrijzing.*
- *Risico's kunnen elkaar versterken of stapelen en dit kan leiden tot een disbalans in zorgvraag en -aanbod. De disbalans kan zowel meer structureel zijn, als acuut op piekmomenten. Zo kunnen hoge concentraties pollen, smog en hogere temperaturen vaker voorkomen en ook vaker tegelijkertijd optreden. Dit kan niet alleen leiden tot meer gezondheidsklachten op hetzelfde moment, maar mogelijk ook tot ernstigere klachten, met een piek in zorgvraag tot gevolg.*
- *Er zullen waarschijnlijk vaker momenten zijn waarop de zorgvraag piekt doordat extreme weersomstandigheden, zoals hittegolven en smog, vaker en ook vaak tegelijk zullen voorkomen.*

9.2.1 Inleiding en scope

De WHO heeft een model ontwikkeld dat laat zien hoe klimaatverandering, gezondheid en zorgsystemen en -faciliteiten samenhangen. De WHO maakt daarbij onderscheid in impact op de volksgezondheid en de impact op zorginfrastructuur en -organisaties (zie Figuur 9.2; WHO, 2021a). Het model laat zien dat klimaatverandering

invloed heeft op gevaren, blootstellingsroutes en kwetsbaarheidsfactoren die kunnen interacteren en zo risico's voor de volksgezondheid en zorgstelsels kunnen vergroten of verkleinen. Een meer klimaatbestendig zorgsysteem verkleint de kans op en de ernst van de gevolgen die zich voordoen (WHO, 2022a). De WHO definieert een klimaatbestendig gezondheidssysteem als een systeem dat in staat is te anticiperen op klimaatgerelateerde schokken en stress, erop te reageren, ermee om te gaan, ervan te herstellen en zich eraan aan te passen. Zo kan de volksgezondheid blijvend worden verbeterd, ondanks een onstabiel klimaat (WHO, 2015).

Figuur 9.2 Gezondheidsrisico's die samenhangen met klimaatverandering (WHO, 2021a).



Focus op impact op zorgvraag en zorggebruik

De focus in dit hoofdstuk ligt op de impact van klimaatverandering op zorgvraag en zorggebruik door toekomstige klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's. Zorg is daarmee een dwarsdoornijdend thema door de klimaatrisico's in hoofdstuk 4 t/m 8 heen. Informatie over de impact van klimaatverandering op zorgvraag en zorggebruik helpt de zorg om te anticiperen op klimaatrisico's en draagt daarmee bij aan klimaatbestendige zorg.

Wat er onder zorg wordt verstaan, kan op verschillende manieren worden afgebakend. In dit hoofdstuk volgen we op hoofdlijnen de indeling in zorgsectoren van de [Kosten van ziekten](#)-studie van het RIVM:

- Ziekenhuis, medisch specialistische zorg (inclusief spoedeisende hulp);
- Ouderenzorg;
- Gehandicapten;
- Eerstelijnszorg (waaronder huisartsen);

- Genees- en hulpmiddelen;
- Geestelijke gezondheidszorg;
- Overige aanbieders (waaronder bedrijfsgezondheidszorg en arbodiensten);
- Ambulance en vervoer;
- Openbare zorg en preventie (onder andere GGD'en).

Naast de genoemde zorgvormen die in het kader van een beroep verleend worden, is er ook informele zorg, zoals mantelzorg. Hieronder verstaan we alle hulp aan mensen met uiteenlopende gezondheidsproblemen buiten het kader van een beroep.

Naast dat klimaatverandering via een effect op ziekten en aandoeningen de zorgvraag en zorggebruik kan beïnvloeden, kan klimaatverandering ook zorgen voor problemen bij het verlenen van zorg. Bijvoorbeeld bij wateroverlast of uitval van elektriciteit door extreem weer (ANV, 2022). Ook kan klimaatverandering leiden tot tekorten aan medische hulpmiddelen en schade aan medische technologie (WHO, 2022a). Verder kan de zorgverlening bemoeilijkt worden wanneer zorgverleners zelf fysieke of mentale gezondheidsklachten ondervinden door bijvoorbeeld pollen, luchtverontreiniging of hitte of door verslechterde werkomstandigheden als gevolg van een klimaatrisico.

Recente gebeurtenissen, zoals de wateroverlast in het Slingeland Ziekenhuis in 2024 en de evacuatie van het VieCuri ziekenhuis in Venlo in 2021 vanwege de hoge waterstand in de Maas, laten zien hoe belangrijk het is dat ziekenhuizen goed voorbereid zijn op de gevolgen van klimaatverandering om bijvoorbeeld beschadiging van medische apparatuur en verstoring van de bereikbaarheid door overstromingen tegen te gaan. De klimaatbestendigheid en weerbaarheid van de zorg zelf valt echter buiten de scope van dit hoofdstuk en rapport.

9.2.2

Effecten toekomstige klimaatrisico's op zorgvraag en zorggebruik

Gezondheidseffecten klimaatverandering vergroten de hoge druk op de zorg

Diverse klimaatdreigingen kunnen afzonderlijk of in combinatie met elkaar tot gezondheidsproblemen leiden, zowel direct als op de langere termijn. De verwachting is dat mensen daardoor vaker een beroep op de zorg zullen doen, terwijl de zorgvraag in Nederland al toeneemt door de vergrijzing. Vergrijzing leidt tot een toename in de vraag naar zorg, omdat met het toenemen van de leeftijd mensen meer zorg gebruiken. Doordat mensen op hoge leeftijd vaak kwetsbaar¹⁹ worden, kunnen kleine kwalen of normaal gesproken onschuldige incidenten eenvoudig uitgroeien tot grotere gezondheidsproblemen (Den Broeder et al., 2024). Tegelijkertijd nemen de personeelstekorten verder toe, waardoor ook de druk op de zorg verder toeneemt (Den Broeder et al., 2024).

Effecten klimaatverandering op zorgvraag en zorggebruik afhankelijk van effecten op gezondheid

Welk effect klimaatverandering op de zorgvraag en het zorggebruik heeft, hangt af van de klimaatdreiging en het effect op de gezondheid.

¹⁹ Kwetsbaarheid omvat zowel sociale, fysieke, psychologische en omgevingsfactoren en wordt vaak gekenmerkt door ondervoeding, verlies van spiermassa, osteoporose, vermoeidheid, risico op vallen en een slechte lichamelijke gezondheid

De effecten op gezondheid van de verschillende klimaatgerelateerde risico's (hitte, luchtkwaliteit, UV-straling, infectieziekten en allergieën en pollen) zijn in meer detail beschreven in hoofdstukken 4 tot en met 8. Het kan gaan om mentale gezondheidsklachten, maar ook om fysieke aandoeningen. Soms gaat het om acute gezondheidsgevolgen (zoals acute infecties), soms om gevolgen op de langere termijn (zoals huidkanker). Het kan gaan om relatief lichte klachten die te behandelen zijn met zelfzorgmedicatie, zonder een zorgverlener te contacteren (geïrriteerde slijmvliezen bij hooikoorts, maagdarminfecties) en aandoeningen waarvoor behandeling in een ziekenhuis nodig kan zijn (zoals huidkanker of gezondheidsklachten door luchtverontreiniging).

Bij sommige klimaatdreigingen neemt het aantal zieken mogelijk toe (huidkanker of infectieziekten). Bij andere neemt mogelijk de duur en/of ernst van klachten toe, wat bijvoorbeeld gevolgen kan hebben voor medicijngebruik (bijvoorbeeld hooikoorts). Of het gaat om een combinatie van beide: meer zieken met langdurige en/of ernstigere klachten (ook hooikoorts, gevolgen van hitte). Verder kan bijvoorbeeld een combinatie van blootstelling aan pollen, episoden van luchtverontreiniging en hogere temperaturen gezondheidseffecten mogelijk versterken (Betgen et al., 2024).

Het is echter ook mogelijk dat het aantal zieken en/of de gezondheidsklachten afnemen, met als gevolg een afnemende zorgvraag. Bijvoorbeeld een afname van aandoeningen gerelateerd aan koude perioden (hoewel hierover veel discussie en onzekerheid is, zie hoofdstuk 4 Hitte) en een afnemend huidkankerrisico als het te heet wordt en mensen liever binnen blijven (zie hoofdstuk 6 UV-straling).

Dit heeft allemaal gevolgen voor toekomstige ontwikkelingen in het type zorgvraag en het zorggebruik. Tabel 9.1 geeft een overzicht van de mogelijke invloed van klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's op verschillende sectoren van de zorg.

Kwantificeren gevolgen klimaatverandering voor toekomstige zorgvraag niet goed mogelijk

Het is niet mogelijk om de effecten van klimaatrisico's op toekomstige zorgvraag, zorggebruik en daarmee gepaard gaande uitgaven te kwantificeren. Hiervoor zijn in de eerste plaats gegevens nodig over de bijdrage van klimaatverandering aan gezondheidseffecten. Daarmee zou vervolgens een schatting gemaakt kunnen worden voor het effect op zorgvraag, zorggebruik en zorguitgaven. Uitgangspunt daarbij is dat de vorm en de inhoud van de geleverde zorg gelijkblijven. Er is voor de meeste klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's echter nog onvoldoende kennis om de bijdrage van klimaatverandering aan de gezondheidseffecten te kwantificeren (welk deel van een waargenomen trend in gezondheid komt door klimaatverandering en welk deel door een andere oorzaak).

Gevoeligheid bevolking voor klimaatrisico's verandert ook. Daarnaast zijn er veranderingen in de bevolking die gevolgen hebben voor de impact van klimaatverandering op de gezondheid. Als de historische trends zich in de toekomst voortzetten zonder dat er nieuw of aanvullend beleid wordt ontwikkeld, zal in de periode 2022-2050 het

aantal kwetsbare ouderen, het aantal mensen met overgewicht en het aantal mensen met een chronische ziekte toenemen. Ook multimorbiditeit (het hebben van meerdere chronische aandoeningen tegelijkertijd) neemt toe en komt veel voor onder ouderen (Van der Lucht, 2024). Deze groepen zijn ook allemaal extra gevoelig voor gezondheidsproblemen door klimaatrisico's (Betgen et al., 2024). De impact van klimaatrisico's zal dus waarschijnlijk ook toenemen doordat er steeds meer mensen gevoelig voor zijn.

Kortom: Klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's gaan waarschijnlijk een effect hebben op de zorgvraag en het zorggebruik. De effecten van de verschillende klimaatrisico's op zorgvraag en zorggebruik zijn echter niet goed te kwantificeren. Daarom en ook vanwege de diversiteit in zorgvraag en zorggebruik, is de impact van de verschillende klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's op de zorg niet goed met elkaar te vergelijken. Er is daarom geen gradatie aangebracht in Tabel 9.1

Aanknopingspunten om balans tussen zorgvraag en aanbod gunstig te beïnvloeden

Risico's kunnen elkaar versterken of stapelen (zie ook WHO-model). Dit kan leiden tot een disbalans in zorgvraag en -aanbod. Wanneer de zorg niet meer goed aan de stijgende vraag tegemoet kan komen, komt de toegankelijkheid van zorg onder druk te staan. Dit kan leiden tot groeiende wachtlijsten, met mogelijk negatieve effecten voor wachtenden. Zo kunnen klachten in de tussentijd zodanig verergeren dat onherstelbare schade ontstaat, of patiënten acute zorg nodig hebben (Dekker et al., 2024). Tegelijk kan ook een deel van de zorgvraag 'verdampen'. Het gaat dan om een uitgestelde zorgactiviteit die niet meer kan of hoeft te worden ingehaald. Dit omdat een zorgvraag van voorbijgaande aard was (de klachten zijn vanzelf overgegaan), omdat een patiënt met het gezondheidsprobleem heeft leren omgaan (coping), of omdat een patiënt is overleden. Dat de zorgvraag verdampt is, impliceert niet dat de zorgactiviteit onnodig was. Een patiënt kan namelijk wel hebben geleden onder het uitstel en er zelfs aan zijn overleden (Rotteveel et al., 2023).

Hoe klimaatverandering precies een effect heeft op de (dis)balans tussen zorgvraag en aanbod hangt dus af van diverse ontwikkelingen, zoals op het gebied van gedrag en de woonomgeving. Deze ontwikkelingen bieden ook aanknopingspunten om het effect van klimaatverandering op de zorgvraag en de druk op de zorg in gunstige zin te beïnvloeden. Bijvoorbeeld door aanpassingen in de leefomgeving (meer groen en water) die gezond gedrag bevorderen (bewegen) en daarmee het risico op het krijgen van een chronische ziekte of overgewicht verkleinen (Staatsen et al., 2024). Een ander voorbeeld is het klimaatbestendiger maken van de woonomgeving, zodat er minder vaak sprake is van hitte-stress of wateroverlast.

Tabel 9.1 Mogelijke invloed van klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's op zorgsectoren

Sector	Klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's:					
	hitte	allergenen en pollen	UV-straling	lucht-kwaliteit	infectie-ziekten	mentale gezondheid
Ambulance en vervoer	*			*		
Eerstelijnszorg (waaronder huisartsen)	*	*	*	*	*	*
Geestelijke gezondheidszorg	*					*
Gehandicapten	*					
Genees- en hulpmiddelen	*	*	*	*	*	*
Openbare zorg en preventie (inclusief GGD'en)	*	*	*	*	*	*
Ouderenzorg	*			*	*	*
Ziekenhuis, medisch specialistische zorg (inclusief spoedeisende hulp)	*	*	*	*	*	*
Overige aanbieders (waaronder bedrijfsgezondheidszorg en arbodiensten)	*	*	*		*	*

Voetnoten:

- Een oranje vak (*) geeft aan dat het betreffende klimaatgerelateerde gezondheidsrisico mogelijk invloed heeft op de betreffende sector.
- De tabel geeft alleen aan of er een mogelijke invloed op de sector is, niet de richting of omvang. In de meeste gevallen gaat het om een toename van de zorgvraag en zorggebruik, maar het is ook mogelijk dat het aantal zieken en/of de gezondheidsklachten afnemen, met als gevolg een afnemende zorgvraag. Bijvoorbeeld een afname van aandoeningen gerelateerd aan koude perioden (hoewel hier veel discussie en onzekerheid over is, zie hoofdstuk 4) en een afnemend huidkankerrisico als het te heet wordt en mensen liever binnen blijven, zie hoofdstuk 6 UV-straling).
- Medische hulpmiddelen zijn producten die vallen onder de Wet op de medische hulpmiddelen. Het zijn producten die gebruikt worden bij het voorkomen, de diagnose, de behandeling en de ondersteuning van een ziekte of beperking/handicap. In de praktijk komt dat neer op alle apparatuur, software en gebruiksartikelen in de zorg met de uitzondering van geneesmiddelen (Bron: Medische hulpmiddelen | RIVM).
- Onder openbare zorg, ook wel publieke gezondheidszorg, vallen gezondheidsbevorderende en -beschermende maatregelen voor zowel de bevolking in het algemeen als specifieke groepen. De gemeentelijke gezondheidsdiensten (GGD'en) spelen hierin een belangrijk rol. Zij voeren in opdracht van gemeenten diverse taken uit op het gebied van onder andere vaccinaties, infectieziektebestrijding, medische milieukunde (invloed van de leefomgeving op de gezondheid) en voorlichting over een gezonde levensstijl.

9.2.3 *Gevoeligheid, blootstelling en impact*

De verwachte gezondheidseffecten en effecten op de zorgvraag en het zorggebruik zijn naar verwachting groter bij het Sterk risico-verhogende scenario (SRV) ten opzichte van het beperkt risico-verhogende (BRV) scenario, met uitzondering van enkele effecten die zich juist minder voordoen in het SRV-scenario zoals koude gerelateerde sterfte (zie hoofdstuk 4 Hitte). Dit komt enerzijds door het grotere effect van het veranderend klimaat in het SRV-scenario, met als gevolg een grotere toename van aantal ziektegevallen, ernstigere of langdurigere klachten of een combinatie van beide. Anderzijds komt het door demografische ontwikkelingen, zoals grotere bevolkingsgroei, sterkere vergrijzing, en sterkere toename van eenpersoonshuishoudens. Ook verschillen in economische groei en digitalisering spelen een rol.

Demografische ontwikkelingen vergroten zorgvraag

Door demografische ontwikkelingen, zoals de grotere bevolkingsgroei en de sterkere toename van 65-plussers en 75-plussers in het SRV-scenario, zijn er in dit scenario meer mensen met een kwetsbare gezondheid (ouderen, mensen met een of meerdere chronische ziekten die vaker voorkomen op hogere leeftijd) die gevoeliger zijn voor de effecten van klimaatverandering, zoals hitte, slechte luchtkwaliteit en infectieziekten (Betgen et al., 2024).

Ook het percentage van de bevolking in de steden neemt toe, maar deze toename verschilt niet tussen BRV- en SRV-scenario. Door de grotere bevolkingsgroei en sterkere vergrijzing wonen er in het SRV-scenario waarschijnlijk in absolute aantallen wel meer kwetsbaren in steden waar de bewoners meer bloot staan aan de gevolgen van hitte (stedelijk hitte-eilandeffect) en een slechtere luchtkwaliteit (Betgen et al., 2024). Dit leidt mogelijk tot een sterkere toename in zorgvraag en zorggebruik in het SRV- scenario.

Daarnaast zijn er in het SRV-scenario meer eenpersoonshuishoudens vergeleken met het BRV-scenario. Dit heeft gevolgen voor kwetsbaren in eenpersoonshuishouden, omdat kwetsbaren vaak mantelzorg (dat wil zeggen de hulp die mensen elkaar geven vanwege hun onderlinge band) ontvangen van partners of kinderen. De toekomstige generatie ouderen heeft echter minder vaak kinderen, of is vaker kinderloos. En vooral in de vergrijzende regio's aan de randen van Nederland wonen de kinderen minder vaak in de buurt. Het mantelzorgnetwerk is dus kleiner. Hierdoor komen mantelzorgtaken niet alleen vaker bij een kleinere groep mantelzorgers terecht, waardoor zij een groter risico lopen op overbelasting. Ook kan de vraag naar formele zorg groter worden, omdat mensen niet genoeg informele zorg (waaronder mantelzorg) kunnen krijgen (Dekker et al., 2024).

Effect van demografische, economische en technologische ontwikkelingen op personeelstekorten

Tegelijkertijd leidt de sterkere vergrijzing in het SRV-scenario mogelijk tot grotere personeelstekorten in de zorg, doordat zorgverleners de pensioengerechtigde leeftijd bereiken. Ook de hogere economische groei in dit scenario draagt mogelijk bij aan deze personeelstekorten, door concurrentie om personeel met andere sectoren als gevolg van een lagere werkloosheid. Maar als de sterkere digitalisering in het SRV-

scenario zich ook in de zorg voordoet, zou dit de druk op het zorgpersoneel juist wat kunnen verlagen. Wel is er nog veel onzekerheid over de mate waarin digitalisering de druk op de zorg zal verminderen, omdat menselijke interactie altijd nodig blijft. Ontwikkelingen in medische technologie en nieuwe behandelmethoden kunnen ook juist weer leiden tot een toenemende zorgvraag (Dekker et al., 2024).

9.3 Gedrag en perceptie

RIVM-expert: C. Boomsma

Samenvattende punten:

- *De impact van klimaatverandering op de gezondheid wordt voor een belangrijk deel bepaald door het gedrag van mensen. Een belangrijke factor hierbij is de blootstelling aan een omgevingsstressor (bijvoorbeeld hitte, UV-straling), of juist het voorkomen hiervan. Mensen kunnen hun gedrag aanpassen aan het veranderende klimaat. Dit heeft invloed op de gezondheidseffecten van klimaatverandering.*
- *Naast gedrag is het ook belangrijk om aandacht te hebben voor percepties die de relatie tussen klimaatverandering en gezondheidseffecten modereren of mediëren. Bijvoorbeeld, als mensen het gevoel hebben dat hun gemeenschap goed is voorbereid op natuurrampen en adequaat zal handelen. Dan leidt (de mogelijkheid tot) het plaatsvinden van een natuurramp tot minder mentale gezondheidseffecten dan wanneer deze voorbereidingen niet zijn getroffen.*

De verwachte impact van klimaatverandering op de gezondheid zoals besproken in dit rapport wordt voor een belangrijk deel bepaald door het gedrag en de percepties van mensen. Het gedrag van mensen en hun kennis, beelden en ideeën hebben invloed op de mate van blootstelling aan een omgevingsstressor (bijvoorbeeld hitte, UV-straling). Met andere woorden: hoe mensen hun gedrag aanpassen aan het veranderende klimaat heeft invloed op de gezondheidseffecten die zij ervaren. Er zijn verschillende routes waarlangs gedrag en percepties gezondheidseffecten van klimaatverandering kunnen beïnvloeden.

9.3.1 Adaptief gedrag

Allereerst kunnen mensen zich aanpassen aan de klimaatrisico's. In de literatuur wordt er gesproken over adaptief gedrag of beschermingsgedrag. Denk aan zonbeschermingsgedrag (Barret et al., 2019; Duarte et al., 2018), hitte-adaptatie gedrag (Akompab et al., 2013; Esplin et al., 2019) en beschermingsgedrag bij verminderde luchtkwaliteit (McCarron et al., 2023). Of mensen wel of niet hun gedrag aanpassen om blootstelling aan omgevingsstressoren te verminderen of te voorkomen, hangt af van verschillende factoren. Bij het inschatten van de gevolgen op de gezondheid van toekomstige klimaatverandering is het belangrijk de dynamiek van gedrag en de factoren die hiermee samenhangen in acht te houden.

Factoren die van invloed zijn op adaptief gedrag
Psychologische modellen met betrekking tot (gezondheid)gedrag bieden inzicht in de belangrijkste mechanismes. Het Health Belief Model

(Skinner et al., 2015) gaat ervan uit dat mensen hun gedrag aanpassen als zij geloven dat de kans op blootstelling aan klimaatrisico's groot is en ze daar ook (ernstig) ziek van kunnen worden (risico-inschatting), ze zelf in staat zijn hun gedrag aan te passen (zelfeffectiviteit) en de voordelen van adaptief gedrag groter zijn dan de nadelen. Deze factoren worden weer beïnvloed door sociaal-demografische kenmerken (bijvoorbeeld leeftijd, geslacht, inkomen).

De Protection Motivation Theory (Prentice-dunn & Rogers, 2001, zie ook Kothe et al., 2019) gaat uit van vergelijkbare factoren als het Health Belief Model, maar voegt nog een aantal aspecten hieraan toe. Individuen passen hun gedrag aan als zij denken dat een gebrek aan actie leidt tot een risico voor henzelf (hoge *'threat appraisal'*) en als zij denken dat adaptief gedrag hen zal beschermen tegen negatieve effecten (hoge *'coping appraisal'*).

Het COM-B model (Michie et al., 2018) geeft daarnaast aan dat als mensen de motivatie hebben om hun gedrag te veranderen, zij ook de capaciteit (fysieke vaardigheden, kennis, mentale vaardigheden) en gelegenheid (ondersteunende omgeving, zowel fysiek als sociaal) nodig hebben om daadwerkelijk hun gedrag aan te passen.

Een deel van de factoren uit deze modellen is getest in een meta-analyse (Van Valkengoed & Steg, 2019). Daaruit kwamen zelf-effectiviteit, negatieve emoties ten opzichte van klimaatrisico's, uitkomst-effectiviteit (mate waarin mensen denken dat adaptief gedrag effectief zal zijn in het beschermen tegen klimaatrisico's) en descriptieve normen (het beeld dat anderen hun gedrag aanpassen) als de belangrijkste invloedrijke factoren op adaptief gedrag naar voren. Dit zijn allemaal factoren die in de toekomst kunnen veranderen naarmate klimaatrisico's dichterbij, zichtbaarder en urgenter worden.

Neveneffecten van adaptief gedrag

Hoewel adaptief gedrag meestal gericht is op het verminderen van blootstelling en daarmee het verminderen van gezondheidsrisico's (bijvoorbeeld door binnen te blijven om UV-blootstelling te voorkomen), kunnen er onverwachte neveneffecten zijn. De manier waarop mensen zich aanpassen aan klimaatrisico's kan ander gezondheid-gerelateerd gedrag beïnvloeden. Het gaat hierbij om gedrag zoals lichamelijke activiteit, eetgewoontes en slaap²⁰. Dit brengt weer andere effecten voor de gezondheid met zich mee. Bijvoorbeeld, hitte en hoge pollenconcentraties zijn gerelateerd aan minder lichamelijke activiteit (Bernard et al., 2021; Chevance et al., 2023).

9.3.2

Invloed van percepties

Naast gedrag zijn ook de percepties van mensen (zoals kennis, beelden en ideeën) bepalend in de relatie tussen klimaatverandering en gezondheidseffecten. Bijvoorbeeld als moderator (invloed op sterkte van de relatie) of mediator (als verklarende factor). Een voorbeeld van de eerste relatie is dat bij mensen die het gevoel hebben dat hun gemeenschap weerbaar is in het geval van een natuurramp, een

²⁰ Ook zijn er nog indirecte effecten te benoemen op gezondheid-gerelateerd gedrag, bijvoorbeeld dat extreem weer kan leiden tot schade aan sportfaciliteiten, wat leidt tot minder lichamelijke activiteit (Chevance et al., 2023).

overstroming leidt tot minder mentale gezondheidseffecten (Masson et al., 2019).

9.3.3 *Illustratie gedrag en perceptie per klimaatfactor*

Hieronder bespreken we voor elk klimaatthema een aantal voorbeelden om te illustreren hoe gedrag en percepties een rol spelen in het bepalen van de gezondheidseffecten. Dit moet niet worden geïnterpreteerd als een volledig overzicht van de beschikbare literatuur. Het is een illustratie van de mogelijke invloedrijke routes waarlangs gedrag en perceptie een rol kunnen hebben. Ook worden er bij een aantal thema's mogelijke neveneffecten van adaptief gedrag benoemd. Dit is bedoeld om de lezer te laten nadenken over hoe gedrag en percepties meegewogen moeten worden bij het inschatten van de impact van klimaatfactoren op de gezondheid. Het in kaart brengen van de exacte effecten per thema vereist een uitgebreider (literatuur)onderzoek, wat niet past binnen de scope van dit rapport.

Pollenallergie

Hooikoortspatiënten kunnen met gedragsaanpassingen (ook wel 'allergy avoidance'-gedrag genoemd) symptomen verminderen of voorkomen (Muzalyova & Brunner, 2020). Voorbeelden van adaptief gedrag zijn: het aanpassen van medicatie en activiteiten aan de hoeveelheid en welke pollen er in de lucht zitten, ramen en deuren zoveel mogelijk gesloten houden, en een zonnebril dragen (Houweling et al., 2021).

Momenteel managen veel hooikoortspatiënten zelfstandig hun symptomen (via medicatie, gedragsaanpassingen) maar ervaren zij wel (veel) klachten. De ziektelast kan verlaagd worden als meer hooikoortspatiënten geholpen kunnen worden in het effectief managen van hun symptomen (Muzalyova & Brunner, 2020). Ook voelen veel hooikoortspatiënten zich nu niet zeker dat het daadwerkelijk mogelijk is om hun klachten te verminderen of te voorkomen (Houweling et al., 2021). Informatiecampagnes (met bijvoorbeeld actuele pollenconcentraties) kunnen hierbij helpen, mits ze voldoende handelingsperspectief bieden aan hooikoortspatiënten (Muzalyova & Brunner, 2020; Houweling et al., 2021).

Wat betreft de mogelijke neveneffecten van adaptief gedrag wijst onderzoek erop dat de aanwezigheid van pollen in de leefomgeving ertoe kan leiden dat mensen minder tijd doorbrengen in groene plekken en deze plekken gaan mijden. Lichamelijke beweging en een groene leefomgeving hebben een positief effect op de mentale gezondheid. De consequenties voor de mentale gezondheid door het mijden van groene plekken vanwege (verhoogde) pollenconcentraties is nog onduidelijk (Legg & Kabisch, 2024).

Hitte

Uit onderzoek blijkt dat het vermogen van mensen om hun gedrag aan te passen, door beschermende en adaptieve maatregelen te nemen, een van de belangrijkste manieren is om de effecten van hitte op de gezondheid te voorkomen of te verminderen (Akompab et al., 2013; Kiarsi et al., 2023). Mensen kunnen bijvoorbeeld koele verblijfsplekken zoeken, lichamelijke activiteit verminderen, voldoende water drinken en

gebruikmaken van ventilatie, airco en zonwering (Akompab et al., 2013; Kiarsi et al., 2023).

Hitte-waarschuwingen leiden niet automatisch tot aanpassingen in gedrag. Er zijn verschillende factoren (individueel, contextueel) die gedrag beïnvloeden (McLoughlin et al., 2022). Zo hangt de motivatie van mensen om hun gedrag aan te passen onder andere ervan af of zij een risico voor zichzelf ervaren. Veel mensen zijn zich er niet van bewust dat zij kwetsbaar zijn, en denken daarom dat risicocommunicatie boodschappen voor hen niet relevant zijn (Akompab et al., 2013). Mensen die de voordelen zien van adaptief gedrag, en ervaring hebben met (de effecten van) hittegolven passen eerder hun gedrag aan (Akompab et al., 2013; Esplin et al., 2019). Dus het benoemen van eerdere ervaringen in risicocommunicatie kan mensen aanzetten tot het aanpassen van hun gedrag (Esplin et al., 2019).

Adaptief gedrag kan neveneffecten met zich meebrengen. Bijvoorbeeld, het gebruik van airconditioners kan mensen helpen koel te blijven en hitte-gerelateerde gezondheidseffecten beperken. Maar de grotere vraag naar elektriciteit kan leiden tot meer uitstoot van broeikasgassen (bij gebruik van fossiele energiebronnen) en een slechtere lokale luchtkwaliteit.

Infectieziekten

Gedrag speelt een belangrijke rol bij de verspreiding en beheersing van infectieziekten, zoals duidelijk werd tijdens de coronapandemie. Verschillende gedragingen kunnen relevant zijn voor de verspreiding van infectieziekten. Denk bijvoorbeeld aan handen wassen, nauw contact vermijden, vaccinatie of testen.

Tijdens de coronapandemie groeide het besef dat verandering in gedrag een belangrijke sleutel was tot het remmen van de virusverspreiding. De Gedragsunit van het RIVM heeft gedurende de coronapandemie veel onderzoek gedaan om het kabinet te kunnen informeren, van duiding te voorzien en handelingsperspectieven te bieden om naleving, welzijn en vertrouwen in het coronabeleid te ondersteunen. Kennis uit grootschalige vragenlijstonderzoeken, interviews en focusgroepen, preferentie- en interventieonderzoeken en literatuuronderzoek werd doorlopend geïntegreerd en vertaald naar concrete aandachtspunten voor beleid en communicatie. Lessen uit deze aanpak zijn mee te nemen bij de aanpak van toekomstige infectieziekten (Euser et al., 2023; zie ook [Gedragswetenschap tijdens de pandemie](#)).

Luchtkwaliteit

Individuele gedragsaanpassingen kunnen een essentiële rol spelen om luchtkwaliteit te verbeteren door blootstelling aan slechte luchtkwaliteit en daarmee gepaard gaande gezondheidseffecten te verminderen (McCarron et al., 2023). Dit kunnen gedragingen zijn, zoals: binnenblijven, gebruik van luchtfilters, infiltratie van buitenlucht naar binnen beperken, fysieke inspanning beperken (vooral buitenshuis en in de buurt van bronnen van luchtvervuiling) (Laumbach et al., 2015).

Onderzoek laat zien dat kennis en bewustzijn over luchtkwaliteit bijdragen aan of mensen wel of niet hun gedrag aanpassen (Meena et

al., 2024). Toegang tot gepersonaliseerde data over luchtkwaliteit in de eigen leefomgeving kan adaptief gedrag ondersteunen. Maar alleen als deze gegevens beschikbaar en toegankelijk zijn, als mensen deze kunnen interpreteren en als zij weten hoe zij hun gedrag kunnen aanpassen (McCarron et al., 2023). Mensen denken vaak dat zij geen (of weinig) invloed hebben op het verminderen van hun blootstelling aan slechte luchtkwaliteit, en weinig mensen passen dan ook hun gedrag aan na het zien van gegevens over luchtkwaliteit (Oltra & Sala, 2016).

Wat mogelijke neveneffecten van adaptief gedrag betreft, zou het ontmoedigen van buitenactiviteiten op dagen met slechte luchtkwaliteit als gevolg kunnen hebben dat mensen ook minder buitenactiviteiten doen op andere momenten. Daarbij speelt ook mee dat de gezondheidsvoordelen van fysieke activiteit vooral groot zijn voor mensen die ook gevoeliger zijn voor luchtvervuiling, zoals mensen met hart- en vaatziekten (Laumbach et al., 2015).

Daarnaast is er in de wetenschappelijke literatuur ook aandacht voor een andere mogelijke relatie tussen luchtkwaliteit, gedrag en gezondheid. Er zijn aanwijzingen dat luchtvervuiling samenhangt met verminderde sociale competentie (het vermogen om effectief om te gaan met sociale interacties) en een toename in agressief gedrag (Weitekamp & Hofmann, 2021).

Mentale gezondheid

In onderzoek naar gedrag en percepties en de relatie tussen klimaatverandering en mentale gezondheid wordt onder andere gekeken naar de impact van klimaatangst op milieuvriendelijk en adaptief gedrag. Zoals genoemd in paragraaf 4.2.1. zijn negatieve emoties ten opzichte van klimaatrisico's een voorspeller van adaptief gedrag (Van Valkengoed & Steg, 2019). Mensen die zich zorgen maken over klimaatrisico's zijn eerder geneigd hun gedrag aan te passen aan klimaatverandering. Al lijkt de relatie niet heel sterk te zijn en ook niet te gelden voor alle soorten gedrag (zie bijvoorbeeld Becht et al., 2024; Whitmarsh et al., 2022).

Onderzoek wijst erop dat adaptief gedrag, en ook milieuvriendelijk gedrag, een coping mechanisme kan zijn om gevoelens van stress en zorgen te verminderen. Maar zorgen over het klimaat kunnen in sommige gevallen ook leiden tot eco-paralysis (een gevoel van machteloosheid waardoor mensen actie tegen milieuproblemen juist vermijden). Dit gebeurt vooral als zorgen over het klimaat ertoe leiden dat mensen zich niet in staat voelen om goed met uitdagende situaties in hun leven om te gaan (*general self-efficacy*). Het aanleren van adaptief gedrag als copingstrategie en het versterken van *general self-efficacy* zouden klimaatangst kunnen verminderen, en ook een positief effect kunnen hebben op andere gezondheidseffecten van klimaatverandering (Innocenti et al., 2023).

UV-straling

Het is nog niet duidelijk in hoeverre zongedrag verandert door klimaatverandering, en of mensen bijvoorbeeld vaker of langer buiten zullen zijn. Ook is het niet bekend of klimaatverandering bijdraagt aan een toenemend bewustzijn over de gevaren van de zon en daarmee

zonbeschermingsgedrag bevordert. Onderzoek uit het buitenland laat in ieder geval zien dat ondanks jarenlange publiekscampagnes zonbeschermingsgedrag achterblijft. Bijvoorbeeld, in Australië zijn door de jaren heen sommige aspecten van zonbeschermingsgedrag licht verbeterd, maar het gebruik van zonbescherming blijft relatief laag (Barrett et al., 2019).

Recent onderzoek in Nederland geeft aan dat mensen bij de negatieve effecten van de zon vooral denken aan verbranding, en in mindere mate aan huidkanker. Bij beschermingsmaatregelen gaat men vooral uit van zonnebrandcrème, terwijl er minder wordt gedacht aan weren en kleren. Vaak wordt warmte gebruikt als trigger om maatregelen te nemen. En schaduw wordt vooral gezocht om warmte te vermijden niet om te beschermen tegen de schadelijke effecten van de zon. De UV-index is voor veel mensen onbekend, en ook na uitleg moeilijk te interpreteren. Ook zien mensen in de lente minder noodzaak om maatregelen te treffen vergeleken met in de zomer, terwijl er sprake kan zijn van dezelfde zonkracht (Mehra & Woutersen, 2024).

Informatiecampagnes om zonbeschermingsgedrag aan te moedigen, hebben op de lange termijn alleen effecten als tegelijkertijd wordt ingezet op verschillende strategieën om risicovol gedrag te voorkomen (Barrett et al., 2019). Daarbij is aandacht nodig voor het creëren van bewustzijn van de lange termijn risico's, en het geven van handelingsperspectief (met name over de momenten en de wijze waarop de maatregelen getroffen dienen te worden) (Mehra & Woutersen, 2024).

Voedsel(veiligheid)

Er is beperkt onderzoek gedaan naar de rol van percepties en gedrag in de context van klimaatverandering, voedsel(veiligheid) en gezondheid²¹. In overzichtsartikelen wordt wel benadrukt dat sociale factoren, zoals aanpassingen in consumptiegedrag, een onzekerheidsfactor zijn in het bepalen van de impact van klimaatverandering op de voedselveiligheid. Een goede voorbereiding op (nieuwe) risico's voor de voedselveiligheid vereist daarom beter inzicht in consumentengedrag. Daarnaast is het nodig dat consumenten geïnformeerd worden over nieuwe risico's die ontstaan door klimaatverandering en hoe ze hiermee om kunnen gaan, om blootstelling aan ziekteverwekkers te voorkomen (Tirado et al., 2010).

Als mogelijk neveneffect noemen de onderzoekers dat informatie over risico's het vertrouwen van consumenten in het eten van producten kan schaden die ook gezondheidsvoordelen met zich meenemen. (Bijvoorbeeld vis- en zeevruchten en hun positieve effect op hart- en vaatziekten; Marques et al., 2010.)

²¹ In de context van klimaatadaptatie richt het onderzoek zich met name op de bereidheid van mensen om hun dieet aan te passen (zie bijvoorbeeld Lehmann et al., 2025).

Deel 2 – Effectiviteit en uitvoerbaarheid van adaptatiemaatregelen voor gezondheid

Deel 1 van dit rapport beschrijft de gezondheidseffecten van de verwachte toekomstige klimaatverandering, afhankelijk van het contextscenario (beperkt risico-verhogend of sterk risico-verhogend). Onder beide contextscenario's nemen gezondheidsrisico's toe. Deze kunnen met adaptatiemaatregelen worden voorkomen of beperkt.

Deel 2 beschrijft de effectiviteit en haalbaarheid van het treffen van adaptatiemaatregelen om de in deel 1 beschreven gezondheidseffecten te beperken. In deel 2 gebruiken we de twee adaptatiescenario's die het PBL heeft uitgewerkt: Intensiveren en Transformeren. Deze beide scenario's hebben we aangevuld met maatregelen gericht op het verminderen van gezondheidseffecten van klimaatverandering. Hoofdstuk 10 omschrijft wat de beide adaptatiescenario's inhouden. In hoofdstuk 11 is beschreven wat de effecten van de mogelijke adaptatiemaatregelen zijn op gezondheid, terwijl hoofdstuk 12 bespreekt in hoeverre de adaptatiescenario's effectief en haalbaar zijn. Het rapport sluit af met hoofdstuk 13 door de contextscenario's en de adaptatiescenario's te vergelijken, en advies te geven over beleidsopties.

10 Beschrijving adaptatiescenario's

Klimaatverandering brengt verschillende risico's met zich mee voor de volksgezondheid (zie deel 1 van dit rapport). Om te verkennen hoe adaptatiebeleid klimaatrisico's kan beperken, heeft het PBL twee adaptatiescenario's opgesteld: Intensiveren en Transformeren (Van Gaalen et al., 2026). Deze scenario's beschrijven ieder een specifiek pakket aan maatregelen, gebaseerd op verschillende beleidsrichtingen en onderliggende aannames (zie Tabel 10.1).

Beide scenario's zijn in workshops met RIVM-experts verder aangevuld met maatregelen die specifiek gericht zijn op het verminderen van gezondheidseffecten van klimaatverandering in beide scenario's. Deze aanvullingen zijn tot stand gekomen op basis van literatuur, expertkennis en de NAS-adaptatiepaden (ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2026; (zie Tabel 10.1).

Dit hoofdstuk beschrijft eerst de beide adaptatiescenario's zoals ze door PBL zijn opgesteld, met focus op aspecten die relevant zijn voor gezondheid. Vervolgens wordt toegelicht met welke gezondheidsmaatregelen de scenario's zijn uitgebreid. Het hoofdstuk beschrijft eerst het adaptatiescenario Intensiveren (zie paragraaf 10.1), daarna komt Transformeren aan bod (zie paragraaf 10.2).

Tabel 10.1 De verschillende aannames in beide adaptatiescenario's

Adaptatiescenario	Intensiveren	Transformeren
<i>Aannames PBL-scenario's:</i>		
Oplossingsrichting	Vertrouwen in techniek	Vertrouwen in robuuste systemen
Regie	Marktdenken en individu	Regie van overheid
Aanpak	Individueel & sectoraal	Collectief & integraal
Ruimtegebruik	"Alles blijft hetzelfde"	"Functie volgt systeem"
<i>Aanvullende aanname:</i>		
Sociaal-maatschappelijk	Zelfredzaamheid	Samenredzaamheid

10.1 Adaptatiescenario Intensiveren

10.1.1 Beschrijving PBL-adaptatiescenario Intensiveren

Het PBL-adaptatiescenario *Intensiveren* is gericht op het doorontwikkelen en intensiveren van het huidige klimaatadaptatiebeleid. De focus van het scenario ligt daarmee op technische maatregelen om de huidige systemen en het ruimtegebruik op orde te houden of te verbeteren. Hierbij worden geen aanzienlijke aanpassingen gedaan qua ruimtegebruik. We blijven dus in grote lijnen dezelfde dingen doen op dezelfde locaties, maar streven met gerichte sectorale maatregelen naar vermindering van de effecten van klimaatverandering.

Dit scenario gaat uit van een individualistische samenleving, waarin de focus ligt op zelfredzaamheid. Verder domineert in dit scenario het marktdenken: de markt besluit waar en wanneer maatregelen getroffen worden.

De houding tegenover de natuur is dat de mens over de natuur heerst en die kan gebruiken, maar ook dat de mens ervoor dient te zorgen. Alle plekken die nu natuur of landbouw zijn, blijven vaak dezelfde functie houden. Wel worden natuurgebieden aan elkaar verbonden volgens het huidige beleid (Natuurnetwerk Nederland wordt gerealiseerd) en worden nieuwe kleinschalige natuurgebieden ontwikkeld.

De plek van adaptatiemaatregelen hangt vooral af van economische efficiëntie en de nagestreefde kwaliteit van wijken. De economisch meest efficiënte adaptatiemaatregelen hebben prioriteit (in gebieden met zowel de dichtste bevolking als de meeste economische activiteit). In wijken waar mensen wonen met een lagere sociaaleconomische status (SES) krijgt adaptatie hierdoor minder aandacht.

De centrale overtuiging in het omgaan met klimaatverandering in dit scenario is dat de omgeving maakbaar is en indien nodig aangepast kan worden aan het gewenste gebruik. Economische waarden worden gecentraliseerd beschermd tegen zeespiegelstijging en overstromingen. Bescherming tegen extreme neerslag, droogte en hitte, en bescherming van overige gebruiksfuncties kunnen lokaal worden opgelost en worden daarom overgelaten aan lokale initiatieven. Er is dus sprake van een mix van een centrale en decentrale insteek. Adaptatie in stedelijk gebied met een hoge economische waarde (veel bedrijvigheid of toeristisch belangrijk) wordt centraal gestuurd, maar decentraal opgepakt en geregeld. Voor het overige zijn individuen (burgers, ondernemers) zelf aan zet.

10.1.2 *Aanvullende adaptatiemaatregelen vanuit gezondheid*

Elk van de adaptatiescenario's krijgt vorm via aannames en leidende keuzes (zie ook Tabel 10.1). Deze werken door in de adaptatiemaatregelen voor gezondheid. In de volgende bullets is benoemd welke aannames voor gezondheid van belang zijn in het scenario *Intensiveren*. Vervolgens wordt in paragrafen uitgewerkt wat dit betekent voor gezondheid:

- Om ondanks klimaatverandering het huidige gebruik van onze woon-, werk- en leefomgeving te kunnen behouden, worden technologische maatregelen genomen. Ook gezondheidsrisico's van klimaatverandering worden aangepakt door technische maatregelen, om de oorzaak te bestrijden (infectieziekten), of blootstelling te voorkomen (hitte, pollen, muggen, plaagdieren). Burgers en bedrijven treffen vooral zelf maatregelen.
- *Intensiveren* vraagt om continu bijstellen van beleid als klimaatverandering verder doorzet. De overheid monitort hoe de gezondheidsrisico's en klimaatadaptatie zich ontwikkelen, zodat beleid waar nodig versterkt kan worden.
- De sectorale aanpak met verantwoordelijkheid bij het individu betekent dat de overheid inzet op verbetering van monitoring van de risico's en waarschuwing aan burgers, bedrijven en instellingen, en het bieden van algemene adviezen.

- In deze aanpak blijft ook de aanpak van de zorgsector gelijk: de nadruk ligt daarbij op curatieve zorg en slechts beperkt op preventie. De rol van de overheid is hierbij om meer te investeren in zorgcapaciteit. De focus op de individuele verantwoordelijkheid betekent dat extra zorgkosten ook individueel worden gedragen
- Daarnaast zal in de zorg de keuze voor technologische oplossingen betekenen dat innovaties in diagnostiek, medicatie en behandeling gebruikt worden om klimaatgerelateerde gezondheidseffecten beter op te vangen. Hiervoor is een regelmatige bijscholing nodig.

10.1.2.1 Technologische maatregelen en ontwikkelingen

Hitte wordt buitengehouden door verschillende technieken toe te passen op bestaande woningen, zoals zonwering en groene daken. Met airconditioning worden gebouwen gekoeld door de mensen voor wie dit financieel toegankelijk is. Vectoroverdraagbare infectieziekten worden zoveel mogelijk beperkt door muggen buiten huis te houden, bijvoorbeeld met horren. Om blootstelling aan UV-straling en hitte bij speeltuinen, kinderdagverblijven en schoolpleinen te beperken, wordt ingezet op schaduw creëren tijdens hete zonnige dagen, bijvoorbeeld met schaduwdoeken.

Daarnaast zal het door verbeterde detectiemethoden mogelijk zijn om opkomende toxinen en pathogenen (ziekteverwekkers) sneller op te sporen. Worden de koelketens versterkt om bederf en groei van pathogenen te voorkomen in een veranderend klimaat. En wordt er ingezet op het telen van klimaatbestendige gewassen om voedselzekerheid te bieden.

10.1.2.2 Verbetering monitoring en waarschuwing voor burgers

Naast technologische ontwikkeling zet de overheid in op het versterken van monitoringssystemen om burgers te waarschuwen bij risicovolle klimaatomstandigheden. Hier gaat het om hitte, infectieziekten, luchtkwaliteit, UV-straling en pollen. De overheid verstrekt algemene adviezen aan burgers en bedrijven. Burgers en bedrijven zijn zelf verantwoordelijk voor hun voorbereiding op risicovolle klimaatomstandigheden.

10.1.2.3 Monitoring voor beleid

Daarnaast wordt er ingezet op monitoring van gezondheidseffecten van klimaatverandering om het beleid te versterken. Dit betekent dat de rijksoverheid vinger aan de pols houdt wat betreft de ontwikkeling van gezondheidseffecten over de jaren heen. Hierbij zet de rijksoverheid in op de verschillende aspecten waarlangs klimaatverandering effect heeft op gezondheid, namelijk mentale gezondheid, gedrag en perceptie, hitte, infectieziekten, luchtkwaliteit, UV-straling en pollen. Met deze informatie kan de overheid bepalen of er meer technologische maatregelen nodig zijn en welke rol overheid, burgers en bedrijven daarin hebben.

- 10.1.2.4 **Versterken zorg(capaciteit)**
Om de stijgende ziektelast door klimaatverandering en vergrijzing te kunnen opvangen, is het noodzakelijk om het zorgsysteem te versterken.
Ook in de zorg vinden technologische ontwikkelingen plaats waarmee de gezondheidseffecten die optreden (vroegtijdig) zijn aan te pakken. Denk aan verbeterde diagnostisering van ziektes en verbeterde medicijnen en behandelingen. Om zorgkosten beheersbaar te houden, zal de innovatieve zorg maar deels vergoed worden en daardoor vooral beschikbaar zijn voor wie het kan betalen.
- 10.1.2.5 **Bijscholing effect klimaatverandering op ziektelast**
Ook wordt (zorg)personeel opgeleid over de effecten van klimaatverandering op gezondheid. Behandelprotocollen en verpleegkundige of medische richtlijnen worden steeds aangepast aan nieuwe inzichten in het beheersen van gezondheidsrisico's van klimaatverandering. Zo kan het zorgpersoneel tijdig klachten herkennen en een goede behandeling geven. Daarnaast weet het zorgpersoneel beter welke informatie ze aan patiënten kunnen meegeven.

10.2 Scenario Transformeren

10.2.1 Beschrijving PBL-scenario Transformeren

Omdat in veel gevallen niet exact bekend is welke gevolgen van klimaatverandering precies zijn te verwachten, wordt in *Transformeren* toegewerkt naar robuuste natuurlijke systemen. Door deze aanpak wordt de fysieke leefomgeving weerbaarder, en daardoor beter bestand tegen verschillende klimaatrisico's. Daarnaast is er aandacht voor samenwerking en afstemming tussen verschillende sectoren (integrale aanpak). Door deze afstemming zijn meekoppelkansen beter te verzilveren. Hierbij focust het PBL op het duurzaam benutten van het natuurlijk systeem, door aanpassing van landgebruik, (infra)structuren en/of ruimtelijke functies, passend bij het water- en bodemsysteem en het veranderende klimaat (Van Gaalen, 2024; WKR, 2025). In deze toekomst worden klimaatrisico's dus beperkt door ecologische veerkracht als uitgangspunt te nemen.

Klimaatadaptatie wordt in *Transformeren* gezien als een collectieve publieke opdracht, onder regie van de rijksoverheid. Natuurgebieden zijn vergroot en met elkaar verbonden om hitte, droogte en wateroverlast beter te kunnen weerstaan. Ook zijn er beperkt grote waterbuffers aangelegd.

De lasten van adaptatiemaatregelen worden gezamenlijk gedragen. Er wordt vooral gekozen voor overkoepelende en integrale oplossingen, zoals ruimtelijke ordening en inrichting op basis van het principe Water en Bodem Sturend' (minister van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Op verschillende bestuursniveaus worden keuzes gemaakt in welke mate klimaatrisico's acceptabel zijn en welke maatregelen worden genomen om de klimaatrisico's nu en in de toekomst te verminderen.

10.2.2 *Specifieke adaptatiemaatregelen vanuit gezondheidsperspectief*

De adaptatiescenario's zijn aangevuld met adaptatiemaatregelen die RIVM-experts vanuit een het gezondheidsperspectief als kansrijk aanschouwden.

In de volgende opsomming benoemen we welke aannames in het scenario *Transformeren* aanvullend van belang zijn voor gezondheid en wat dit betekent voor gezondheidsmaatregelen:

- Waar in het door het PBL beschreven *transformeren*-scenario de focus ligt op robuuste *natuurlijke systemen*, legt het RIVM aanvullend focus op robuuste systemen in de sociaal-maatschappelijke leefomgeving, waaronder het zorgsysteem, vanwege het belang ervan voor gezondheidseffecten van klimaatverandering en effectiviteit van adaptatiemaatregelen.
- Het streven naar robuuste natuurlijke én sociaal-maatschappelijke systemen binnen het *transformeren*-scenario vertaalt zich naar een leefomgeving, waarin gezondheidsbedreigingen worden beperkt en gezondheidskansen worden benut. Waar bij het scenario *Intensiveren* de focus ligt op het uitsluitend tegengaan van bronnen van gezondheidsrisico's in de leefomgeving, ligt in het scenario *Transformeren* de nadruk op het beperken of wegnemen van deze bronnen in combinatie met het benutten van gezondheidskansen. Bijvoorbeeld door het vergroenen van de leefomgeving, natuurinclusief bouwen, het vergroten van biodiversiteit en veerkrachtige ecosystemen.
- Met de collectieve aanpak met regie bij het Rijk kunnen in het scenario *Transformeren* gezondheidsrisico's worden beperkt via sociaal-maatschappelijke veranderingen. Hiermee worden gedragsveranderingen die gezondheidsrisico's kunnen beperken in onze samenleving structureel mogelijk gemaakt. Van kleine aanpassingen, zoals aangepaste tijden voor evenementen, tot grote aanpassingen, zoals samenredzaamheid in tijden van nood, of het veranderen van dagritmes en sociale normen.
- In het scenario *Transformeren* ligt de regie bij de overheid en stelt deze robuuste oplossingen voor de langere termijn voor. Voor gezondheid zijn in lijn hiermee aan dit scenario twee elementen toegevoegd. Een regievoerende overheid werkt ook aan het versterken van het vertrouwen in de overheid om maatschappelijke problemen aan te pakken. En een regievoerende overheid met focus op een collectieve aanpak geeft in dit scenario extra aandacht aan mensen in kwetsbare posities.
- De keuze voor integrale oplossingen binnen het scenario *Transformeren* betekent dat ook de gezondheidsrisico's van klimaatverandering in deze integrale afwegingen worden meegenomen ('health in all policies'). Ook worden in het scenario *Transformeren* adaptatiemaatregelen getroffen waar dat nodig is, ongeacht sociaal-economische status, waardoor alle inwoners in Nederland kunnen profiteren.
- De focus op robuuste systemen, op het collectief en een integrale benadering vertaalt zich naar het zorgsysteem in een verschuiving van curatieve zorg naar maatregelen gericht op preventie van gezondheidseffecten door klimaatverandering en adaptatiebeleid. Naast op de specifieke gezondheidsrisico's van klimaatverandering gerichte preventieve maatregelen gaat het

hier nadrukkelijk ook om integrale preventie, gericht op het gezonder krijgen van de bevolking als geheel, en daarmee weerbaarder.

- 10.2.2.1 **Aanpassen leefomgeving**
Binnen *Transformeren* wordt ingezet op aanpassing van de leefomgeving, zodat natuurlijke systemen beter tegen klimaatverandering zijn opgewassen. Voor het tegengaan van gezondheidsrisico's van klimaatverandering zet dit scenario in op radicaal vergroenen van de leefomgeving en natuurinclusief bouwen, waarbij er in het ontwerp rekening wordt gehouden met hitte, UV-straling, pollen en infectieziekten. De leefomgeving wordt zodanig ingericht, dat openbare ontmoetingsplekken genoeg schaduw hebben. Ook wordt actief ingezet op het vergroten van biodiversiteit en veerkrachtige ecosystemen, waardoor risico's op infectieziekten worden verkleind. Gezien de integrale aanpak in dit scenario worden ook koppelkansen benut voor het bevorderen van gezondheid. Dit gebeurt bijvoorbeeld door een omgeving te creëren, die uitnodigt tot bewegen en ontmoeten.
- 10.2.2.2 **Sociaal-maatschappelijke aanpassingen**
Het PBL-scenario *Transformeren* geeft nog weinig invulling aan sociaal-maatschappelijke aanpassingen. Voor gezondheidsrisico's zijn juist deze ontwikkelingen van belang. Daarom zijn door het RIVM sociaal-maatschappelijke maatregelen toegevoegd. Zo worden de randvoorwaarden gecreëerd en wordt de samenleving gestimuleerd om het dagritme van de samenleving afhankelijk van de buitentemperatuur en zonkracht aan te passen. (Sport)activiteiten worden georganiseerd op momenten dat de weersomstandigheden hiervoor geschikt zijn, qua hitte, luchtkwaliteit, UV-straling en pollen. Wanneer de weersomstandigheden niet voldoen, worden activiteiten verplaatst. De sociale norm verschuift zodanig, dat het schoonheidsideaal van een zongebruinde huid niet meer de norm is. Het wordt ook de sociale norm om kinderen veel in de natuur buiten te laten spelen, zodat hun immuunsysteem vanaf jonge leeftijd actief getraind wordt. Daarnaast verschuift de focus van verantwoordelijkheid bij het individu en zelfredzaamheid, zoals in het scenario *Intensiveren*, naar een focus op sociale cohesie en samenredzaamheid, om ook sociaal weerbaarder te zijn tegen effecten van klimaatverandering.
- 10.2.2.3 **Daadkrachtig klimaatbeleid**
De overheid zet in op klimaatbeleid waarbij de rijksoverheid de regie heeft en zich inspant om het vertrouwen in de overheid te verhogen. Ook wordt er extra aandacht besteed aan kwetsbare groepen, zodat iedereen kan meekomen in de samenleving. Dit zorgt ook voor een mentaal weerbaardere samenleving.
- 10.2.2.4 **Preventieve maatregelen**
Om het zorgsysteem te ontzien, wordt er ingezet op preventie, om ziekten zoveel mogelijk te voorkomen en de behoefte aan curatieve zorg te verkleinen. Op verschillende manieren wordt hieraan invulling gegeven. Zo wordt op grote schaal ingezet op vaccinatie en screening. Ook wordt extra aandacht besteed aan mensen met toenemende allergische reacties en wordt er grootschaliger ingezet op

desensibilisering (het verminderen van symptomen bij blootstelling aan allergenen).

Om de bevolking in algehele zin fysiek weerbaarder te maken voor effecten van klimaatverandering, wordt ingezet op preventie door gezonde voeding en meer beweging.

Deze maatregelen passen binnen een integrale aanpak van gezondheid, die zowel de gezondheid beschermt als bevordert.

11 Effecten adaptatiescenario's op gezondheid

Hoofdstuk 10 beschreef aanvullingen op de beide adaptatiescenario's vanuit thema Gezondheid. Dit hoofdstuk beschrijft het effect van deze aanvullingen op gezondheid en zorg. Het gaat dan zowel om hoe deze scenario's de gezondheidseffecten van klimaatverandering beïnvloeden, als om andere gezondheidseffecten van de aanvullende adaptatiemaatregelen. Het gaat in dit hoofdstuk niet over de gezondheidseffecten van adaptatiemaatregelen van de andere sectoren waarvoor het PBL de klimaatrisico's heeft geanalyseerd. Dat valt buiten de scope van deze studie.

11.1 Scenario Intensiveren

11.1.1 Technologische ontwikkelingen

Door technologische ontwikkelingen (zoals snellere detectiemethoden en airconditioning), is de blootstelling aan klimaatgerelateerde stressoren zoals hitte, UV-straling en infectieziekten op de korte termijn te beperken. Dit draagt bij aan het verminderen van de gezondheidseffecten van klimaatverandering en de bijbehorende zorgvraag, al zal het effect sterk per bevolkingsgroep verschillen.

Er zitten aan technologische ontwikkelingen echter ook nadelen. Zo gaat het energieverbruik omhoog door de toename aan benodigde apparatuur, vergroot het gebruik van airconditioning de hitteproblematiek buitenshuis (en mogelijk bij de burens) en kunnen installaties geluidsoverlast veroorzaken (met gezondheidseffecten als gevolg).

Gebruikmaken van technologische ontwikkelingen kan op de korte termijn helpen met het beperken van gezondheidseffecten door klimaatverandering. Het is de vraag of dit voldoende zal zijn in het Sterk risico-verhogend (SRV) scenario om de gezondheidseffecten te beperken.

Bovendien moeten in dit scenario sectoren en burgers zelf betalen voor klimaatadaptatie. Kwetsbare groepen in de samenleving kunnen minder of geen geld investeren in technologische maatregelen en daardoor niet meeprofiteren van de voordelen ervan (bijvoorbeeld lager energieverbruik). De sociale ongelijkheid neemt hierdoor toe. Een mogelijke consequentie van toenemende gezondheidseffecten kan zijn dat het zorgsysteem verder onder druk komt te staan.

Het is de vraag hoeveel is te bereiken met de inzet op technologische maatregelen als de verantwoordelijkheid ervoor bij individuen en bedrijven ligt. Door de verscheidenheid aan beweegredenen om wel of niet adaptatie te implementeren, is het onzeker of dit op grootschalige schaal gaat plaatsvinden. De mogelijk beperkte inzet op het implementeren van adaptatiemaatregelen kan betekenen dat er een grens is aan wat het *intensiveren-scenario* aan gezondheidswinst kan opleveren.

- 11.1.2** *Verbetering monitoring en waarschuwing voor burgers*
 Betere monitoring en waarschuwingen leiden alleen tot gezondheidswinst als mensen vervolgens daadwerkelijk hun gedrag veranderen. Aangezien de verantwoordelijkheid daarvoor bij *Intensiveren* bij het individu ligt, is de verwachting dat een betere monitoring en waarschuwing vooral hoger opgeleide groepen in de samenleving zal helpen. Met als gevolg dat gezondheidsverschillen toenemen, omdat deze aanpak minder bijdraagt aan het verminderen van gezondheidseffecten en zorggebruik bij kwetsbare groepen. Het intensiveren van de monitoring kan ervoor zorgen dat duidelijker wordt welke gezondheidseffecten we kunnen verwachten bij bepaalde blootstellingswaarden en wat de handelingsopties zijn voor burgers. Een negatief effect van meer monitoring en waarschuwing is dat het kan leiden tot een toename in ongerustheid. Dat heeft effect op de mentale gezondheid van burgers (Charles et al., 2022).
- 11.1.3** *Monitoring voor beleid*
 Het is van belang om de effectiviteit van beleid blijvend te monitoren. Op deze manier is controleerbaar of we onze doelen halen (zoals geformuleerd in de Nationale Adaptatie Strategie (NAS)) en bijsturen wanneer de doelen niet worden gehaald. Dit kan eraan bijdragen dat de klimaatgerelateerde gezondheidseffecten beperkt worden.
- 11.1.4** *Versterken zorgcapaciteit*
 Het versterken van de zorgcapaciteit gaat de zorgvraag niet tegen, maar kan wel het zorgaanbod vergroten. Hierdoor kan de zorg beter de groeiende vraag naar zorg opvangen. Aangezien de verantwoordelijkheid bij het individu gelegd wordt in dit scenario, zal de betaalbaarheid van de zorg mede bepalen wie gebruik kan maken van het toegenomen zorgaanbod. Hierdoor kunnen gezondheidsverschillen tussen mensen in verschillende inkomensklassen groter worden.
- 11.1.5** *Bijscholing effect klimaatverandering op ziektelast*
 Bijscholing van zorgpersoneel over de effecten van klimaatverandering op de ziektelast en hoe hiermee om te gaan, zal de zorgvraag niet verminderen. Bijscholing kan echter wel ervoor zorgen dat zorgpersoneel beter is voorbereid op de toekomstige zorgvraag en beter erop kan reageren. Hierdoor zal er een betere balans zijn tussen vraag en aanbod van zorg.

Deze maatregel zal het meest effectief zijn wanneer deze wordt uitgevoerd in combinatie met het versterken van de zorgcapaciteit.

11.2 Scenario Transformeren

- 11.2.1** *Aanpassen leefomgeving*
 Het aanpassen van de leefomgeving biedt veel kansen om negatieve gezondheidseffecten op de lange termijn aanzienlijk te verminderen en/of de gezondheid te bevorderen, en tegelijk mogelijk negatieve effecten van aanpassingen van de leefomgeving te voorkomen of beperken. Het is daarvoor nodig dat gezondheid in een vroeg stadium in ruimtelijke plannen wordt meegenomen.

Door natuurinclusief te bouwen (een aanpak waarbij er tijdens het ontwerpen en maken van gebouwen en de openbare ruimte eromheen, rekening wordt gehouden met de natuur en biodiversiteit) komt er meer ruimte voor groen (planten, bomen) en blauw (waterbuffers) in de gebouwde omgeving. Hierdoor zal de omgeving op hete dagen minder opwarmen en sneller afkoelen. Daarnaast biedt groen via schaduw bescherming tegen UV-straling. Ook draagt het zien van groen en blauw bij aan de mentale gezondheid (White et al., 2021).

Verder motiveert een groene omgeving mensen om vaker de deur uit te komen en meer te bewegen (Schipperijn et al., 2013). De omgeving is ook zodanig in te richten dat het mensen motiveert om meer te bewegen (Laddu et al., 2021). Beweging is een belangrijk onderdeel van een gezonde levensstijl, waarmee de ziektelast in Nederland kan worden verlaagd.

De leefomgeving kan structureel zo worden ingericht dat er genoeg schaduw is om op warme dagen beschut door de leefomgeving te kunnen bewegen en/of elkaar te kunnen ontmoeten. Op deze manier is blootstelling aan hitte en UV-straling terug te dringen. Schaduwrijke ontmoetingsplekken kunnen ook een positief effect hebben op de sociale cohesie in de buurt. Dat heeft op haar beurt een positief effect op mentale gezondheid en de weerbaarheid van de buurt als gemeenschap (Wilson et al., 2024; Qi et al., 2024).

Ook kan er door het vergroenen van de leefomgeving meer ruimte worden gecreëerd voor biodiversiteit en robuuste ecosystemen. Dit vergroot de weerbaarheid van de fysieke leefomgeving tegen weersextremen, door verkoeling te bieden tijdens hitte en water op te vangen tijdens extreme neerslag.

Door bij het vergroenen van de leefomgeving rekening te houden met pollen en infectieziekten, kunnen negatieve gezondheidseffecten daarvan worden voorkomen of beperkt. Dit betekent concreet dat bij het inrichten van de leefomgeving rekening wordt gehouden met de allergeniciteit van planten en bomen en aanleg van een leefomgeving waar vectoren voor infectieziekten in gedijen (denk aan stilstaand water) wordt voorkomen.

Bij verdichting van de stedelijke omgeving in dit scenario brengt vergroenen echter een groeiende uitdaging met zich mee. Door verdichting neemt het stedelijk hitte eiland effect toe en is meer inzet nodig om met vergroening hitte in de stad te verminderen.

Het scenario *Transformeren* behelst onder andere een aanpassing van landgebruik, structuren en/of functies, passend bij het water- en bodemsysteem en het veranderende klimaat volgens het principe Water en Bodem Sturend (WBS) bij ruimtelijke planvorming. Hierdoor wordt Nederland meer klimaatbestendig, zijn klimaatextremen beter op te vangen en kan angst voor ontwrichtende gebeurtenissen door extreem weer verminderen. Dit kan leiden tot een vermindering van mentale gezondheidsklachten door klimaatverandering.

11.2.2 *Sociaal-maatschappelijke aanpassingen*

Sociaal-maatschappelijke aanpassingen bieden ook kansen om de gezondheidseffecten van klimaatverandering te beperken.

Ten eerste kunnen aanpassingen van dagritme en timing van activiteiten negatieve gezondheidseffecten beperken. Zo zou een siësta houden op het heetst van de dag, net zoals in de Zuid-Europese landen, kunnen bijdragen aan het verminderen van blootstelling aan hitte. Mensen kunnen lichamelijk zware activiteiten (bijvoorbeeld sporten) beter doen op momenten dat het minder heet is, zoals in de ochtend of in de avond. Dit helpt niet alleen tegen blootstelling aan hitte, maar ook tegen blootstelling aan UV. Evenementen die buiten plaatsvinden kunnen bij bepaalde klimaatomstandigheden (bijvoorbeeld hitte in combinatie met luchtverontreiniging) worden uitgesteld.

Het aanpassen van dagritme kan de druk op de zorg verlagen, doordat de gezondheidseffecten worden beperkt. Deze aanpassing vraagt echter ook mogelijk aanpassingen van zorgpersoneel. Dat kan de combinatie werk-privé juist gemakkelijker of lastiger maken.

Ten tweede zouden op de langere termijn gezondheidsproblemen kunnen worden beperkt als kinderen meer buitenspelen in de natuur. Door buiten te spelen, worden kinderen blootgesteld aan natuurlijke ziekteverwekkers. Hierdoor wordt het immuunsysteem goed getraind. Uit onderzoek blijkt dat mensen die op jonge leeftijd veel buiten spelen een lagere kans hebben tot het ontwikkelen van allergieën (Haahtela et al., 2021; Brough et al., 2022).

Ten derde zou het aanpassen van bepaalde sociale normen kunnen bijdragen aan het beperken van klimaatgerelateerde gezondheidseffecten. Zo zou het aanpassen van het schoonheidsideaal van een zongebruinde huid de blootstelling aan UV kunnen beperken. Daarnaast zou het aanpassen van kantoortijden kunnen bijdragen aan het beperken van gezondheidsklachten door klimaatverandering. Ten vierde zouden gezondheidseffecten beperkt kunnen worden als de focus van de overheid van individuele verantwoordelijkheid en zelfredzaamheid zou verschuiven naar collectivisme, sociale cohesie en samenredzaamheid. Door op naasten te letten, kunnen (gezondheids)problemen eerder worden gesignaleerd en aangepakt (Fikke & Claassen, 2025, Hulscher et al., 2025). Door naasten te steunen, wordt de druk op de zorg ook lager. Een voorbeeld hiervan is hoe de boodschap van het Nationaal Hitteplan bij activatie verschoven is van zelfredzaamheid naar samenredzaamheid. Dit versterkt de sociale weerbaarheid.

11.2.3 *Daadkrachtig klimaatbeleid*

Met klimaatbeleid zijn veel gezondheidsproblemen te voorkomen en kan de mentale gezondheid worden verbeterd. Wanneer zichtbaar wordt ingezet op klimaatmitigatie en -adaptatie kunnen de klachten door klimaatgerelateerde angst worden verminderd en kan het vertrouwen in de overheid worden versterkt. Met extra aandacht voor kwetsbare groepen kan klimaatbeleid bijdragen aan een samenleving die weerbaarder is. Mentale gezondheid onder de kwetsbare groepen zal ook verbeteren. En omdat de gehele samenleving kan meekomen, zal de algehele volksgezondheid verbeteren. Door dergelijk klimaatbeleid kan de vraag naar zorg afnemen.

11.2.4 *Preventiemaatregelen*

In het zorgbeleid kunnen ook maatregelen worden getroffen om de gezondheidseffecten van klimaatverandering te beperken. Zo kan er extra worden ingezet op vaccinatie, screening en desensibilisering. Door extra in te zetten op vaccinatie, kunnen veel ziektegevallen door klimaatverandering worden voorkomen. Met screening kunnen ziektegevallen in een vroeg stadium worden gevonden en behandeld. Dit voorkomt dat de ziekte erger wordt en zal leiden tot minder langdurig zorgverbruik. Om toenemende hooikoortsklachten te behandelen, kan actiever worden ingezet op desensibilisering. Op deze manier kunnen mensen met hooikoortsklachten aan de samenleving blijven deelnemen wanneer pollenpieken hoog zijn.

Deze maatregelen leiden op de langere termijn tot een daling van de zorgvraag en druk op de zorg, maar zal op de korte termijn de druk op de zorg vergroten.

Om de bevolking in algehele zin fysiek weerbaarder te maken voor effecten van klimaatverandering, kan meer worden ingezet op een gezondere leefstijl. Bijvoorbeeld via gezonde voeding en meer beweging.

12 Discussie uitvoerbaarheid adaptatiescenario's

De scenario's Intensiveren en Transformeren zijn in hoofdstuk 11 beoordeeld op de gezondheidseffecten, zonder te beoordelen of de opgenomen maatregelen haalbaar zijn. Om te beoordelen of de scenario's uitvoerbaar zijn, reflecteert dit hoofdstuk vanuit gezondheidsperspectief op een aantal algemene randvoorwaarden. Deze algemene randvoorwaarden bepalen namelijk deels bij wie gezondheidseffecten landen en hoe de impact op gezondheid in beide scenario's uitpakt.

12.1 (Zorg)capaciteit

De zorg staat op dit moment al onder druk en de druk neemt verder toen door stressoren, zoals vergrijzing en klimaatverandering (Den Broeder et al., 2024). Op dit moment is het al noodzaak om te investeren in de zorg om de huidige en in de toekomst verwachte druk op de zorg aan te kunnen.

Het versterken van zorgcapaciteit in het *intensiveren*-scenario is vermoedelijk niet uitvoerbaar met meer personeel, omdat er op dit moment al een tekort aan personeel is, iets wat in de komende jaren alleen maar groter dreigt te worden, en een hoge werkdruk. Het versterken van de zorgcapaciteit zal daarom voor een groot deel afhangen van het ontwikkelen en het gebruik van nieuwe technologieën, zoals AI, robotica en domotica (het automatiseren van processen rond een woning).

Omdat het verschuiven van het zorgbeleid van curatief naar preventief niet meteen effect heeft op het voorkomen van ziekte, gaat in het *transformeren*-scenario de zorgvraag eerst nog omhoog, voordat deze op termijn naar beneden gaat. Het implementeren van preventieve maatregelen is alleen mogelijk als het huidige zorgsysteem de capaciteit heeft om die extra (preventieve) zorg te kunnen leveren. Het is de vraag of het huidige zorgsysteem dat aankan, of dat er extra maatregelen nodig zouden zijn om dit mogelijk te maken. Als er tegelijkertijd technische maatregelen worden getroffen uit het *intensiveren*-scenario, wordt bijgedragen aan het voorbereiden van de zorg op de toekomst.

Daarnaast is het verschuiven van het zorgbeleid van curatief naar preventief ook alleen mogelijk als het verdienmodel van de zorgindustrie verandert. Deze moet zodanig veranderen dat preventie aantrekkelijker wordt dan genezen. Een zodanige verschuiving in verdienbeleid zou genoeg aanleiding geven voor de zorgindustrie om in preventie te investeren.

12.2 Financieel

In het *intensiveren*-scenario vallen de investeringskosten voor de overheid vermoedelijk lager uit, en liggen de adaptatiemaatregelenkosten vooral bij de sectoren en burgers zelf. Hierdoor moeten sectoren en burgers zelf genoeg geld hebben en dit ook willen betalen voor klimaatadaptatie. Dit betekent dat kwetsbare

groepen in de samenleving de investering waarschijnlijk niet kunnen maken. De kwetsbare groepen zullen hierdoor meer klimaatgerelateerde gezondheidseffecten ervaren dan de rest van de samenleving. De sociale ongelijkheidsverschillen zullen hierdoor toenemen, en het leidt tot meer ziektelast en zorgkosten, maar ook arbeidsverlies. De kosten van klimaatschade zullen in dit scenario voor de overheid dan ook hoger uitvallen.

In het *intensiveren*-scenario zijn er op de korte termijn eenmalig hoge investeringskosten voor het ontwikkelen en produceren van technologieën.

Er is al langere tijd politieke discussie over de houdbaarheid van de zorg, gezien de kosten ervan. Vermoedelijk zal in beide contextscenario's (maar in het Sterk risico-verhogend (SRV) scenario vermoedelijk sterker) de zorgvraag zo sterk toenemen, dat de houdbaarheid verder onder druk komt te staan.

Het *transformeren*-scenario vraagt om een constante investering over een langere periode, waarbij de verantwoordelijkheid primair bij de overheid ligt. De investeringskosten voor de overheid vallen vermoedelijk hoger uit dan in het *intensiveren*-scenario. Daartegenover staat dat er op de lange termijn minder zorgkosten en minder maatschappelijke kosten door klimaatschade worden gemaakt (onder andere verlies van arbeidsproductiviteit). Het is mede afhankelijk van het context-scenario hoe de kosten voor de overheid per saldo in beide scenario's uitpakken. Daarbij speelt ook mee dat in het *transformeren*-scenario meerdere maatschappelijke opgaven gelijktijdig zijn op te pakken, waardoor kostenefficiëntere oplossingen gekozen worden dan de meer sectorale, technologische insteek van klimaatadaptatie in het *intensiveren*-scenario. Met andere woorden: Transformeren biedt via meekoppelkansen mogelijk ook financiële kansen voor de overheid.

12.3 Bestuurlijk

Bestuurlijk vraagt het *transformeren*-scenario meer van politiek en beleid dan het *intensiveren*-scenario. In het *intensiveren*-scenario wordt er geen extra inzet verwacht. Het *transformeren*-scenario vraagt om versterking van de governance, zodat de overheid meer regie neemt over klimaatadaptatie en samen met stakeholders een integrale aanpak vorm kan krijgen (integrale governance). Qua zorgbeleid vraagt het *transformeren*-scenario om preventie nadrukkelijker onderdeel te maken van het zorgbeleid.

Het maakt daarbij ook uit welk contextscenario gehanteerd wordt. In een SRV-scenario krijgt Nederland te maken met grote impacts van klimaatverandering. In een dergelijke situatie is een sterke overheidsbemoediging, zoals in het scenario *Transformeren*, belangrijk om vertrouwen in de overheid te houden. In een Beperkt risico-verhogend scenario is dit onderscheid tussen *Intensiveren* en *Transformeren* minder relevant, en hangt deze meer af van de individuele klimaatopgaven.

Bovendien wordt in het *transformeren*-scenario van de overheid gevraagd om op verschillende niveaus keuzes te maken over welke gezondheidsrisico's acceptabel zijn. In het *intensiveren*-scenario kiest de

overheid dit in economisch belangrijke gebieden. Verder moeten sectoren en burgers zelf keuzes maken over acceptabele gezondheidsrisico's die binnen de individuele mogelijkheden van adaptatie vallen. Vanwege de hoge complexiteit van factoren die gezondheid beïnvloeden, betekent dit bij de sectorale aanpak van het *intensiveren*-scenario dat er mogelijk geen keuzes gemaakt (kunnen) worden over gezondheidsrisico's en adaptatiemaatregelen.

Verder geldt voor gezondheidseffecten dat bij risicovolle klimaatgebeurtenissen veel burgers en bedrijven een sterke overheid verwachten. Dat geldt ook nu al en is ook in beide adaptatiescenario's het geval. Omdat er in het *intensiveren*-scenario een minder sterke rol is van de overheid, is te verwachten dat er meer negatieve gezondheidseffecten door rampen kunnen voorkomen.

12.4 Sociaal

Op sociaal vlak vraagt het voorbereiden op klimaatverandering veel van de maatschappij, ongeacht het klimaatadaptatie-scenario.

Het *transformeren*-scenario vraagt de meeste sociale aanpassingen en dat roept de vraag op of daarvoor voldoende draagvlak is. Uit PBL-onderzoek (Van Gaalen et al., 2026) naar de percepties van klimaatrisico's komt naar voren dat mensen een voorkeur hebben voor het *transformeren*-scenario. Dit komt doordat het *transformeren*-scenario structurelere en meer systemische aanpassingen aan het klimaat biedt. Daarbij is het wel belangrijk dat burgers de overheid vertrouwen.

Het *intensiveren*-scenario vraagt misschien minder aanpassingen in gedrag, maar kan mentaal als vermoeiender worden ervaren. Zo geeft het reactieve beleid in dit scenario geen structurele oplossing voor door burgers ervaren klimaatgerelateerde problematiek. Hierdoor moeten er constant nieuwe maatregelen getroffen worden om de gezondheidsrisico's te blijven beperken. Het beleid van het *intensiveren*-scenario kan worden ervaren als "pappen en nathouden".

12.5 Technische uitvoerbaarheid

In beide adaptatiescenario's speelt de ontwikkeling en toepassing van techniek een belangrijke rol.

Het *intensiveren*-scenario is sterker afhankelijk van techniek. Het risico hiervan is dat techniek ook grootschalig kan falen (denk bijvoorbeeld aan stroomuitval, ICT-storing) en daarmee ook klimaatadaptatie. Dit kan ertoe leiden dat de maatregelen in dit scenario niet leiden tot het gewenste effect van een verlaging van druk op de zorg.

Ook het *transformeren*-scenario is afhankelijk van techniek. Omdat het *transformeren*-scenario inzet op sterke systemen, hoeft techniek minder bij te dragen aan de klimaatadaptatie, waardoor de risico's tot falen kleiner zijn.

12.6 Toekomstbestendigheid

Tussen de adaptatiescenario's zitten grote verschillen in de robuustheid van de maatregelen op de lange termijn.

Omdat het *intensiveren*-scenario op kortetermijnoplossingen inzet, moet deze op de lange termijn telkens aangevuld worden met nieuwe maatregelen om klimaatgerelateerde ziektegevallen en doden te beperken. Daarnaast is onzeker of in het SRV-contextscenario met technische maatregelen de klimaatgerelateerde problematiek afdoende beperkt wordt.

Transformeren zet in op systeemoplossingen waarmee ook op langere termijn klimaatgerelateerde problematiek beperkt wordt. Dit betekent dat het op korte termijn mogelijk nog beperkt oplossingen biedt. Door op systeemoplossingen te focussen, is de verwachting dat ook in het SRV-contextscenario de maatregelen uitkomst bieden. Het is echter ook in dit scenario onzeker of gekozen oplossingsrichtingen houdbaar zijn in het SRV-contextscenario. Zo kan de nadruk op stedelijke verdichting in combinatie met fors hogere temperaturen en droogte ertoe leiden dat op termijn vergroening van steden onvoldoende helpt om klimaatadaptief te worden.

Bovendien zal bij verdichting van de stedelijke omgeving het vergroenen ervan een groeiende uitdaging met zich meebrengen. Door verdichting neemt het stedelijk hitte-eilandeffect toe. En is er meer inzet nodig om met vergroening hitte in de stad te verminderen, terwijl de fysieke ruimte voor groen waarschijnlijk afneemt. Op dit moment is het onduidelijk hoe transformatieve stedelijke verdichting die rekening houdt met klimaatadaptatie is te realiseren.

In het *intensiveren*-scenario vergroten sommige innovaties andere problematiek. Zo vergroot airconditioning de hitteproblematiek in de leefomgeving.

Het vergroten van sociale, mentale en fysieke weerbaarheid in het *transformeren*-scenario draagt bij aan het vergroten van de toekomstbestendigheid van Nederland in zijn algemeenheid.

Tabel 12.1 Samenvatting haalbaarheid en effecten van adaptatiescenario's

	<i>Intensiveren</i>	<i>Transformeren</i>
(Zorg)capaciteit	<p>Nu al tekort aan personeel, vermoedelijk alleen zorgcapaciteit te verhogen door technologie.</p> <p>Mogelijk te hoge druk op zorg als technologie toch faalt.</p> <p>Vraagt op korte termijn hoge inzet voor installeren en ontwikkelen technologieën.</p>	<p>Zorgvraag eerst omhoog voordat deze daalt.</p> <p>Op lange termijn minder druk op zorg.</p> <p>Lange termijn inzet voor aanleg en onderhoud groen in leefomgeving.</p>
Financieel	<p>Mensen met lage sociaaleconomische status kunnen niet aan klimaatadaptatie doen, waardoor ongelijkheid groeit.</p>	<p>Grote kosten voor overheid, maar kosten wegen ruim op tegenover (algehele) gezondheidswinst.</p>

	<i>Intensiveren</i>	<i>Transformeren</i>
Bestuurlijk	Zelfde als huidig	Verschuiving in politiek naar overheid die regie voert op klimaatadaptatie en daadkrachtig optreedt. Zorgbeleid van curatief naar preventief.
Sociaal	Weinig aanpassingen nodig in dagelijks leven. Reactieve beleid kan als vermoeiend worden ervaren onder burgers. Incentive nodig voor burgers en sectoren om adaptatie te doen.	Veel aanpassingen in dagelijks leven. Structurele aanpassing heeft voorkeur. Overheid neemt voortouw.
Technische uitvoerbaarheid	Afhankelijkheid van technologie, grote impact wanneer technologie faalt.	Minder grote afhankelijkheid van technologie
Toekomstbestendigheid	Biedt kortetermijnoplossingen voor klimaatgerelateerde problematiek, maar houdt op de lange termijn niet stand. Sommige innovaties vergroten andere problematiek.	Biedt op korte termijn beperkte oplossingen voor klimaatgerelateerde problematiek, maar leidt op lange termijn tot grote gezondheidswinsten.

13 Klimaatgerelateerde gezondheidseffecten en effectiviteit van mogelijke adaptatiemaatregelen

Dit hoofdstuk reflecteert op het onderzoeksdoel en de gevonden resultaten: het in kaart brengen van klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's van de Nederlandse bevolking in 2050, en waar mogelijk in 2100. We beoordelen ook mogelijke effecten van toekomstig klimaatadaptatiebeleid op gezondheidsrisico's.

13.1 Klimatrisico's gezondheid

Aan de hand van 'contextscenario's' (scenario's die verandering in klimaat en maatschappij beschrijven) zijn de gezondheidseffecten van klimaatverandering verkend. Dit is gedaan aan de hand van literatuur en expertbeoordeling.

In Tabel 13.1 zijn de eindimpacts op de verschillende gezondheidsthema's samengevat. Het huidige risico is gebaseerd op eerder werk van het RIVM (Betgen et al., 2024).

Twee opmerkingen voorafgaand aan deze tabel:

1. De definitie van een getroffenene verschilt per thema (Betgen et al., 2024). Bij de thema's Hitte, Luchtkwaliteit, Pollen en Mentale gezondheid vallen alle mensen die gezondheidsklachten ervaren hieronder. Bij UV-straling worden getroffenen gezien als alle mensen die de diagnose huidkanker krijgen. Bij infectieziekten wordt een getroffenene gedefinieerd als een persoon die een infectieziekte heeft, ongeacht of deze klachten ervaart. Iemand kan bijvoorbeeld het virus x in zijn bloed hebben, zonder daarvan ziek te worden.
2. Vaak is wel de richting van effecten bekend, maar kan de omvang ervan niet worden bepaald of uitgerekend voor de toekomst.

Tabel 13.1 De eindimpacts van de contextscenario's op gezondheid in 2050. De eindimpacts zijn aangegeven per thema en contextscenario, en ten opzichte van de huidige impact. De huidige impact is beschreven per jaar in de periode 1991-2020. Een toename van impacts is aangeduid met een +, een sterke toename van impacts met ++, een afname met een -, een sterke afname met --, en bij geen verandering 0. De impacts zijn niet optelbaar.

Thema's		Impact	Beperkt Risico- verhogend	Sterk Risico- verhogend
Hitte		Hoog >100.000 getroffenen >100 doden	+	++
Luchtkwaliteit		Hoog >100.000 getroffenen >100 doden	- / 0	++
Uv		Hoog >100 doden	+	++
Infectieziekten	Muggen	Laag <10.000 getroffenen	+	++

Thema's		Impact	Beperkt Risico- verhogend	Sterk Risico- verhogend
	Lyme	Midden 10.000 – 100.000 getroffenen	+	++
	Vibrio	Onbekend	+	++
	Voedseloverdraagbaar	Hoog >100.000 getroffen	0 / +	+ / ++
	Wateroverdraagbaar	Laag <10.000 getroffen	+	++
	Legionella	Midden 10.000 – 100.000 getroffenen	+	++
Pollen		Hoog >100.000 getroffen	+	++
Mentale gezondheid		Hoog >100.000 getroffen	+	++

De eindimpact van de meeste gezondheidsthema's in Tabel 13.1 valt in de hoge impactcategorieën, doordat veel mensen gezondheidsklachten ervaren (pollen en mentale gezondheid) en er veel sterftegevallen zijn (hitte, luchtkwaliteit en UV-straling). Bij infectieziekten zijn de getroffen en nog lastig in te schatten, omdat het onzeker is of nieuwe vectoren zich in Nederland vestigen en vanwege de grote schommelingen in incidentie van infectieziekten per jaar. De eindimpacts van de verschillende thema's zijn niet bij elkaar op te tellen. Het kan bijvoorbeeld dat de klachten die mensen door hitte hebben ervaren, ook door ozon zijn veroorzaakt. Er is in Tabel 13.1 nog geen rekening gehouden met een opeenstapeling van klimaatrisico's die gezondheidseffecten kunnen vergroten.

Het is duidelijk dat er op dit moment al veel gezondheidseffecten worden ervaren door klimaatverandering (zie ook Betgen et al, 2024). Tabel 13.1 maakt zichtbaar dat in beide contextscenario's voor de meeste thema's de verwachte gezondheidsimpacts gaan toenemen, waarbij de gezondheidsimpacts sterker toenemen in het SRV-scenario. In het BRV-scenario nemen de gezondheidsimpacts ook toen, maar minder sterk dan in het SRV-scenario.

Naast de effecten van klimaatverandering zelf, zijn er ook andere aspecten in de contextscenario's die impact hebben op de toekomstige gezondheidseffecten. Bevolkingsgroei en vergrijzing zijn twee belangrijke aspecten. Dit heeft invloed op de omvang van de kwetsbare groepen (zie Tabel 13.2 en Tabel 13.3). Gerichtte aandacht voor ouderen en andere kwetsbare groepen (die niet zijn meegenomen in de scenario's van deze studie) kan daarom de effectiviteit van adaptatiebeleid vergroten.

Tabel 13.2 Kwetsbare groepen gebaseerd op gevoeligheid (Van der Ree et al., 2022). Tabel overgenomen van Betgen et al. (2024)

Gevoeligheid	
Hoogrisicogroep	Klimaatgerelateerd thema
Ouderen (75+)	Temperatuur, infectieziekten, luchtkwaliteit, mentale gezondheid.
Baby's en (jonge) kinderen	Temperatuur, UV-straling, infectieziekten.
Jongeren	Mentale gezondheid
Zwangeren/postnataal	Temperatuur, infectieziekten, mentale gezondheid.
Geslacht	Temperatuur, infectieziekten, mentale gezondheid.
Chronisch zieken (fysiek of mentaal)	Temperatuur, infectieziekten, pollenallergieën, mentale gezondheid.
Mensen met overgewicht	Temperatuur, luchtkwaliteit, infectieziekten.
Gebruikers medicijnen, alcohol of drugs	Temperatuur, UV-straling, mentale gezondheid

Tabel 13.3 Kwetsbare groepen gebaseerd op blootstelling (Van der Ree et al., 2022). Tabel overgenomen van Betgen et al. (2024).

Blootstelling	
Hoogrisicogroep	Klimaatgerelateerd thema
Bewoners stedelijk gebied	Temperatuur, luchtkwaliteit.
Bewoners landelijk gebied	Temperatuur, luchtkwaliteit.
Beroepsbevolking	Temperatuur, UV-straling, pollenallergieën.
Mensen met laag sociaaleconomische positie	Temperatuur, UV-straling, infectieziekten, pollenallergieën, luchtkwaliteit, mentale gezondheid.
Bewoners van ongezonde woningen (vocht, slecht geïsoleerd)	Temperatuur, infectieziekten, pollenallergieën, mentale gezondheid.
Eenzame mensen	Temperatuur, mentale gezondheid.
Buitensporters/recreanten	Temperatuur, UV-straling, pollenallergieën, luchtkwaliteit, infectieziekten.

13.2 Effect en effectiviteit van adaptatiemaatregelen voor gezondheid

Om de toename van gezondheidsrisico's in zowel het BRV- als SRV-scenario te voorkomen en te beperken, moeten er extra maatregelen genomen worden. Hoeveel adaptatie nodig is, hangt ook af van welk opwarmingsscenario Nederland in terechtkomt. De impact op gezondheid en de adaptatieopgave worden veel groter als de wereld in het sterke opwarmingsscenario terechtkomt (SRV). Dit moet dan ook zoveel mogelijk worden voorkomen. Aangezien het wereldwijde klimaatmitigatie beleid nog onvoldoende is om de doelen van het

akkoord van Parijs te halen, moet er rekening gehouden worden met forse verdere klimaatverandering. Aan de hand van de adaptatiescenario's *Intensiveren* en *Transformeren* zijn de effecten en effectiviteit van mogelijke adaptatiemaatregelen voor gezondheid verkend.

Beide adaptatiescenario's dragen op hun unieke manier bij aan het verminderen van de gezondheidsimpacts van klimaatverandering. Het *intensiveren*-scenario is meer reactief en levert op de korte termijn meer gezondheidswinst op. Door technologische maatregelen kan de blootstelling aan klimaatgerelateerde stressoren worden verminderd. Bijvoorbeeld door buitenzonwering, ventilatoren en eventueel airconditioning zijn woningen koel te houden en door snellere detectiemethoden zijn infectieziekten sneller op te sporen en te voorkomen. Door monitoring en waarschuwing krijgt de burger de kans om diens gedrag zelf aan te passen en gezondheidseffecten te verminderen. Bijvoorbeeld door niet naar buiten te gaan op momenten dat er veel pollen in de lucht zijn. Daarnaast wordt de zorgcapaciteit versterkt, zodat deze beter voorbereid is op de groeiende zorgvraag door onder andere vergrijzing en klimaatverandering.

Het *transformeren*-scenario is meer proactief en levert op de langere termijn meer gezondheidswinst op. Door structurele systeemaanpassingen wordt de algehele gezondheid van de bevolking bevorderd, want een gezonde samenleving kan tegenslagen beter verdragen. Door aanpassingen in de leefomgeving, waarbij rekening wordt gehouden met alle klimaatrisico's voor gezondheid, worden klimaatgerelateerde risico's beperkt en wordt de algehele gezondheid bevorderd. Ook wordt er van de maatschappij gevraagd om sociaal-maatschappelijke aanpassingen te treffen, zodat onder andere samenredzaamheid wordt bevorderd. De gezondheidszorg zet in op preventie, waardoor op de lange termijn de vraag naar zorg daalt.

Daarnaast hebben beide scenario's hun eigen kwetsbaarheden en kansen. Het adaptatiescenario *Intensiveren* kent een beperkte scope (sectorale aanpak, niet breder dan klimaatadaptatie). Het leidt tot meerdere kwetsbaarheden, bijvoorbeeld qua toekomstbestendigheid, meekrijgen van kwetsbare groepen, weerbaarheid van de samenleving, zorgcapaciteit en handelingsbereidheid van individuen.

Het adaptatiescenario *Transformeren* biedt systeemoplossingen waarmee ook op de langere termijn klimaatrisico's worden opgevangen. Kwetsbaarheden van dit scenario zijn dat het een langere aanlooptijd, krachtige overheid (financieel en bestuurlijk) en meer sociaal-maatschappelijke aanpassingen vergt. Daartegenover staat dat dit scenario integrale oplossingen biedt voor meerdere maatschappelijke opgaven, een weerbaardere samenleving oplevert en toekomstbestendiger is voor klimaatverandering.

Voor beide adaptatiescenario's geldt dat het moeilijk is in te schatten of de adaptatiemaatregelen voldoende zijn om de gezondheidseffecten te beperken bij sterke klimaatverandering (SRV-scenario).

Reflectie op de klimaatadaptatie opgave voor gezondheidsrisico's

Beide adaptatiescenario's dragen op hun unieke manier bij aan het verminderen van de gezondheidsimpacts. Voor een effectieve aanpak van de gevolgen van klimaatverandering op gezondheid, is een mix van de adaptatiemaatregelen nodig. Omdat onzeker is welke mate van klimaatadaptatie op langere termijn nodig en voldoende is, moet er naast het intensiveren van de huidige klimaatadaptatie maatregelen nu ook gestart worden met meer systemische oplossingen voor de langere termijn.

Die oplossingen komen uit alle onderzochte sectoren – landbouw, energie, gebouwde omgeving, natuur, water, et cetera – en vraagt om een 'health in all policies'-aanpak. Er is een duidelijke coördinatie nodig om een goede samenhangende aanpak over alle sectoren heen te realiseren. Bij waterveiligheid is die coördinatie georganiseerd in een Deltaprogramma. Voor de gezondheidsopgave ontbreekt op dit moment een dergelijke coördinatie vanuit de overheid.

Vaak wordt bij klimaatadaptatie aan ingrepen in de fysieke leefomgeving gedacht, of aan een alarmering, zoals het nationaal hitteplan. Daarnaast zijn ook ander type maatregelen mogelijk, zoals maatregelen die de fysieke, mentale en sociale weerbaarheid van mensen vergroten.

Als onderdeel van adaptatie is ook het eigen gedrag van mensen en hun kennis, beelden en ideeën van belang. Adaptief gedrag kan de mate van blootstelling vergroten, of juist verkleinen. Daarmee is het een belangrijke factor bij de klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's. Daarnaast is het ook een belangrijke factor voor de effectiviteit van adaptatiemaatregelen. Belangrijke factoren zijn onder andere risico-inschatting, zelfeffectiviteit en of de voordelen groter zijn dan de nadelen. Verder moeten mensen ook de capaciteit hebben om actie te nemen. Door het volwaardig meenemen van gedrag en wat hiervoor nodig is, is klimaatbeleid effectiever uitvoerbaar.

Samenvattend worden de gezondheidseffecten van klimaatverandering op dit moment al gemerkt en deze zullen in de toekomst verder toenemen, ongeacht de contextscenario. Om de gezondheidseffecten in de toekomst te beperken, is het belangrijk om adaptatiemaatregelen te treffen, waarbij een combinatie van *Intensiveren* en *Transformeren* het meest effectief is. Het is van belang dat dit binnen korte termijn wordt toegepast, omdat systemische adaptatiemaatregelen toepassen tijd kost. Mogelijk is de combinatie van adaptatiemaatregelen in het SRV-contextscenario niet voldoende om gezondheidseffecten te beperken. Dus moet we door het treffen van mitigatiemaatregelen voorkomen dat we in dit scenario terechtkomen.

Dankwoord

Voor de totstandkoming van dit rapport hebben wij kunnen rekenen op de inzet en betrokkenheid van verschillende collega's die, hoewel zij niet als mede-auteur zijn vermeld, op uiteenlopende wijze een waardevolle bijdrage hebben geleverd. Wij willen hen daarvoor hartelijk bedanken.

In het bijzonder spreken wij onze dank uit aan:

- L. Geelen, voor haar belangrijke rol bij het opzetten en het opstarten van het project.
- W. Hagens, voor het meelesen en de inhoudelijke bijdragen aan het hoofdstuk over hitte.
- T. Jansen-van Eijndt, voor haar inhoudelijke bijdrage aan het rapport.
- J. Koppenaal, voor het verzorgen van de opzet van het hoofdstuk over luchtkwaliteit.
- M. de Langen, voor zijn hulp bij het publiceren van het rapport.
- P. Ruysenaars, voor het meelesen en leveren van inhoudelijke bijdragen aan het hoofdstuk over luchtkwaliteit.
- M. de Vetten, voor het verzamelen van literatuur en het maken van een eerste opzet voor het hoofdstuk over mentale gezondheid.
- Versteeg de Jong, voor het kritisch lezen en voorzien van feedback op het hoofdstuk over infectieziekten.

Literatuurlijst

- Adhikary, R.K., Mahfuj, M.S.E., Starrs, D., Croke, B., Glass, K., & Lal, A. (2022). Risk of human illness from recreational exposure to microbial pathogens in freshwater bodies: A systematic review. *Exposure and Health*, 14(2), 325–343.
- Akil, L., Ahmad, H.A., & Reddy, R.S. (2014). Effects of climate change on Salmonella infections. *Foodborne Pathogens and Disease*, 11(12), 974–980.
- Akompab, D.A., Bi, P., Williams, S., Grant, J., Walker, I.A., & Augoustinos, M. (2013). Heat waves and climate change: Applying the health belief model to identify predictors of risk perception and adaptive behaviours in Adelaide, Australia. *International journal of environmental research and public health*, 10(6), 2164-2184.
- ANV. (2022). Themarapportage klimaat- en natuurrampen. <https://www.rivm.nl/documenten/themarapportage-klimaat-en-natuurrampen-2022>
- Arbuthnott, K., Hajat, S., Heaviside, C., & Vardoulakis, S. (2018). What is cold-related mortality? A multi-disciplinary perspective to inform climate change impact assessments. *Environment International*, 121, 119–129.
- Åström, D.O., Forsberg, B., & Rocklöv, J. (2011). Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. *Maturitas*, 69, 99–105.
- Avdeeva, K.S., Reitsma, S., Fokkens, W.J. (2020). Direct and indirect costs of allergic and non-allergic rhinitis in the Netherlands. *Allergy*, 75(11), 2993-2996. <https://doi.org/10.1111/all.14457>
- Awad, D.A., Masoud, H.A., & Hamad, A. (2024). Climate changes and food-borne pathogens: The impact on human health and mitigation strategy. *Climatic Change*, 177(6), 92.
- Bachert, C., Vestenbaek, U., Christensen, J., Griffiths, U.K., Poulsen, P.B. (2007). Cost effectiveness of grass allergen tablet (GRAZAX) for the prevention of seasonal grass pollen induced rhinoconjunctivitis – a Northern European perspective. *Clinical & Experimental Allergy*, 37(5), 772–779. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2007.02706.x>
- Baker-Austin, C., Trinanes, J., Gonzalez-Escalona, N., & Martinez-Urtaza, J. (2017). Non-cholera vibrios: The microbial barometer of climate change. *Trends in Microbiology*, 25(1), 76–84.
- Barkin, J.L., Philipsborn, R.P., Curry, C.L., Upadhyay, S., Geller, P.A., Pardon, M., Dimmock, J., Bridges, C.C., Sikes, C.A., Kondracki, A.J., & Buoli, M. (2024). Climate Change is an Emerging Threat to Perinatal Mental Health. *Journal of the American Psychiatric Nurses Association*, 30(3), 683–689. <https://doi.org/10.1177/10783903221139831>
- Barrett, F., Usher, K., Woods, C., & Conway, J. (2019). Sun protective behaviours during maximum exposure to ultraviolet radiation when undertaking outdoor activities: An integrated literature review. *Journal of Public Health*, 27(3), 393-405.

- Beani, J.C. (2014). Ultraviolets A et dommages de l'ADN; leur place dans la cancérogenèse cutanée [Ultraviolet A-induced DNA damage: role in skin cancer]. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, *198*(2), 273–295.
- Becht, A., Spitzer, J., Grapsas, S., Van de Wetering, J., Poorthuis, A., Smeekes, A., & Thomaes, S. (2024). Feeling anxious and being engaged in a warming world: climate anxiety and adolescents' pro - environmental behavior. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *65*(10), 1270-1282.
- Benincà, E., Pijnacker, R., Friesema, I.H.M., Kretzschmar, M., Franz, E., & Mughini Gras, L. (2022). Disease burden of food-related pathogens in the Netherlands, 2021 National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). <https://doi.org/10.21945/RIVM-2022-0173>
- Bernard, P., Chevance, G., Kingsbury, C., Baillot, A., Romain, A.J., Molinier, V., Gadais, T. & Dancause, K.N. (2021). Climate change, physical activity and sport: a systematic review. *Sports medicine*, *51*(5), 1041-1059.
- Bessembinder, J., Bintanja, R., Van Dorland, R., Homan, C., Overbeek, B., Selten, F., & Siegmund, P. (2023). KNMI'23 klimaatscenario's voor Nederland. KNMI. <https://www.knmi.nl/klimaatscenarios>
- Betgen, C. D., Boekhold, S., Boomsma, C., Van Dijk, A., Hall, E.F., Hagens, W., Limaheluw, J., Ruysenaars, P., Van der Ree, J., & Versteeg-de Jong, A. (2023). Gezondheidseffecten van klimaatverandering: Actualisatie van de huidige klimaatrisico's voor gezondheid (RIVM-briefrapport 2023-0324). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2023-0324>
- Bhawra, J., Elsahli, N., & Patel, J. (2024). Applying Digital Technology to Understand Human Experiences of Climate Change Impacts on Food Security and Mental Health: Scoping Review. *JMIR Public Health and Surveillance*, *10*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2196/54064>
- Black, Z., Balta, I., Black, L., Naughton, P.J., Dooley, J.S., & Corcionivoschi, N. (2021). The fate of foodborne pathogens in manure treated soil. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 781357.
- 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. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, *121*(1), 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2018.03.028>
- Blomme K, Tomassen P, Lapeere H, Huvenne W, Bonny M, Acke F, et al. Prevalence of allergic sensitization versus allergic rhinitis symptoms in an unselected population. *International Archives of Allergy and Immunology*, *160*, 200–207.
- Bos, J. C., De Boer, P., & Franz, E. (2024). Staat van infectieziekten in Nederland, 2023. RIVM-rapport 2024-0135. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Den Broeder, L., Hilderink, H., Polder, J., Staatsen, B., & Dekker, L. (2024). Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2024. Kiezen voor een gezonde toekomst. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2024-0110>

- Brough, H. A., Lanser, B. J., Sindher, S.B., Teng, J.M.C., Leung, D.Y.M., Venter, C., Chan, S.M., Santos, A.F., Bahnson, H.T., Guttman - Yassky, E., Gupta, R.S., Lack, G., Ciaccio, C.E., Sampath, V., Nadeau, K.C., & Nagler, C.R. (2022). Early intervention and prevention of allergic diseases. *Allergy*, *77*(2), 416–441. <https://doi.org/10.1111/all.15006>
- Van der Brugge, R., & De Winter, R. (2024). Deltascenario's 2024: zicht op water in Nederland.
- Brunekreef, B., Hoek, G., Fischer, P., & Spijksma, F.T.M. (2000). Relation between airborne pollen concentrations and daily cardiovascular and respiratory-disease mortality. *The Lancet*, *355*(9219), 1517–1518.
- Buijsman, E. (2011) Smog de maat genomen. Een terugblik op smog in Nederland, 1960-2010. LUVO reeks nummer 12
- Bundesamt für Strahlenschutz. (2025). Climate change and ultraviolet exposure. https://www.bfs.de/EN/topics/opt/uv/climate-change/climate-uv-exposure/climate-uv-exposure_node.html Geraadpleegd op 30 september 2025E.K.
- Bureau Risicobeoordeling & Onderzoek. (2020, 5 juni). Advies van BuRO over aanpassing van het SSO-monitoringsprogramma (TCRVWA/2020/1212). Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit. <https://www.nvwa.nl/documenten/consument/eten-drinken-roken/schelpdieren/risicobeoordeling/advies-van-buro-over-aanpassing-van-het-sso-monitoringsprogramma>
- Cahoon, E. K., Mandal, S., Pfeiffer, R.M., Wheeler, D.C., Sargen, M.R., Alexander, B.H., Kitahara, C.M., Linet, M.S., & Mai, J.Z. (2024). Ambient ultraviolet A, ultraviolet B, and risk of melanoma in a nationwide United States cohort, 1984-2014. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, *116*(12), 1928–1933. <https://doi.org/10.1093/jnci/djae186>
- Cardell, L.O., Olsson, P., Andersson, M. et al. (2016). TOTALL: high cost of allergic rhinitis—a national Swedish population-based questionnaire study. *Npj Prim Care Resp Med* *26*, 15082 (2016). <https://doi.org/10.1038/npjpcrm.2015.82>
- Carlson, C.J., Albery, G.F., Merow, C., Trisos, C.H., Zipfel, C.M., Eskew, E.A., Olival, K.J., Ross, N. & Bansal, S. (2022). Climate change increases cross-species viral transmission risk. *Nature*, *607*(7919), 555–562.
- CBS (2023, December). Prognose: bijna 18 miljoen inwoners, 19 miljoen in 2037 verwacht, Centraal Bureau voor de Statistiek, <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/50/prognose-bijna-18-miljoen-inwoners-19-miljoen-in-2037-verwacht>
- CBS. (2021). Monitor Brede Welvaart & Sustainable Development Goals 2021 (p.p. 1–228). CBS. <https://longreads.cbs.nl/monitor-brede-welvaart-en-sdgs-2021/>
- CE Delft (2023). Handboek Milieuprijzen 2023 Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts Delft, CE Delft, februari 2023 Publicatienummer: 23.220175.034
- Charles, A., Hare-Duke, L., Nudds, H., Franklin, D., Llewellyn-Beardsley, J., Rennick-Egglestone, S., Gust, O., Ng, F., Evans, E., Knox, E., Townsend, E., Yeo, C., & Slade, M. (2022). Typology of content warnings and trigger warnings: Systematic review. *PLOS ONE*, *17*(5), e0266722. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266722>

- Charlson, F., Ali, S., Benmarhnia, T., Pearl, M., Massazza, A., Augustinavicius, J., & Scott, J.G. (2021). Climate Change and Mental Health: A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health*, *18*(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph18094486>
- Chevance, G., Fresán, U., Hekler, E., Edmondson, D., Lloyd, S. J., Ballester, J., Litt, J., Cvijanovic, I., Araújo-Soares, V. & Bernard, P. (2023). Thinking health-related behaviors in a climate change context: a narrative review. *Annals of Behavioral Medicine*, *57*(3), 193-204.
- Clayton, S. (2021). Climate Change and Mental Health. *Curr Environ Health Rep*, *8*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00303-3>
- Clayton, S., & Brown, L. A. (2024). Climate Change and Mental Health. *JAMA*, *331*(20), 1761–1762. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.1839>
- CLO, (2025, februari). Ozon in lucht en volksgezondheid, 1990-2024 | Compendium voor de Leefomgeving. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl023817-ozon-in-lucht-en-volksgezondheid-1990-2024>
- De Cock, M. P., Esser, H. J., van der Poel, W. H., Sprong, H., & Maas, M. (2024). Higher rat abundance in greener urban areas. *Urban Ecosystems*, *27*(4), 1389–1401.
- Colás, C., M. Brosa, E. Antón, J. Montoro, A. Navarro, M.T. Dordal, I. Dávila, B. Fernández-Parra, M.D.P. Ibáñez, M. Lluch-Bernal, V. Matheu, C. Rondón, M.C. Sánchez, A. Valero (2017). Estimate of the total costs of allergic rhinitis in specialized care based on real-world data: the FERIN Study. *Allergy*, *72*:6, 959:966 <https://doi.org/10.1111/all.13099>
- Cunze, S., Glock, G., Kochmann, J., & Klimpel, S. (2022). Ticks on the move—Climate change-induced range shifts of three tick species in Europe: Current and future habitat suitability for *Ixodes ricinus* in comparison with *Dermacentor reticulatus* and *Dermacentor marginatus*. *Parasitology Research*, *121*(8), 2241–2252.
- Dahlgren, G., & Whitehead, M. (2021). The Dahlgren-Whitehead model of health determinants: 30 years on and still chasing rainbows. *Public Health*, *199*, 20–24. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2021.08.009>
- D'Amato, M., Cecchi, L, Annesi-Maesano, I., D'Amato, G. (2018). News on Climate Change, Air Pollution, and Allergic Triggers of Asthma. *J Invest Allergol Clin Immunol*. *2018*;28(2):91-97. <https://doi.org/10.18176/jiaci.0228>
- De Correspondent. (2017). Deze eeuwenoude grenzen kleuren de verkiezingen nog altijd. <https://decorrespondent.nl/6298/deze-eeuwenoude-grenzen-kleuren-de-verkiezingen-nog-altijd/7576ecd5-cf0d-0da5-3b68-abe516463ada>. Geraadpleegd op 24 september 2025.
- Dekker, L., Busch, M., Rözer, J., Janssen-van Eijndt, T., Uiters, E., Snijders, B., Van Zoonen, K., Van Bakel, M., Deuning, C., Kupper, N., Couwenberg, C., & Den Broeder, L. (2024). Zorg en sociaal domein: Themaverkenning bij de Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2024. RIVM-rapport 2024-0047. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2024-0047.pdf>

- Diffey, B. (2021). Erythema and acclimatization following repeated sun exposure: A modeling study. *Photochemistry and Photobiology*, *97*, 1558–1567.
- Van Dijk, A., Slaper, H., Den Outer, P.N., Morgenstern, O., Braesike, P., Pyle, J. A., Garny, H., Stenke, A., Dameris, M., Kazantzidis, A., Tourpali, K., & Bais, A.F. (2013). Skin cancer risks avoided by the Montreal Protocol—Worldwide modeling integrating coupled climate-chemistry models with a risk model for UV. *Photochemistry and Photobiology*, *89*, 234–246.
- Doormaal, van, N., Moerland, A., Odé, B. (2025). Analyse trend en hotspots Alsemambrosia. FLORON.
- Van Dorland, R., Bloemendaal, N., Drijfhout, S., Beersma, J., van den Brink, H., Groenland, R., Bessembinder, J., Brotons Blanes, M., Haarsma, R., Keizer, I., Krikken, F., van Meijgaard, E., Le Bars, D., Meirink, J. F., Homan, C., Lenderink, G., Overbeek, B., Reerink, T., Sterl, A., Selten, F., de Valk, C., van Weele, M., Severijns, C., van Velthoven, P., Wichers Schreur, B., Siegmund, P., de Vries, H., & van der Wiel, K. (2024). KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands (Scientific report; WR-23-02, version 2, March 8, 2024). KNMI. https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/knmi23_climate_scenarios_scientific_report_WR23-02.pdf
- Douki, T. (2020). Oxidative stress and genotoxicity in melanoma induction: Impact on repair rather than formation of DNA damage? *Photochemistry and Photobiology*, *96*(5), 962–972.S.
- Duarte, A.F., Picoto, A., Pereira, A.D.C., & Correia, O. (2018). Sun protection in children: a behavioural study. *European Journal of Dermatology*, *28*(3), 338–342.
- Dyar, O.J., Haglund, B.J.A., Melder, C., Skillington, T., Kristenson, M., & Sarkadi, A. (2022). Rainbows over the world's public health: Determinants of health models in the past, present, and future. *Scandinavian Journal of Public Health*, *50*(7), 1047–1058. <https://doi.org/10.1177/14034948221113147>
- EEA (2025, februari). Methane, climate change and air quality in Europe: exploring the connections, European Union, European Environmental Agency, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/methane-climate-change-and-air-quality-in-europe-exploring-the-connections>
- Van Eck, J., Hof, B., & 't Hoen, M. (2025). Toekomstverkenning WLO: Vier scenario's voor Nederland in 2040, 2050 en 2060.
- El Kelish, A, Zhao F, Heller W, Durner, J., Winkler, J.B., Behrendt, H., Traidl-Hoffmann, C., Horres, R., Frank, U. & Ernst, D. (2014). Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen allergenicity: superSAGE transcriptomic analysis upon elevated CO₂ and drought stress. *BMC Plant Biol.* *2014*;14:176. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-176>
- EMA. (2024). European climate risk assessment. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/8671471>
- Esplin, E.D., Marlon, J. R., Leiserowitz, A., & Howe, P.D. (2019). "Can you take the heat?" Heat-induced health symptoms are associated with protective behaviors. *Weather, climate, and society*, *11*(2), 401-417.

- Europese Commissie. (z.d.). Gemeenschappelijk landbouwbeleid. https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_nl
- Europese Unie. (2000, 23 oktober). Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor een communautair optreden op het gebied van waterbeleid. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, L 327, 1–73. Geraadpleegd op 26 september 2025, van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>
- Europese Unie. (2024, 12 december). Richtlijn (EU) 2024/3019 van het Europees Parlement en de Raad van 27 november 2024 inzake de behandeling van stedelijk afvalwater (herschikking). Publicatieblad van de Europese Unie, L 3019. Geraadpleegd op 26 september 2025, van https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=OJ:L_202403019
- Euser, S., Kroese, F., Lambooy, M. S., Stok, M., Uiters, E., van den Boom, W., Buitenhuis, A., Dekker, R., van Dijk, M., de Valk, T., de Vries, M., Wuyts, R., Zomer, C., & de Bruin, M. (2023). *Gedrag, welzijn en vertrouwen tijdens de COVID-19-pandemie: Trends, verklaringen en geleerde lessen (RIVM-briefrapport)*. RIVM. <https://www.rivm.nl/sites/default/files/2023-03/Gedrag-Welzijn-en-Vertrouwen-tijdens-de-COVID-19-pandemie.pdf>
- Farooq, Z., Sjödin, H., Semenza, J.C., Tozan, Y., Sewe, M.O., Wallin, J., & Rocklöv, J. (2023). European projections of West Nile virus transmission under climate change scenarios. *One Health*, 16, 100509.
- Fischer, P.H., Brunekreef, B., & Lebrecht, E. (2004). Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, 38(8), 1083–1085. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.11.010>
- Folkerts, M.A., Bröde, P., Botzen, W.W., Martinius, M.L., Gerrett, N., Harmsen, C.N., & Daanen, H.A.M. (2020). Long term adaptation to heat stress: Shifts in the minimum mortality temperature in the Netherlands. *Frontiers in Physiology*, 11, 225. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00225>
- Frank, U. & Ernst, D. (2016) Effects of NO₂ and Ozone on Pollen *Allergenicity*. *Front. Plant Sci.* 7:91. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00091>
- Van Gaalen, F., Franken, R., Kirkels, F., Ibrahim, S., Van Minnen, J., Bouwman, A., & Vonk, M. (2024). Klimaatrisico's in Nederland: De huidige stand van zaken.
- Van Gaalen, F., Vonk, m., Van Minnen, J., Bouwman, A., Ibrahim, S.I., Van der Boog, C., Kirkels, F. (2026). Voorbij de Risico's: Keuzes voor een Klimaatbestendige Leefomgeving. Planbureau voor de Leefomgeving PBL.
- Gaddameedhi, S., Selby, C.P., Kaufmann, W.K., Smart, R.C., & Sancar, A. (2011). Control of skin cancer by the circadian rhythm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 1870–1895.

- García-Marcos, L., Asher, M. I., Pearce, N., Ellwood, E., Bissell, K., Chiang, C.-Y., El Sony, A., Ellwood, P., Marks, G. B., Mortimer, K., Martínez-Torres, A. E., Morales, E., Perez-Fernandez, V., Robertson, S., Rutter, C. E., Silverwood, R. J., & Strachan, D. P. (2022). The burden of asthma, hay fever and eczema in children in 25 countries: GAN Phase I study. *European Respiratory Journal*, *60*(3), 2102866. <https://doi.org/10.1183/13993003.02866-2021>
- Gezondheidsraad (GR) (2018): Gezondheidswinst door schonere lucht. Den Haag: Gezondheidsraad, 2018; publicatienr. 2018/01
- GGD. (2023a). Achtergrondinformatie 'Risicogroepen' behorend bij GGD-richtlijn Medische Milieukunde: Hitte en Gezondheid. RIVM. https://www.rivm.nl/sites/default/files/2023-06/Achtergrond_Risicogroepen_Richtlijn_Hitte_Gezondheid.pdf
- GGD. (2023b). Achtergrondinformatie 'Thermoregulatie' behorend bij GGD-richtlijn Medische Milieukunde: Hitte en Gezondheid. RIVM. https://www.rivm.nl/sites/default/files/2023-06/Achtergrond_Thermoregulatie_Richtlijn_Hitte_Gezondheid.pdf
- Ghiani, A., Aina, R., Asero, R., Bellotto, E., & Citterio, S. (2012). Ragweed pollen collected along high-traffic roads shows a higher allergenicity than pollen sampled in vegetated areas. *Allergy*, *67*(7), 887–894. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2012.02846.x>
- Gianfredi, V., Mazziotta, F., Clerici, G., Astorri, E., Olini, F., Cappellina, M., Catalini, A., Dell'Osso, B. M., Pregliasco, F. E., Castaldi, S., & Benatti, B. (2024). Climate Change Perception and Mental Health. Results from a Systematic Review of the Literature. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, *14*(1), 215–229.
- Gilles, S., Akdis, C., Lauener, R., Schmid-Grendelmeier, P., Bieber, T., Schäppi, G., Traidl-Hoffmann, C. (2018) The role of environmental factors in allergy: A critical reappraisal. *Exp Dermatol*. 2018 Nov;27(11):1193-1200. <https://doi.org/10.1111/exd.13769>
- Global Methane Pledge (2021), Global Methane Pledge, United Nations Climate Change Conference in Glasgow (COP26). <https://www.globalmethanepledge.org/>
- Gooijer, L., M.G. Mennen (2021). Klimaatakkoord: effecten van nieuwe energiebronnen op gezondheid en veiligheid in Nederland, RIVM-rapport 2021-0054
- Gordon, T., Crittenden, M., & Haenszel, W. (1961). End results and mortality trends in cancer. II. Cancer mortality trends in the United States. *NCI Monograph*, *6*, 133–350.
- Greinert, R., Volkmer, B., Henning, S., Breitbart, E. W., Greulich, K. O., Cardoso, M. C., & Rapp, A. (2012). UVA-induced DNA double-strand breaks result from the repair of clustered oxidative DNA damages. *Nucleic Acids Research*, *40*(20).
- De Gruijl, F. R. (1995). Action spectrum for photocarcinogenesis. In C. Garbe, S. Schmitz, & C. E. Orfanos (Eds.), *Skin cancer: Basic science, clinical research and treatment* (Recent Results in Cancer Research, Vol. 139, pp. 39–54). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-78771-3_2

- Gu, G., Strawn, L.K., Ottesen, A.R., Ramachandran, P., Reed, E.A., Zheng, J., Boyer, R.R. & Rideout, S.L. (2021). Correlation of *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* in irrigation water to environmental factors, fecal indicators, and bacterial communities. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 557289.
- Haahtela, T., Valovirta, E., Saarinen, K., Jantunen, J., Lindström, I., Kauppi, P., Laatikainen, T., Pelkonen, A., Salava, A., Tommila, E., Bousquet, J., Vasankari, T., & Mäkelä, M.J. (2021). The Finnish Allergy Program 2008-2018: Society-wide proactive program for change of management to mitigate allergy burden. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *148*(2), 319-326.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2021.03.037>
- Hadian, Y., Howell, J.Y., Ramsey, M.L. & Buckley, C. (2025). Cutaneous squamous cell carcinoma. In StatPearls (Updated July 2, 2024). StatPearls Publishing.
- Hall, E.F., Maas, R.J.M., Limaheluw, J., & Betgen, C.D. (2021). Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering. RIVM rapport 2020-0200. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Harrison, J., Nelson, K., Morcrette, H., Morcrette, C., Preston, J., Helmer, L., Titball R.W., Butler, C.S. & Wagley, S. (2022). The increased prevalence of *Vibrio* species and the first reporting of *Vibrio jasicida* and *Vibrio rotiferianus* at UK shellfish sites. *Water Research*, *211*, 117942.
- Hayes, K., Blashki, G., Wiseman, J., Burke, S., & Reifels, L. (2018). Climate change and mental health: Risks, impacts and priority actions. *International Journal of Mental Health Systems*, *12*(1). <https://doi.org/10.1186/s13033-018-0210-6>
- Hayes, K., Cunsolo, A., Augustinavicius, J., Stranberg, R., Clayton, S., Malik, M., Donaldson, S., Richards, G., Bedard, A., Archer, L., Munro, T., & Hilario, C. (2022). Mental Health and Well-Being. In I.P.B.R. Schnitter (Ed.), *Health of Canadians in a Changing Climate: Advancing our Knowledge for Action*. Government of Canada
- Hellgren, J., Cervin, A., Nordling, S., Bergman, A., & Cardell, L.O. (2010). Allergic rhinitis and the common cold – high cost to society. *Allergy*, *65*(6), 776–783. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2009.02269.x>
- Hickman, C., Marks, E., Pihkala, P., Clayton, S., Lewandowski, R. E., Mayall, E. E., Wray, B., Mellor, C., & Van Susteren, L. (2021). Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: A global survey. *The Lancet Planetary Health*, *5*(12), e863–e873. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00278-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00278-3)
- Houweling, D., Van der Helm, J., Versteeg-de Jong, A., Wesseling, J., Boomsma, C., & Van Wijk, S. (2021). Advies over nut en noodzaak van een pollenmeetnetwerk. RIVM briefrapport <https://doi.org/10.21945/RIVM-2021-0221>

- Hoz Caballer, B. de la, Rodriguez, M., Fraj, J., Cerecedo, I., Antolin-Amerigo, D., & 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). *American Journal of Rhinology & Allergy*, *26*(5), 390–394. <https://doi.org/10.2500/ajra.2012.26.3799>
- Hulscher, S.J.M.H., 't Hart, P., El-Dardiry, R.G.S., Toom, V., & De Vries, A.S. (2025). Mens en klimaat: De kracht van sociale infrastructuur bij adaptie. WRR, Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid.
- 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.
- IKNL. (2022). Nederlandse Kankeratlas. Geraadpleegd op 24 september 2025, van <https://iknl.nl/kankeratlas>
- IKNL. (2025a). Kanker in Nederland: sociaaleconomische verschillen, Deel I: verschillen vóór en rondom diagnose. Geraadpleegd op 24 september 2025, van <https://iknl.nl/kanker-in-nederland-ses-rapport-1#diagnose>
- IKNL. (2025b). NKR-cijfers: Nederlandse Kanker Registratie. Geraadpleegd op 30 september 2025, van <https://nkr-cijfers.iknl.nl>
- Inness, A., Chabrilat, S., Flemming, J., Huijnen, V., Langenrock, B., Nicolas, J., Polichtchouk, I., & Razinger, M. (2020). Exceptionally low Arctic stratospheric ozone in spring 2020 as seen in the CAMS reanalysis. *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1029/2020JD033563>
- Innocenti, M., Santarelli, G., Lombardi, G.S., Ciabini, L., Zjalic, D., Di Russo, M., & Cadeddu, C. (2023). How can climate change anxiety induce both pro-environmental behaviours and eco-paralysis? The mediating role of general self-efficacy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(4), 3085.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Health, Wellbeing and the Changing Structure of Communities. In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1041–1170). chapter, Cambridge: Cambridge University Press.
- Investico. (2024). 2 miljoen ouderen in woning met risico op oververhitting. <https://www.platform-investico.nl/onderzoeken/2-miljoen-ouderen-in-woning-met-risico-op-oververhitting>
- Jaakkola, J.J.K., Kiihamäki, S., Näyhä, S., Rytö, N.R.I., Hugg, T.T., & Jaakkola, M.S. (2021). Airborne pollen concentrations and daily mortality from respiratory and cardiovascular causes. *European Journal of Public Health*, *31*(4), 722–724. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckab034>
- Jin, S.-G., Padron, F., & Pfeifer, G. P. (2022). UVA radiation, DNA damage and melanoma. *ACS Omega*, *7*, 32936–32948.
- De Jong, A., Te Riele, S., Huisman, C., Van Duin, C., Husby, T., & Stoeldraijer, L. (2022). Regionale bevolkings- en huishoudensprognose 2022–2050: Steden en randgemeenten groeien verder (p.p. 24–28).

- Kang, T.-H., Lindsey-Boltz, L.A., Reardon, J.T., & Sancar, A. (2010). Circadian control of XPA and excision repair of cisplatin-DNA damage by cryptochrome and HERC2 ubiquitin ligase. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*, 48900–48995.
- Katsara, M.A., & Nothnagel, M. (2019). True colors: A literature review on the spatial distribution of eye and hair pigmentation. *Forensic Science International: Genetics*, *39*, 109–118.
- Kiarsi, M., Amiresmaili, M., Mahmoodi, M.R., Farahmandnia, H., Nakhaee, N., Zareiyan, A., & Aghababaeian, H. (2023). Heat waves and adaptation: A global systematic review. *Journal of thermal biology*, *116*, 103588.
- Klein, H., Gauss, M., Tsyro, S., Nyíri, Á., & Fagerli, H. (2021). Transboundary air pollution by sulphur, nitrogen, ozone and particulate matter in 2019 (Data Note). Norwegian Meteorological Institute.
- Klimaateffectatlas. (2025). Thema Hitte: Lengte groeiseizoen. Geraadpleegd op 27 november 2025, van <https://www.klimaateffectatlas.nl/nl/klimaatscenarios>
- Klompaker, J., & Hagens, W. (2025). Evaluatie Nationaal Hitteplan: De relatie tussen temperatuur en sterfte.
- KNMI (2021). Klimaatsignaal '21. Hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 p.p.
- KNMI. (2023). KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland [KNMI-Publicatie]. https://cdn.knmi.nl/system/ckeditor/attachment_files/data/000/000/357/original/KNMI23_klimaatscenarios_gebruikersrapport_23-03.pdf
- Kothe, E. J., Ling, M., North, M., Klas, A., Mullan, B.A., & Novoradovskaya, L. (2019). Protection motivation theory and pro-environmental behaviour: A systematic mapping review. *Australian Journal of Psychology*, *71*(4), 411-432.
- Kox, L., van Asselt, E., Mengelers, M., & Levisson, M. (2025, 13 mei). Verkenning van potentiële effecten van klimaatverandering op voedselveiligheid in Nederland: Mogelijke kennisleemtes in de borging van de voedselveiligheid. Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit. <https://www.nvwa.nl/documenten/consument/eten-drinken-roken/overige-voedselveiligheid/publicaties/verkenning-van-potentiele-effecten-klimaatverandering-op-voedselveiligheid>
- Kuhn, K. G., Nygård, K. M., Guzman-Herrador, B., Sunde, L. S., Rimhanen-Finne, R., Trönnberg, L., Jepsen, M.R., Ruuhela, R., Wong, W.K. & Ethelberg, S. (2020). Campylobacter infections are expected to increase due to climate change in Northern Europe. *Scientific Reports*, *10*(1), 13874.
- Kumar, M., Cuijpers, P., & Kumar, P. (2024). Planetary health and mental health nexus: Least understood and embraced in policy decisions. *Annals of Global Health*, *90*, Article. Ubiquity Press.
- Laddu, D., Paluch, A.E., & LaMonte, M.J. (2021). The role of the built environment in promoting movement and physical activity across the lifespan: Implications for public health. *Progress in Cardiovascular Diseases*, *64*, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2020.12.009>

- 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., & Epstein, M.M. (2017). Climate change and future pollen allergy in Europe. *Environmental Health Perspectives*, *125*(3), 385–391. <https://doi.org/10.1289/EHP173>
- Lam, H.C., Jarvis, D., Fuertes, E., 2021. Interactive effects of allergens and air pollution on respiratory health: a systematic review. *Sci. Total Environ.* *757*, 143924. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143924>
- Langselius O., Rumgay H., De Vries E., Whiteman D.C., Jemal A., Parkin D.M., Soerjomataram I. "Global burden of cutaneous melanoma incidence attributable to ultraviolet radiation in 2022", 2025, *Int J Cancer*, *157*(6):1110-1119. doi: 10.1002/ijc.35463. Epub 2025 May 27. PMID: 40421619.
- Lass-Hennemann, J., Sopp, M.R., Ruf, N., Equit, M., Schäfer, S.K., Wirth, B.E., & Michael, T. (2024). Generation climate crisis, COVID-19, and Russia-Ukraine-War: global crises and mental health in adolescents. *European Child and Adolescent Psychiatry*, *33*(7), 2203–2216. <https://doi.org/10.1007/s00787-023-02300-x>
- Laumbach, R., Meng, Q., & Kipen, H. (2015). What can individuals do to reduce personal health risks from air pollution?. *Journal of thoracic disease*, *7*(1), 96.
- Lawrence, K.P., Douki, T., Sarkany, R.P., Acker, S., Herzog, B. and Young, A.R., "Improved photoprotection in the UVA/visible radiation boundary region is essential to prevent DNA damage, oxidative stress and gene expression changes in human skin", 2024, *JEADV Clinical Practice*, *4*(2):440-450, DOI:10.1002/jvc2.586
- Lee, K.S., Kim, K., Choi, Y.J., Yang, S., Kim, C.R., Moon, J.H., Kim, K.R., Lee, Y.S., Oh, J.W. (2021) Increased sensitization rates to tree pollens in allergic children and adolescents and a change in the pollen season in the metropolitan area of Seoul, Korea. *Pediatr Allergy Immunol.* *2021 Jul*;32(5):872-879. <https://doi.org/10.1111/pai.13472>
- Legg, R., & Kabisch, N. (2024). The effects of allergenic pollen in green space on mental health, behaviour and perceptions: A systematic review. *Urban forestry & urban greening*, *92*, 128204.
- Lehmann, J., Truebner, M., Patzina, A., Jeitler, M., Hoffmann, R., & Kessler, C. S. (2025). The willingness to transition to a more plant-based diet among omnivores: Determinants and socioeconomic differences. *Appetite*, *206*, 107765.
- Leitlinienprogramm Onkologie der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e. V. (AWMF), Deutschen Krebsgesellschaft e. V. (DKG), & Deutschen Krebshilfe (DKH). (2022). S3-richtlijn Preventie van huidkanker (Versie 2.1, Nederlandse vertaling, geautoriseerde versie door Zonkrachtactieplatform, 20 mei 2022; AWMF-Registernummer: 032/052OL). Geraadpleegd op 30 september 2025, van <https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/leitlinien/hautkrebspraevention>
- Liu-Helmersson, J., Quam, M., Wilder-Smith, A., Stenlund, H., Ebi, K., Massad, E., & Rocklöv, J. (2016). Climate change and Aedes vectors: 21st century projections for dengue transmission in Europe. *EBioMedicine*, *7*, 267–277.

- Van der Lucht, F., Den Boer, G., Buijs, M., Deuning, C., Hilderink, H., Plasmans, M., Poos, R., Zwakhals, L., & Couwenbergh, C. (2024). Trends scenario Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2024.
- Maas, R.J.M., J. Hoekstra, M. Huitema, W. de Vries, P.G. Ruysenaars (2022). Inventarisatie van benodigde maatregelen om WHO-advieswaarden voor luchtkwaliteit in 2030 te realiseren, RIVM-rapport 2022-0094
- Mangen, M.J., Friesema, I.H.M., Pijnacker, R., Mughini Gras, L., & Van Pelt, W. (2018). Disease burden of food-related pathogens in the Netherlands, 2017 [Ziekte last van voedselgerelateerde ziekteverwekkers in Nederland, 2017] (RIVM Letter report 2018-0037). National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). <https://doi.org/10.21945/RIVM-2018-0037>
- Marques, A., Nunes, M.L., Moore, S.K., & Strom, M.S. (2010). Climate change and seafood safety: Human health implications. *Food Research International*, 43(7), 1766-1779.
- Masson, T., Bamberg, S., Stricker, M., & Heidenreich, A. (2019). "We can help ourselves": does community resilience buffer against the negative impact of flooding on mental health? *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(11), 2371-2384.
- Maurer, M. & Zuberbier, T. (2007). Undertreatment of rhinitis symptoms in Europe: findings from a cross-sectional questionnaire survey. *Allergy*. 2007;62(9):1057-63. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2007.01367.x>
- McCarron, A., Semple, S., Braban, C.F., Swanson, V., Gillespie, C., & Price, H. D. (2023). Public engagement with air quality data: using health behaviour change theory to support exposure-minimising behaviours. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 33(3), 321-331.
- McLoughlin, N., Howarth, C., & Shreedhar, G. (2023). Changing behavioral responses to heat risk in a warming world: How can communication approaches be improved?. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 14(2), e819.
- Meena, K.K., & Goswami, A. K. (2024). A review of air pollution exposure impacts on travel behaviour and way forward. *Transport Policy*, 154, 48-60.
- Mehra, S., & Woutersen, M. (2024). Kwalitatief gedragsonderzoek naar de motivaties en barrières bij zonbeschermende maatregelen. RIVM Kennisnotitie <https://doi.org/10.21945/RIVM-KN-20240059>
- Meinshausen, M., Nicholls, Z.R.J., Lewis, J., Gidden, M.J., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J.G., Daniel, J. S., John, A., Krummel, P.B., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S.A., Rayner, P.J., Reimann, S., Smith, S.J., van den Berg, M., Velders, G.J.M., Vollmer, M.K., & Wang, R.H.J. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13, 3571-3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- Meltzer, E.O. (2001). Quality of life in adults and children with allergic rhinitis. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 108(1, Suppl.), S45-S53. <https://doi.org/10.1067/mai.2001.115566>
- Michie, S., Atkins, L., & West, R. (2018). Het gedragsveranderingswiel. 8 stappen naar succesvolle interventies. Amsterdam University Press.

- Mijnen-Visser, S., De Jongh, L.A., Hazelhorst, S.B., Hoogerbrugge, R., Soenario, I., Stolwijk, G.J.C., de Vries, W.J., Wickink Kruit, R.J., Zuidberg, S. (2024), Grootschalige concentratiekaarten Nederland Rapportage 2024, RIVM rapport 2024-0059, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Minister van Infrastructuur en Waterstaat. (2022). Kamerbrief over rol Water en Bodem bij ruimtelijke ordening. Den Haag: Rijksoverheid. Opgehaald van: <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/11/25/kabinet-maakt-water-en-bodem-sturend-bij-ruimtelijke-keuzes>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2024, 20 december). Koepelrapport Tussenevaluatie KRW. Den Haag: ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/12/20/Bijlage-2-koepelrapport-tussenevaluatie-krw>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2025, 24 juli). Voortgangsrapportage Beleidstafel wateroverlast en hoogwater voorjaar. Rijksoverheid. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2025/07/24/Bijlage-3-voortgangsrapportage-beleidstafel-wateroverlast-en-hoogwater-voorjaar-2025>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2026). Nieuwe Nationale Adaptatiestrategie (NAS) [in voorbereiding].
- Montague, M., Borland, R., & Sinclair, C. (2001). Slip! Slop! Slap! and SunSmart, 1980–2000: Skin cancer control and 20 years of population-based campaigning. *Health Education & Behavior*, 28(3), 290–305. <https://doi.org/10.1177/109019810102800304>
- Mortimer, K., Lesosky, M., García-Marcos, L., Asher, M.I., Pearce, N., Ellwood, E., Bissell, K., El Sony, A., Ellwood, P., Marks, G.B., Martínez-Torres, A., Morales, E., Perez-Fernandez, V., Robertson, S., Rutter, C.E., Silverwood, R.J., Strachan, D.P., Chiang, C & The Global Asthma Network Phase I Study Group. (2022). The burden of asthma, hay fever and eczema in adults in 17 countries: GAN Phase I study. *European Respiratory Journal*, 60, 2102865. <https://doi.org/10.1183/13993003.02865-2021>
- Mulder, A. C., Pijnacker, R., De Man, H., Van De Kassteele, J., Van Pelt, W., Mughini-Gras, L., & Franz, E. (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*, 19(1), 377.
- Murray, H.C., Maltby, V.E., Smith, D.W., & Bowden, N.A. (2015). Nucleotide excision repair deficiency in melanoma in response to UVA. *Experimental Hematology & Oncology*, 5, 6.
- Murrison, L.B., Brandt, E.B., Myers, J.B., & Khurana Hershey, G.K. (2019). Environmental exposures and mechanisms in allergy and asthma development. *Journal of Clinical Investigation*, 129(4), 1504–1515. <https://doi.org/10.1172/JCI124612>
- Muzalyova, A., & Brunner, J.O. (2020). Determinants of the utilization of allergy management measures among hay fever sufferers: a theory-based cross-sectional study. *BMC Public Health*, 20(1), 1876.

- Muzalyova, A., Brunner, J.O., Traidl-Hoffmann, C. et al. (2019). Pollen allergy and health behavior: patients trivializing their disease. *Aerobiologia* 35, 327–341 (2019).
<https://doi.org/10.1007/s10453-019-09563-5>
- Neale, R.E., Barnes, P.W., Robson, T.M., Neale, P.J., Williamson, C.E., Zepp, R.G., Wilson, S.R., Madronich, S., Andrady, A.L., Heikkilä, A.M., Bernhard, G.H., Bais, A.F., Aucamp, P.J., Banaszak, A.T., Bornman, J.F., Bruckman, L.S., Byrne, S.N., Foereid, B., Häder, D., Hollestein, L.M., Hou, W., Hylander, S., Jansen, M.A.K., Klekociuk, A.R., Liley, J.B., Longstreth, J., Lucas, R.M., Martinez-Abaigar, J., McNeill, K., Olsen, C.M., Pandey, K.K., Rhodes, L.E., Robinson, S.A., Rose, K.C., Schikowski, T., Solomon, K.R., Sulzberger, B., Ukpebor, J.E., Wang, Q., Wängberg, S., White, C.C., Yazar, S., Young, A.R., Young, P.J., Zhu, L., & Zhu, M. (2021). Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 20, 1–67.
<https://doi.org/10.1007/s43630-020-00001-x>
- Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit. (2020, april). Bestrijding Aziatische tijgermug. NVWA.
- Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit. (z.d.). HACCP.
<https://www.nvwa.nl/onderwerpen/haccp>
- Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit. (z.d.). Natuurlijke gifstoffen. Van <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/contaminanten-in-levensmiddelen/natuurlijke-gifstoffen>
- Neumann, J.E., Anenberg, S.C., Weinberger, K.R., Amend, M., Gulati, S., Crimmins, A., Roman, H., Fann, N. & Kinney, P.L. (2019). Estimates of present and future asthma emergency department visits associated with exposure to oak, birch, and grass pollen in the United States. *GeoHealth*, 3, 11–27.
<https://doi.org/10.1029/2018GH000153>
- Newman Thacker, F.E., Yttewaal, K., Quinones, T., Leemans, R., Hannah, B., & Stoof, C.R. (2025). In this current wildfire crisis, acknowledge widespread suffering. *Ambio*, 54(5), 759–773.
<https://doi.org/10.1007/s13280-024-02105-5>
- NHG (2018). NHG-Standaard. Allergische en niet-allergische rinitis (M48). Versie 3.1, juni 2025. Nederlands Huisartsen Genootschap. Allergische en niet-allergische rinitis | NHG-Richtlijnen
- Nichols, G. L. (2005). Fly transmission of *Campylobacter*. *Emerging Infectious Diseases*, 11(3), 361.
- NIPV (2023). Natuurbrandsignaal '23. Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV).
- NOS. (2025, 30 juni). Nieuwbouwhuis raakt hitte slecht kwijt: 'We bouwen voor klimaat van 15 jaar geleden'.
<https://nos.nl/collectie/13871/artikel/2573028-nieuwbouwhuis-raakt-hitte-slecht-kwijt-we-bouwen-voor-klimaat-van-15-jaar-geleden>.
- O'Donnell, M., & Palinkas, L. (2024). Taking a trauma and adversity perspective to climate change mental health. *European Journal of Psychotraumatology*, 15(1), 2343509.
<https://doi.org/10.1080/20008066.2024.2343509>

- Oltra, C., & Sala, R. (2018). Perception of risk from air pollution and reported behaviors: A cross-sectional survey study in four cities. *Journal of Risk Research*, *21*(7), 869-884.
- Ostwalder, U., & Herzog, B. (2010). The long way towards the ideal sunscreen—Where we stand and what still needs to be done. *Photochemical & Photobiological Sciences*, *9*, 470-481.
- Palinkas, L.A., & Wong, M. (2020). Global climate change and mental health. *Current Opinion in Psychology*, *32*, 12-16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.06.023>
- Prentice-Dunn, S., & Rogers, R.W. (2001). Protection motivation theory and preventive health: Beyond the Health Belief Model. *Health Education Research*, *1*(3), 153-161.
- Qi, J., Mazumdar, S., & Vascelos, A.C. (2024). Understanding the Relationship between Urban Public Space and Social Cohesion: A Systematic Review. *International Journal of Community Well-Being*, *7*(2), 155-212. <https://doi.org/10.1007/s42413-024-00204-5>
- Queenan, K., & Häsler, B. (2025). Climate change and campylobacteriosis from chicken meat: *The changing risk factors and their importance*. *Food Control*, *173*, 111193.
- Raker, E.J., Lowe, S.R., Arcaya, M.C., Johnson, S.T., Rhodes, J., & Waters, M. C. (2019). Twelve years later: The long-term mental health consequences of Hurricane Katrina. *Social Science & Medicine*, *242*, 112610. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2019.112610>
- Rauer, D., Gilles, S., Wimmer, M., Frank, U., Mueller, C., Musiol, S., Vafadari, B., Aglas, L., Ferreira, F., Schmitt-Kopplin, P., Durner, J., Winkler, J.B., Ernst, D., Behrendt, H., Schmidt-Weber, C.B., Traidl-Hoffmann, C., Alessandrini, F., (2020) Ragweed plants grown under elevated CO₂ levels produce pollen which elicit stronger allergic lung inflammation. *Allergy* *76*, 1718-1730. <https://doi.org/10.1111/all.14618>
- Van der Ree, J., Betgen, C., Boomsma, C., Van Dijk, A., & Hall, L. (2022). Onvoldoende kennis om gezondheid in Nederland te beschermen tegen klimaatverandering. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2022-0030>
- Reuben, A., Manczak, E.M., Cabrera, L.Y., Alegria, M., Bucher, M.L., Freeman, E.C., Miller, G.W., Solomon, G.M., & Perry, M.J. (2022). The Interplay of Environmental Exposures and Mental Health: Setting an Agenda. *Environ Health Perspect*, *130*(2), 25001. <https://doi.org/10.1289/EHP9889>
- Reukers, D.F.M., Bartels, A.A., Mulder, A. C., Berry, D. S. F., Euser, S., Laarman, C., van den Berg, H., Van Gageldonk-Lafeber, A.B. & Brandsema, P.S. (2024). Surveillance van legionellose in Nederland. Overzicht van clusters, bronnen en omgevingsfactoren tussen 2013-2022. RIVM-rapport 2024-0036. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Riedmann, U., Dibben, C., De Gruijl, F.R., Gorman, S., Hart, P.H., Hoel, D.G., Levy, C., Lindqvist, P.G., Norval, M., Parikh, S.S., Pilz, S., Rueter, K., Slominski, A.T., Slominski, R, De Paula Correa, M. (2024). The silent UVA. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, *257*, 112942.

- Rijksoverheid. (z.d.a). Crisisbeheersing.
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/veiligheidsregio's-en-crisisbeheersing/crisisbeheersing>
- Rijksoverheid. (z.d.b). Landbouwbeleid.
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/landbouw-en-tuinbouw/landbouwbeleid>
- RIVM. (z.d.). Klimaat, voedsel en gezondheid.
<https://www.rivm.nl/klimaat-en-gezondheid/voedsel>
- Romanello, M., Walawender, M., Hsu, S.C., Moskeland, A., Palmeiro-Silva, Y., Scamman, D., Ali, Z., Ameli, N., Angelova, D., Ayeb-Karlsson, S., Basart, S., Beagley, J., Beggs, P.J., Blanco-Villafuerte, L., Cai, W., Callaghan, M., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J.D., Chicmana-Zapata, V., ... Costello, A. (2024). The 2024 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Facing record-breaking threats from delayed action. *The Lancet*, 404, 1847–1896.
- Rouadi, P.W., Idriss, S.A., Naclerio, R.M., Peden, D.B., Ansotegui, I.J., Canonica, G.W., Gonzalez-Diaz, S.N., Rosario Filho, N.A., Ivancevich, J.C., Hellings, P.W., Murrieta-Aguttes, M., Zaitoun, F.H., Irani, C., Karam, M.R., & Bousquet, J. (2020). Immunopathological features of air pollution and its impact on inflammatory airway diseases (IAD). *World Allergy Organization Journal*, 13(10), 100467.
<https://doi.org/10.1016/j.waojou.2020.100467>
- Rovers, V., Niessink, R., Loonen, P., Van der Wal, A., & Matthijssen, E. (2021). Energievraag van ruimteteoeling in woningen. TNO.
<https://publications.tno.nl/publication/34639092/k8jFX5/TNO-2021-R12657.pdf>
- Russell, M.C., Haley, B M., Slawsky, E.D., Jardel, H., Cowan, K.N., Dillon, D. T., McConaghy, C.A., Hoffman, J.C. & Rappazzo, K M. (2025). A review of combined sewer overflows and gastrointestinal illness in a changing climate. *Current Epidemiology Reports*, 12(1), 1–13.
- Ruysenaars, P.G., Couvreur, A., Hoekstra, J., Jacobs, J., Lammerts-Huitema, M., Swart, W.J.R., & de Vries, W. (2024). Monitoringsrapportage Doelbereik Schone Lucht Akkoord: tweede voortgangsmeting (RIVM-rapport 2023-0383). RIVM.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2023-0383.pdf>
- RVO. (2021). Energieprestatie indicatoren - BENG.
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/beng/indicatoren#tojuli%3A-beperken-risico-op-oververhitting-nieuwbouwwoningen>
- Sargent, K., Mollard, J., Henley, S.F., & Bollasina, M.A. (2022). Predicting transmission suitability of mosquito-borne diseases under climate change to underpin decision making. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13656.
- Schaffner, U., Steinbach, S., Sun, Y., Skjøth, C., de Weger, L., 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.
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-15586-1>

- Schets, F.M., Pol-Hofstad, I.E., Van den Berg, H.H., & Schijven, J.F. (2025). Climate change-related temperature impact on human health risks of *Vibrio* species in bathing and surface water. *Microorganisms*, *13*(8), 1893.
- Schets, F.M., Pol-Hofstad, I., Van den Berg, H.H.L.J., Lynch, G., Serafim, F., van Overbeek, W., & Schijven, J. F. (2022). Risico's van *Vibrio*-besmetting in zwemwater, schelpdierproductiewater en schelpdieren. RIVM-rapport 2022-0081. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Schipperijn, J., Bentsen, P., Troelsen, J., Toftager, M., & Stigsdotter, U. K. (2013). Associations between physical activity and characteristics of urban green space. *Urban Forestry & Urban Greening*, *12*(1), 109–116.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.12.002>
- Schmalwieser, A.W., Schmalwieser, V.T., & Schmalwieser, 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*, *95*, 1068–1075.
<https://doi.org/10.1111/php.13088>
- Schreurs, W., Schermer, T.R.J., Akkermans, R.P., Van Weel, C., Van den Bosch, W.J.H.M., & De Grauw, W. J. C. (2022). 25-year retrospective longitudinal study on seasonal allergic rhinitis associations with air temperature in general practice. *NPJ Primary Care Respiratory Medicine*, *32*, 54.
<https://doi.org/10.1038/s41533-022-00319-2>
- Schroor, S. (2024). Klimaatverandering: Wij moeten het nu oplossen. Een onderzoek naar de behoeften van adolescenten en jongvolwassenen en de voorbereiding op de gevolgen van klimaatverandering
- Sénéchal, H., Visez, N., Charpin, D., Shahali, Y., Peltre, G., Biolley, J., Lhuissier, F., Couderc, R., Yamada, O., Malrat-Domenge, A., Pham-Thi, N., Poncet, P., & Sutra, J. (2015). A review of the effects of major atmospheric pollutants on pollen grains, pollen content, and allergenicity. *The Scientific World Journal*, *2015*, 940243. <https://doi.org/10.1155/2015/940243>
- Skinner, C.S., Tiro, J., & Champion, V.L. (2015). Background on the health belief model. *Health behavior: Theory, research, and practice*, *75*, 1-34.
- Son, J., Liu, J.C., & Bell, M.L. (2019). Temperature-related mortality: A systematic review and investigation of effect modifiers. *Environmental Research Letters*, *14*(7), 073004.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab20d2>
- Spijkerman, A., Blokstra, A., Busch, M., Janssen-van Eijndt, T., & Uiters, E. (2024). Gezonde Generaties 2050. Themaverkenning bij de Volksgezondheid
- Staatsen, B., Hall, E., Strak, M., Betgen, C., & Limaheluw, J. (2024). Naar een gezonde leefomgeving in een veranderend klimaat. Themaverkenning bij de Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2024. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.
<https://doi.org/10.21945/RIVM-2024-0048>
- Steen, C., Holsappel-Brons, J., & Van Hoof, W. (2022). GGD Toolkit PSH; *Toolkit voor GGD'en ter bevordering van de psychosociale hulp na rampen*.

- Taniguchi, K., Takano, M., Tobar, Y., Hayano, M., Nakajima, S., Mimura, M., Tsubota, K., & Noda, Y. (2022). Influence of External Natural Environment Including Sunshine Exposure on Public Mental Health: A Systematic Review. *Psychiatry International*, 3(1), 91–113.
- Techniek Nederland. (2025). De airco vestigt een nieuw record: meer dan 300.000 installaties in 2025. <https://www.technieknederland.nl/pers/de-airco-vestigt-een-nieuw-record-meer-dan-300000-installaties-in-2025>
- Ten Have, M., Tuithof, M., Van Dorselaer, S., Schouten, F., Luik, A.I., & De Graaf, R. (2023). Prevalence and trends of common mental disorders from 2007-2009 to 2019-2022: results from the Netherlands Mental Health Survey and Incidence Studies (NEMESIS), including comparison of prevalence rates before vs. during the COVID-19 pandemic. *World Psychiatry*, 22(2), 275–285. <https://doi.org/10.1002/wps.21087>
- Tewari, A., Grage, M.M.L., Harrison, G.I., Sarkany, R., & Young, A.R. (2013). UVA1 is skin deep: Molecular and clinical implications. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 12, 95–103.
- Thien, F., Beggs, P.J., Csutoros, D., Darvall, J., Hew, M., Davies, J. M., Bardin, P.G., Bannister, T., Barnes, S., Bellomo, R., & Byrne, T. (2018). The Melbourne epidemic thunderstorm asthma event 2016: An investigation of environmental triggers, effect on health services, and patient risk factors. *The Lancet Planetary Health*, 2(6), e255–e263. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30165-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30165-2)
- Thompson, R., Lawrance, E.L., Roberts, L.F., Grailey, K., Ashrafian, H., Maheswaran, H., Toledano, M.B., & Darzi, A. (2023). Ambient temperature and mental health: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 7(7), e580–e589. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00104-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00104-3)
- Tirado, M. C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gollop, A., & Frank, J.M. (2010). Climate change and food safety: A review. *Food Research International*, 43(7), 1745-1765. `
- Tkachenko, E., Singer, S., Mostaghimi, A., & Hartman, R.I. (2020). Association of poor mental health and skin cancer development: A cross-sectional study of adults in the United States. *European Journal of Cancer Prevention*, 29(6), 520–522. <https://doi.org/10.1097/cej.0000000000000567>
- Tobías, A., Hashizume, M., Honda, Y., Sera, F., Ng, C.F.S., Kim, Y., Roye, D., Chung, Y., Dang, T.N., & Kim, H. (2021). Geographical variations of the minimum mortality temperature at a global scale: A multicountry study. *Environmental Epidemiology*, 5, e169. <https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000169>
- Tokez, S. (2022). The epidemiology of cutaneous squamous cell carcinoma: From precursor to metastasis (Doctoral thesis, Erasmus University Rotterdam).
- UNEP (2022a) United Nations Environment Programme. Spreading like Wildfire – The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires. A UNEP Rapid Response Assessment. Nairobi.
- UNICEF, K. I. (2024). A Threat to Progress Confronting the effects of climate change on child health and well-being (9789280655797). https://www.unicef.org/media/159341/file/A_Threat_to_Progress_190824%20EN.pdf

- Van Valkengoed, A. M., & Steg, L. (2019). Meta-analyses of factors motivating climate change adaptation behaviour. *Nature climate change*, *9*(2), 158-163.
- Vicedo-Cabrera, A. M., Sera, F., & Gasparrini, A. (2019). Hands-on tutorial on a modeling framework for projections of climate change impacts on health. *Epidemiology*, *30*(3), 321-329. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000985>
- Kaufmann, W.K., Smarte, R.C., & Sancar, A. (2011). Control of skin cancer by the circadian rhythm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*, 1870-1895.
- Walinski, A., Sander, J., Gerlinger, G., Clemens, V., Meyer-Lindenberg, A., & Heinz, A. (2023). The effects of climate change on mental health. *Deutsches Ärzteblatt International*, *120*(8), 117-124. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2022.0403>
- Walker, H., Maitland, C., Tabbakh, T., Preston, P., Wakefield, M., & Sinclair, C. (2022). Forty years of Slip! Slop! Slap! A call to action on skin cancer prevention for Australia. *Public Health Research & Practice*, *32*(1), e31452117.
- 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. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *120*(2), 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2007.03.034>
- Wang, Y.X., Matson, K.D., Santini, L., Visconti, P., Hilbers, J.P., Huijbregts, M. A., Xu, Y., Prins, H.H.T., Allen, T., Huang Z.Y.X. & De Boer, W.F. (2021). Mammal assemblage composition predicts global patterns in emerging infectious disease risk. *Global Change Biology*, *27*(20), 4995-5007.
- Waterkwaliteitscheck. (z.d.). <https://waterkwaliteitscheck.nl>
- Wayne, P., Foster, S., Connolly, J., Bazzaz, F., & Epstein, P. (2002). Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO₂-enriched atmospheres. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, *88*(3), 279-282. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)62009-1](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)62009-1)
- De Weger, L.A., Bruffaerts, N., Koenders, M.M., Verstraeten, W.W., Delcloo, A.W., Hentges, P., & Hentges, F. (2021). Long-term pollen monitoring in the Benelux: evaluation of allergenic pollen levels and temporal variations of pollen seasons. *Frontiers in Allergy*, *2*, 676176.
- De Weger, L.A., van der Linden, A.C., Terreehorst, I., Van der Slikke, W.J., van Vliet, A.J.H., & Hiemstra, P.S. (2009). Ambrosia in Nederland: Allergische sensibilisatie en verspreiding van planten en pollen. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, *153*, B340.
- Weitekamp, C.A., & Hofmann, H.A. (2021). Effects of air pollution exposure on social behavior: a synthesis and call for research. *Environmental Health*, *20*(1), 72.
- Welch, H.G., Mazer, B.L., & Adamson, A.S. (2021). The rapid rise in cutaneous melanoma diagnoses. *The New England Journal of Medicine*, *384*(1).
- Weller, R. B. (2024). Sunlight: Time for a rethink? *Journal of Investigative Dermatology*. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2023.12.027>

- White, M.P., Elliott, L.R., Grellier, J., Economou, T., Bell, S., Bratman, G.N., Cirach, M., Gascon, M., Lima, M. L., Löhmus, M., Nieuwenhuijsen, M., Ojala, A., Roiko, A., Schultz, P.W., Van Den Bosch, M., & Fleming, L.E. (2021). Associations between green/blue spaces and mental health across 18 countries. *Scientific Reports*, *11*(1), 8903. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87675-0>
- Whitmarsh, L., Player, L., Jiongco, A., James, M., Williams, M., Marks, E., & Kennedy-Williams, P. (2022). Climate anxiety: What predicts it and how is it related to climate action?. *Journal of Environmental Psychology*, *83*, 101866.
- Wilson, B., Neale, C., & Roe, J. (2024). Urban green space access, social cohesion, and mental health outcomes before and during Covid-19. *Cities*, *152*, 105173. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105173>
- Witmer, M., Franken, R., Van Gaalen, F., Van Minnen, J., Beijer, E., & Kirkels, F. (2023). Nationale Klimaatrisicoanalyse 2022-2026 (No. 5044; pp. 1–117).
- WKR. (2025). Meeveranderen met het klimaat. Ruimtelijke en maatschappelijke keuzes voor klimaatadaptatie. WKR-advies 004. Den Haag: WKR.
- WMO (2009), Implications of climate change for air quality, United Nations, World Meteorological Organization, <https://wmo.int/media/magazine-article/implications-of-climate-change-air-quality>
- WMO (2025, September), WMO air quality and climate bulleting no. 5, United Nations, World Meteorological Organization, <https://wmo.int/publication-series/wmo-air-quality-and-climate-bulletin-no-5-september-2025>
- World Health Organization (WHO). (2015). Operational framework for building climate resilient health systems. <https://iris.who.int/handle/10665/189951>
- World Health Organization (WHO). (2021a). Quality criteria for health national adaptation plans. <https://iris.who.int/handle/10665/339454>
- World Health Organization (WHO). (2021b). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- World Health Organization (WHO). (2022a). Measuring the climate resilience of health systems. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240048102>
- World Health Organization (WHO). (2022b). Mental health and climate change policy brief. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240055407>
- WRR. (2023). Klimaatkennis voor de lange termijn - Naar een adaptief klimaatbestuur.
- WRR. (2025). Mens en klimaat - De kracht van sociale infrastructuur bij adaptatie.
- Zhang, Y., & Steiner, A.L. (2022). Projected climate-driven changes in pollen emission season length and magnitude over the continental United States. *Nature Communications*, *13*, 1234. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28764-0>

Zhao, Q., Yu, P., Mahendran, R., Huang, W., Gao, Y., Yang, Z., Ye, T., Wen, B., Wu, Y., Li, S., & Guo, Y. (2022). Global climate change and human health: Pathways and possible solutions. *Eco-Environment & Health*, 1(2), 53–62.
<https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.04.004>

S.C.J. Oostdijk | S. Boekhold | C. Boomsma | A. van Dijk | E.F. Hall |
M.M. Harbers | R. Heesterbeek | J.O. Klompmaker | M. Levisson |
J. Limaheluw | M. Otter | I.J. Rahmon | J. van der Ree

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

maart 2026

De zorg voor morgen
begint vandaag