



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

# Gezondheidseffecten van klimaatverandering

Actualisatie van de huidige klimaatrisico's voor gezondheid



## **Gezondheidseffecten van klimaatverandering**

Actualisatie van de huidige klimaatrisico's voor gezondheid

RIVM-briefrapport 2023-0324

## Colofon

© RIVM 2024

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

DOI 10.21945/RIVM-2023-0324

C.D. Betgen (auteur), RIVM  
S. Boekhold (auteur), RIVM  
C. Boomsma (auteur), RIVM  
A. van Dijk (auteur), RIVM  
E.F. Hall (auteur), RIVM  
W. Hagens (auteur), RIVM  
J. Limaheluw (auteur), RIVM  
P. Ruysenaars (auteur), RIVM  
J. van der Ree (auteur), RIVM  
A. Versteeg – de Jong (auteur), RIVM

Met bijdragen van L. Geelen, A.M. de Roda Husman en K. van Zoonen

Contact:

Channah Betgen  
Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid  
[channah.betgen@rivm.nl](mailto:channah.betgen@rivm.nl)

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

Dit is een uitgave van:  
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**  
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

### **Gezondheidseffecten van klimaatverandering**

Actualisatie van de huidige klimaatrisico's voor gezondheid

Het klimaat verandert wereldwijd, en ook in Nederland. De gemiddelde temperatuur is de afgelopen eeuw gestegen. Er is meer neerslag, meer droogte en er komen vaker zomerse dagen voor (boven de 25 graden Celsius). Het RIVM heeft de gevolgen van klimaatverandering voor onze gezondheid in de afgelopen 30 jaar (1991-2020) in kaart gebracht. Er zijn nu al grote gevolgen voor de gezondheid te zien. Deze effecten zullen naar verwachting toenemen.

Dit onderzoek focust zich op de effecten op de gezondheid van hitte, UV-straling, luchtkwaliteit, (pollen)allergieën en infectieziekten door klimaatverandering. Ook mentale gezondheidsgevolgen zijn meegenomen. Het blijkt mogelijk te zijn om aan te geven dát klimaatverandering de gezondheid verslechtert en op welke manier. Maar de mate waarin dat gebeurt is vaak nog niet aan te geven omdat ook andere oorzaken eraan bijdragen. Meer kennis is nodig om de impact van klimaatverandering beter in beeld te krijgen en goede adviezen voor beleid te kunnen maken die de gezondheid beschermen.

Het best onderbouwde effect van klimaatverandering op gezondheid is het aantal extra sterfgevallen door de hogere gemiddelde jaartemperatuur: gemiddeld 250 doden per jaar. Door klimaatverandering zijn er onder andere meer warme dagen (boven de 20 graden). Ook komen er meer hittegolven voor, die langer duren en heter zijn. Hierdoor sterven meer mensen dan normaal.

Hitte en droogte gaan vaak samen met veel pollen in de lucht en hoge concentraties ozon (zomersmog). Hierdoor kunnen mensen het benauwd krijgen, zeker als zij al aandoeningen aan de luchtwegen hebben. Het groeiseizoen duurt langer en er zijn meer pollen in de lucht. Meer mensen kunnen hooikoorts krijgen of hun klachten kunnen erger worden. Daarnaast staan mensen om verschillende redenen aan meer UV-straling bloot. Bijvoorbeeld omdat de zon meer uren schijnt, er minder wolken zijn en mensen meer buiten zijn met zonnig weer. Hierdoor is de kans op huidkanker groter.

Verder komen bepaalde infectieziekten, zoals legionellose, door klimaatverandering nu vaker voor. De Legionella-bacterie, die deze ziekte veroorzaakt, vermeerdert zich in warm water en kan via nevel worden ingeademd. Bijvoorbeeld als het na een warme en droge periode hard regent. Verder zijn teken een langere periode in het jaar actief, waardoor de kans om de ziekte van Lyme te krijgen groter is geworden. Daarnaast kan klimaatverandering een negatief effect hebben op de mentale gezondheid door de dreiging die ervan uitgaat en ervaringen met extreem weer.

Het RIVM heeft de bestaande kennis verzameld op verzoek van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het PBL verzamelt kennis over de gevolgen van klimaatverandering voor de vernieuwing van de Nationale Adaptatie Strategie (NAS). Het PBL brengt de komende jaren ook de toekomstige gevolgen van klimaatverandering in beeld.

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

## Synopsis

### **Health effects of climate change**

An update of the current risks of climate change for health

The climate is changing worldwide, and therefore also in the Netherlands. The average temperature has increased over the past century. There is more precipitation, there are more periods of dry weather and days with temperatures above 25 degrees Celsius are now more frequent in the Netherlands. RIVM has studied the effects of climate change on our health over the past 30 years (1991-2020). Major health impacts are already visible and they are expected to increase.

This study focuses on the health effects of heat, UV radiation, air quality, (pollen) allergies and infectious diseases due to climate change. Mental health effects are also included. The study illustrates that climate change worsens health and explains how this happens. However, the extent to which this happens is often more difficult to determine because other factors also affect health. More knowledge is needed to get a better picture of the impact of climate change and to be able to give sound advice on policies to protect health.

The strongest evidence for the effects of climate change on health concerns the number of additional deaths due to higher average annual temperatures: an average of 250 deaths per year. Climate change leads to warmer days (above 20 degrees Celsius). There are also more heat waves, which last longer and are hotter. As a result, more people die than usual.

Hot and dry weather often occurs at the same time as a lot of pollen in the air and high concentrations of ozone (summer smog). This can make people experience shortness of breath, especially if they already have a respiratory disease. The growing season lasts longer these days and there is more pollen in the air. This means more people may get hay fever or their symptoms may worsen. In addition, people are exposed to more UV radiation. This can be, for example, because there are more sun hours, there are fewer clouds and people are outside more in sunny weather. This increases the risk of skin cancer.

In addition, certain infectious diseases, such as Legionnaires' disease, are now more common due to climate change. The Legionella bacteria which causes this disease multiplies in warm water and can be inhaled through mist, for example, when it rains hard after a warm and dry period. Furthermore, ticks are active for a longer period of time, increasing the likelihood of getting Lyme disease. Moreover, climate change can have a negative effect on mental health, due to the threat it poses and to experiencing extreme weather.

RIVM collated the existing knowledge at the request of the Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL). PBL is bringing together the knowledge as part of the update of the National Climate Adaptation

Strategy (NAS). In the coming years, PBL will provide an overview of the future consequences of climate change.

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



## Inhoudsopgave

### **Samenvatting — 9**

#### **1 Inleiding — 13**

1.1 Aanleiding — 13

1.2 Methode — 13

1.3 Buiten scope — 21

1.4 Leeswijzer — 21

#### **2 Gezondheidseffecten van klimaatverandering — 23**

2.1 Inleiding — 23

2.2 Hoogrisicogroepen — 25

#### **3 Factsheet Hitte — 27**

#### **4 Factsheet Luchtkwaliteit — 43**

#### **5 Factsheet Mentale gezondheid — 61**

#### **6 Factsheet UV-Straling — 75**

#### **7 Factsheet Pollenallergieën — 89**

#### **8 Factsheet Infectieziekten — 105**

#### **9 Overzicht eindimpacts — 125**

#### **Referenties hoofdrapport — 127**

#### **Bijlage 1 Classificatie onzekerheid en betrouwbaarheid — 129**

#### **Bijlage 2 Klimaatbestendigheid van de zorgsector bij extreem weer — 131**



## Samenvatting

Het klimaat verandert wereldwijd en dus ook in Nederland. De gemiddelde temperatuur is de afgelopen eeuw gestegen, er is meer neerslag, meer droogte en er komen vaker zeer warme dagen voor. Klimaatverandering heeft effect op onze gezondheid. In het kader van de herziening van de Nationale Adaptatie Strategie (NAS) voert het PBL samen met andere kennisinstellingen onderzoek uit naar de effecten van klimaatverandering. Het RIVM brengt de gezondheidseffecten in beeld. Het betreft een nieuwe analyse (herijking/actualisatie) van de gezondheidseffecten van klimaatverandering over de periode 1991-2020. Deze nieuwe analyse van de gezondheidseffecten door klimaatverandering biedt een basis voor beleid en prioritering van de meest urgente risico's en voor monitoring van de risico's op lange termijn.

Voor de actualisatie zijn zes klimaatgerelateerde gezondheidsthema's geanalyseerd: hitte, luchtkwaliteit, mentale gezondheid, UV-straling, (pollen)allergieën en infectieziekten.

Het PBL doet een actualisatie van de effecten van klimaatverandering op meerdere sectoren, zoals: water, natuur en landbouw. Om de resultaten te kunnen vergelijken is door het (PBL een format gemaakt in de vorm van een factsheet. Per klimaatgerelateerd gezondheidsthema is een uitwerking gemaakt van:

- Klimaatrisicoanalyse, bestaande uit de klimaatdreiging, secundaire effecten, blootstelling, gevoeligheid, adaptatiecapaciteit, impact en cascade-effecten;
- Uit de klimaatrisicoanalyse worden de gevolgen voor mens en cultuur, natuur en milieu en economie vertaald naar een eindimpact. Vervolgens is de waarschijnlijkheid van deze gevolgen omschreven en ook de mogelijke wildcards ('zwarte zwanen') en kantelpunten;
- Context, bestaande uit de bestuurlijke context, samenhang met andere transitie en beleid, internationale aspecten, maladaptatie en/of lock-ins, aanknopingspunten voor adaptatiebeleid en rechtvaardigheid;
- Kwaliteitsborging, bestaande uit transparantie, aggregatie en afbakening, kennishiaten, onzekerheid, betrouwbaarheid en expertbeoordeling.

Voor de zes klimaatgerelateerde gezondheidsthema's is zo goed als mogelijk een invulling gegeven aan al deze aspecten. De belangrijkste gezondheidsrisico's voor de thema's zijn als volgt vastgesteld:

1. Door klimaatverandering stijgt de gemiddelde temperatuur en krijgt Nederland vaker te maken met meer en intensere warmte. Zowel hittegolven als stijging van de gemiddelde jaartemperatuur leiden tot ziektelast en sterfte. De ziektelast en sterfte door koude zullen volgens de huidige inzichten afnemen.
2. Door klimaatverandering komen weersomstandigheden die de luchtkwaliteit negatief kunnen beïnvloeden vaker voor, zoals hittegolven met weinig wind, droogte en een hoge zonkracht. De

vorming van ozon is dan hoog (zomersmog) en fijnstof blijft in de lucht hangen. Met als gevolg dat mensen (extra) last krijgen van gezondheidsklachten. Tegelijk neemt het algehele gezondheidsrisico af vanwege verbetering van de luchtkwaliteit door klimaatmitigatiemaatregelen.

3. Het meemaken van acute gebeurtenissen (extreme weersomstandigheden), subacute gebeurtenissen (geconfronteerd worden met lange perioden van droogte) of de algehele dreiging van klimaatverandering kan leiden tot mentale gezondheidsproblemen. Dit uit zich onder andere in angst, stress en depressie.
4. Door klimaatverandering heeft Nederland te maken met hogere temperaturen en meer zomerse dagen met minder bewolking. Dit, samen met een dunnere ozonlaag en een verbetering in de algehele luchtkwaliteit, zorgt voor een toename van UV-straling die het aardoppervlak bereikt. Door toenemende warme dagen is de verwachting dat er meer buiten wordt gerecreëerd waardoor de blootstelling aan UV-straling toeneemt. UV-straling wordt beschouwd als de belangrijkste risicofactor voor het ontwikkelen van huidkanker.
5. Door klimaatverandering begint het pollenseizoen vroeger en duurt het langer, pollenconcentraties nemen toe en pollen worden mogelijk allergener. Het Nederlandse klimaat wordt geschikter voor de vestiging van niet-inheemse plantsoorten die allergene pollen produceren. Daardoor zullen hooikoortsklachten bij bestaande patiënten langer duren en/of verergeren en is het aannemelijk dat meer mensen hooikoorts ontwikkelen.
6. Bepaalde infectieziekten, zoals veroorzaakt door *Legionella*- en *Vibrio*-bacteriën, komen door klimaatverandering nu vaker voor dan in eerdere jaren. Doordat er bijvoorbeeld vaker perioden van droogte worden gevolgd door hevige regenval, zijn er meer longontstekingen. In extreem warme zomers zijn er door een hogere zeewatertemperatuur meer wondinfecties. Verder zijn teken een langere periode in het jaar actief, waardoor de kans om de ziekte van Lyme te krijgen groter is geworden.

Voor alle thema's treden er nu al negatieve gezondheidseffecten op. De omvang van deze gezondheidseffecten worden uitgedrukt in een eindimpact: weinig getroffen mensen/doden (eindimpact laag) tot veel getroffen mensen/doden (eindimpact hoog). Vaak is de grootte van het aandeel van klimaatverandering op de gezondheidseffecten nog niet nauwkeurig te berekenen. Met de kennis die er is, is een eindimpact geschat. Voor hitte, luchtkwaliteit, mentale gezondheid, UV-straling en hooikoorts wordt de eindimpact op de mens door klimaatverandering als hoog ingeschat. Per infectieziekte geanalyseerd voor dit rapport verschilt de eindimpact op de mens en wordt de impact van laag tot middel ingeschat of is het onbekend. Voor veel andere infectieziekten is vooralsnog in dit rapport geen inschatting gemaakt. Niet alle mensen worden even zwaar getroffen. Per thema zijn er verschillende groepen die extra kwetsbaar zijn voor de gezondheidseffecten door klimaatverandering.

Betrouwbare data over het risico op gezondheidseffecten door klimaatverandering verschilt per thema. Rondom de blootstellingroutes

en het gezondheidseffect is de betrouwbaarheid vaak groot. De consensus over het verband tussen klimaatverandering en het gezondheidseffect is er vaak ook. Rond het aandeel van klimaatverandering en de grootte van het aandeel verschilt per thema de zekerheid en betrouwbaarheid. Om de gezondheidseffecten te monitoren zijn relevante indicatoren genoemd die nu al worden gemeten.

Er bestaan nog veel kennislücken en meer kennisontwikkeling is nodig om de bijdrage van klimaatverandering op de gezondheid goed in kaart brengen. Om de daadwerkelijke impact van klimaatverandering op de gezondheid te gaan onderzoeken is het belangrijk om de genoemde indicatoren goed te monitoren en mogelijk nieuwe indicatoren te ontwikkelen. Extra aandacht dient te gaan naar meer kennis ontwikkelen over de cumulatieve effecten die kunnen optreden bij omstandigheden waar zowel hitte, luchtkwaliteit als pollen een rol spelen. En naar welk klimaatadaptatiebeleid kan worden toegepast om de negatieve gevolgen voor gezondheid te verminderen.

De verwachting voor de gezondheidseffecten door klimaatverandering in de toekomst is onderdeel van een vervolgtraject.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Het klimaat verandert en in Nederland worden de laatste jaren de gevolgen van klimaatverandering steeds meer gezien en gevoeld. Klimaatverandering brengt over alle sectoren risico's met zich mee en die risico's worden alleen maar groter als de doelen van Parijs niet worden gehaald. Om inzicht te krijgen in welke klimaatrisico's er spelen heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in 2015 de eerste Nederlandse klimaatrisicoanalyse uitgevoerd (PBL, 2015). In 2021 hebben departementen van ministeries onder de vlag van het Directeurenoverleg Nationale klimaatadaptatiestrategie (DO NAS) gezamenlijk besloten om opnieuw een klimaatrisicoanalyse te laten uitvoeren (Witmer et al., 2023). De resultaten leveren kennis voor een herziening van de Nationale Adaptatie Strategie (NAS). Sinds de vorige risicoanalyse heeft klimaatverandering namelijk doorgezet en is meer kennis ontwikkeld.

Op basis van de keuze van sectoren door diverse ministeries heeft het PBL diverse kennisinstellingen gevraagd om een nieuwe analyse van de belangrijkste klimaatrisico's te maken. Het PBL doet een actualisatie van de effecten van klimaatverandering op meerdere sectoren, zoals: water, natuur en landbouw. En heeft hiervoor diverse kennisinstellingen voor gevraagd om input te leveren. Het RIVM is gevraagd om in beeld te brengen wat de gezondheidseffecten van klimaatverandering in de afgelopen 30 jaar (1991-2020) zijn geweest. De verwachte gezondheidseffecten door klimaatverandering in de toekomst is onderdeel van een vervolgtraject en komt nu niet aan bod. In 2014 heeft het RIVM de vorige inventarisatie van de gezondheidseffecten van klimaatverandering gemaakt (Wuijts et al., 2014). Het RIVM heeft samen met VWS en PBL zes thema's vastgesteld waar de grootste gezondheidseffecten worden verwacht. Dit is gebleken uit eerder onderzoek (Huynen et al., 2019; Hall et al., 2021; Van der Ree et al., 2022). Dit onderzoek analyseert de gezondheidseffecten van zes klimaatgerelateerde thema's: hitte, luchtkwaliteit, mentale gezondheid, UV-straling, pollenallergieën en infectieziekten.

## 1.2 Methode

Voor de onderlinge vergelijkbaarheid van de deelonderzoeken van de diverse kennisinstututen en omdat de analyse herhaalbaar moet zijn in de toekomst, heeft PBL voor de uitwerking van de analyse een methodiek opgesteld (Witmer et al., 2023). De hierin uitgewerkte methodiek is gebaseerd op de recente ISO-richtlijn 14 091 voor de analyse van klimaatgerelateerde kwetsbaarheid, risico's en impacts. De ISO-richtlijn 14 091 beschrijft hoe hier vanuit een systematische benadering op een consistente en transparante manier mee om kan worden gegaan, door te werken van grof (conceptueel, narratief) naar fijn (kwantitatieve berekeningen indicatoren).

Vanuit de ISO 14 091 wordt als startpunt voor een risicoanalyse een sector, bedrijf of gebied gebruikt. 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: zoetwaterbeschikbaarheid, milieu(kwaliteit), gezondheid en welzijn (Witmer et al., 2023). Van daaruit wordt gekeken welke klimaatdreigingen er zijn voor dit systeem en tot welke risico's dit leidt. Voor de risico's worden drie impact categorieën gehanteerd: mens en cultuur, natuur en milieu en economie.

Per klimaatgerelateerd gezondheidsthema zijn de huidige gezondheidseffecten (1991-2020) uitgewerkt volgens een vast factsheet opgesteld door het PBL. Om de vergelijking met de andere sectoren te kunnen maken is de opbouw van het factsheet van PBL gebruikt. Per klimaatgerelateerd gezondheidsthema is een uitwerking gemaakt volgens lijst tekstbox 1. De definities zijn afkomstig van het PBL (Witmer et al., 2023).

*Tekstbox 1 Begrippen en definities in de PBL factsheets*

De volgende tekst beschrijft de korte definities van de begrippen die zijn gebruikt in de factsheets opgesteld door PBL. De volledige definities zijn te vinden in Witmer et al. (2013) of aangeleverd aan de kennisinstututen door PBL.

*Sector*

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: zoetwaterbeschikbaarheid, milieu(kwaliteit), gezondheid en welzijn.

*Thema (dit rapport specifiek)*

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

*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 CO<sub>2</sub>-gehalte in de lucht neemt toe.

*Secundaire effecten*

Bijvoorbeeld effecten op het bodem-, water- en luchtsysteem door de klimaatdreiging(en) of effecten die de impact van de klimaatdreiging significant vergroten.



*Blootstelling*

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

*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 gebeurtenissen of sluipende klimaatverandering.

*Cascade-effecten*

Impacts die direct of indirect doorwerken binnen een sector of in een andere sector en die de eindimpact vergroten of een nieuw risico vormen.

*Eindimpact: mens en cultuur*

## Opties:

- 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,

*Eindrisico: economie*

## Opties:

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

*Waarschijnlijkheid*

Waarschijnlijkheid is de statistische kans of de aannemelijkheid dat een klimaatdreiging en/of een gevolg daarvan optreedt. Of er een risico is en hoe groot die is, hangt af van de aard, omvang, intensiteit en het moment van de klimaatgebeurtenis, in combinatie met de blootstelling en kwetsbaarheid van het systeem.

## Frequentie:

- Minder vaak dan eens per 1000 jaar
- Eens per 1000 jaar tot eens per 100 jaar
- Eens per 100 jaar tot eens per 10 jaar
- Eens per 10 jaar tot eens per jaar
- Eens per jaar of vaker

### *Wildcards ('zwarte zwanen') & kantelpunten*

Wildcards of 'zwarte zwanen' worden gedefinieerd als een onvoorspelbare gebeurtenis die buiten de normale verwachting ligt met een extreme impact. Kantelpunten zijn risico's met onzekere en/of onomkeerbare potentiële impacts en risico's door sluipende ontwikkelingen, waarbij een kritieke drempel kan worden overschreden met onomkeerbare of zeer moeilijk omkeerbare impact, leidend tot ongewenste situaties.

### *Bestuurlijke situatie*

In elke (beleids)sector zijn overheids- en private partijen betrokken, sturende partijen, instituties, onderzoeksinstellingen, beleid, strategieën, regels, wetten, normen, standaarden en financiering.

### *Samenhang met andere transities en beleid*

Het is belangrijk om naast klimaatverandering ook maatschappelijke ontwikkelingen te evalueren die klimaatrisico's beïnvloeden. Het gaat hierbij om aspecten/ontwikkelingen die van invloed zijn op de klimaatdreiging, blootstelling, gevoeligheid, adaptatiecapaciteit, (on)mogelijkheden voor adaptatie en cascade-effecten.

### *Internationale aspecten*

Ook problemen die samenhangen met klimaatverandering op internationale schaal zijn van belang.

### *Maladaptatie/lock-ins*

Adaptatiemaatregel die onbedoeld het klimaatrisico vergroot in plaats van verkleint en 'lock-ins' door op stapel staande plannen en activiteiten met langdurige en moeilijk om te keren gevolgen, zoals het aanleggen van infrastructuur en bebouwing.

### *Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid*

Waar liggen mogelijkheden om adaptatiebeleid op te ontwikkelen/ meekoppelkansen/ belemmeringen.

### *Rechtvaardigheid*

Beschrijft (zeer) kwetsbare groepen, regio's en/of systemen met grote blootstelling, gevoeligheid en/of impact door klimaatrisico's en/of adaptatiemaatregelen, waardoor ongelijkheid ontstaat/wordt vergroot.

### *Transparantie, aggregatie en afbakening*

Hoe is de analyse uitgevoerd. Met welke kwantitatieve en/of kwalitatieve data/modellen is gewerkt, wat was de afbakening? Hiertoe heeft PBL een Handreiking PBL aggregeren (versie 29.8.2023) gemaakt.

### *Kennishiaten*

De gaten in kennis waardoor de uitwerking van het risico (klimaatdreiging, blootstelling, gevoeligheid, adaptatiecapaciteit, impact, eindimpacts en waarschijnlijkheid) uiteindelijk anders zou kunnen zijn dan nu is aangenomen.

### *Onzekerheid en betrouwbaarheid*

Betrouwbaarheid wordt gedefinieerd als: "de validiteit van een bevinding op basis van het type, de hoeveelheid, kwaliteit en consistentie van het wetenschappelijke bewijs (bijvoorbeeld het begrijpen van achterliggende mechanisme(n), theorie, data, modellen, expertbeoordeling et cetera) en de mate van consensus".

Als er voldoende bewijs is met een hoge mate van betrouwbaarheid, dan kan de zekerheid van een conclusie, bewering of bevinding gekwantificeerd worden. De classificatie staat nader gespecificeerd in Bijlage 1.

### *Expertbeoordeling*

Voor expertbeoordeling zullen met behulp van beschikbare kwantitatieve gegevens (over klimaatdreiging, blootstelling, gevoeligheid en/of adaptatiecapaciteit) en kwalitatieve beschrijvingen, klimaatgebeurtenissen en situaties worden geschetst waarvan de potentiële eindrisico's op mens en cultuur, natuur en milieu en economie worden geschat.

Hiertoe heeft PBL een Handreiking PBL expertbeoordeling (versie 14.6.2023) voor gemaakt.

Naast de begrippen uit tekstbox 1 zijn vervolgens per thema de beschikbare indicatoren op een rij gezet om het klimaatrisico te monitoren. Waar dat kan, is kwantitatieve informatie gegeven, anders is kwalitatieve informatie gegeven. Hierbij is er speciale aandacht voor de hoogrisicogroepen door blootstelling en gevoeligheid.

### *DPSEEA*

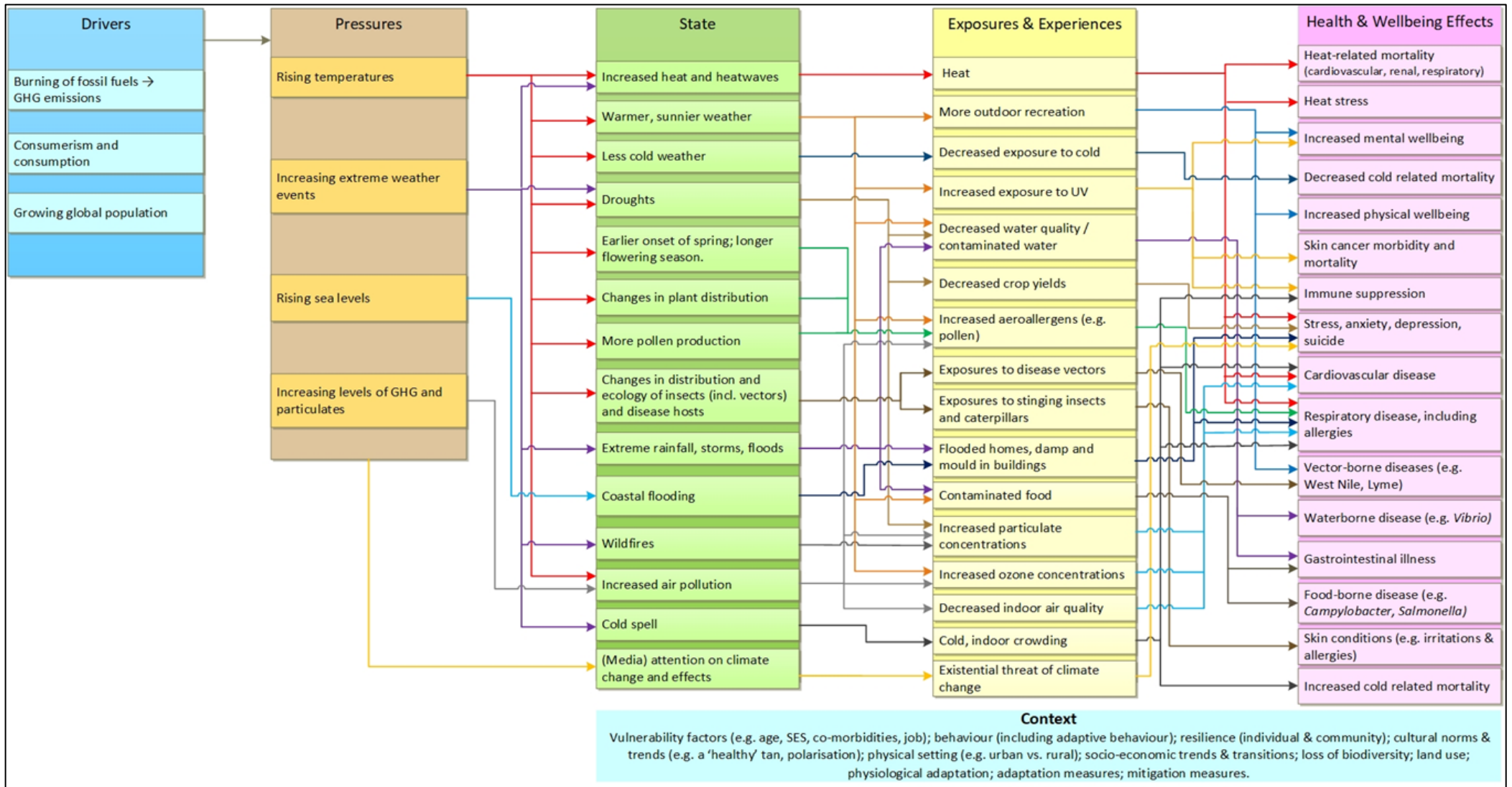
Gezondheid als sector gaat over zorginstellingen, terwijl de vraag aan het RIVM is om de gezondheidsrisico's van klimaatverandering voor de mens te analyseren. Het RIVM heeft daarom een iets afwijkende methode gebruikt dan de methodiek van PBL en beschrijft de gezondheidseffecten vanuit zes klimaatgerelateerde gezondheidsthema's. Hierbij wordt zo veel mogelijk vastgehouden aan het format van PBL in de factsheets. Als basis voor de invulling van de factsheets maakt het RIVM gebruik van een eerder ontwikkelde DPSEEA (Drivers, Pressures, State, Exposures/Experiences, Health & Wellbeing Effects (en Actions)) schema (tekstbox 2 en figuur 1.1) waarbij de dwarsverbanden rondom klimaatverandering en gezondheid visueel worden weergegeven. De DPSEEA geeft houvast om de risico's van klimaatverandering op gezondheid in beeld te brengen.

*Tekstbox 2 Het DPSEEA-model (RIVM expert: E.F. Hall)*

Het DPSEEA-model (Driving force-Pressure-State-Exposure-Effect-Action) is een conceptueel model, ontwikkeld door Corvalán et al. (1999) om de complexe relaties tussen het milieu en de humane gezondheid inzichtelijk te maken en mogelijke acties te identificeren ter bescherming en bevordering van de gezondheid. Acties kunnen gericht zijn op verschillende punten in de keten tussen Driving force-Pressure-State-Exposure-Effect, bijvoorbeeld maatregelen gericht op bronbestrijding, vermindering van de hoeveelheid agens in het milieu of vermindering van de blootstelling. Het DPSEEA-model wordt onder meer gebruikt om milieugezondheidsindicatoren te ontwikkelen (WHO, 2004) en werd door Hambling et al. (2011) geïdentificeerd als het meest geschikt model voor het ontwikkelen van milieugezondheidsindicatoren gerelateerd aan klimaatverandering.

Binnen het Strategisch Programma RIVM-project 'Gezonder Klimaat' hebben wij het model gebruikt om de gezondheidseffecten van klimaatverandering in kaart te brengen en om potentiële indicatoren van deze effecten te identificeren. De laatste jaren zijn er meerdere iteraties van het model ontstaan. Wij hebben gekozen om de mDPSEEA (modified DPSEEA) te gebruiken omdat deze ook de mogelijkheid biedt om contextuele factoren weer te geven die de relatie tussen blootstelling en effect mediëren (Morris et al., 2006). Dit zijn bijvoorbeeld factoren die bijdragen aan de kwetsbaarheid of verhoogde blootstelling van verschillende populaties, zoals sociaal-economische factoren, demografie of gedrag.

Een eerste versie van het model (zonder acties) werd uitgewerkt en voorgelegd aan een brede groep experts tijdens een expertsessie. Aan de hand van de opgehaalde input werd een volgende versie gemaakt. Na een tweede commentaarronde is het model hieronder ontstaan, zie figuur 1.



Figuur 1.1 Het DPSEEA-model (E.F. Hall)

*Eindimpact mens en getroffen*

Voor de klimaatrelevante gezondheidsthema's is een invulling gegeven voor de eindimpact mens.

De eindimpact voor de mens gaat uit van drie categorieën (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.

De definitie van getroffen mensen, ernstig gewonden en doden gaat uit van de impactcriterium volgens de Leidraad risicobeoordeling Rijksbrede Risicoanalyse Nationale Veiligheid (ANV, 2022a). Voor getroffen mensen is wat betreft gezondheidseffecten een brede interpretatie mogelijk. Is iemand pas getroffen als degene moet worden opgenomen in het ziekenhuis vanwege hitte-gerelateerde klachten? Of is iemand ook getroffen die slecht heeft geslapen door de hitte en de volgende dag zich niet kan concentreren op werk? Ook bij hooikoorts kan een getroffen persoon zo breed worden gedefinieerd als iemand die naar de spoedeisende hulp gaat vanwege luchtwegklachten of iemand die thuis op de bank zit met klachten die lijken op een verkoudheid. Voor een getroffen mens gaat PBL uit van het impactcriterium 2.3. Lichamelijk lijden door gebrek aan primaire levensbehoeften (ANV, 2022a). Het gaat dan om gebrek aan warmte, hygiëne, drinken, eten en acute gezondheidszorg. De ernst hangt daarbij ook af van de tijdsduur dat men getroffen is. Daarnaast hanteert PBL 'niet-ernstige fysieke en/of mentale gezondheidsklachten'. Niet-ernstig fysieke gezondheidsklachten is nog steeds breed. Per klimaatgerelateerd gezondheidsthema is gedefinieerd wat onder getroffen mens valt.

*Eindrisico economie*

Het eindrisico voor economie kan voor gezondheidseffecten heel breed worden ingevuld. In dit rapport is gefocust op de informatie die beschikbaar is over directe kosten, bijvoorbeeld zorg- en medicijnkosten, gemonetariseerd aantal verloren levensjaren en kosten van arbeidsverlies. Niet voor alle klimaatgerelateerde thema's is hier informatie over. Vaak is dit gebaseerd op kosten die eenmalig onderzocht zijn of zijn afgeleid van zorgkosten die nu al worden gemaakt onafhankelijk van de invloed van klimaatverandering. De invulling voor het eindrisico voor economie is dan ook niet volledig, maar geeft een schatting.

Dit rapport bouwt voort op eerdere rapportages waarbij de impact van klimaatverandering op de gezondheid is omschreven en welke kennishiaten er bestaan die nodig zijn om verantwoorde en duurzame beleidsbeslissingen op dit gebied te maken (o.a. Huynen et al., 2019; Hall et al., 2021; Van der Ree et al., 2022). Tijdens het ontwikkelen van de factsheets is regelmatig afstemming geweest met PBL en de andere kennisinstellingen die aangesloten zijn bij de risicoanalyse. Ook is er een expertsessie tussen PBL en de RIVM experts geweest om de

onzekerheden en betrouwbaarheid per klimaatgerelateerd gezondheidsthema te bepalen.

### 1.3 Buiten scope

Er zijn meer klimaatgerelateerde gezondheidsthema's dan de thema's die voor dit rapport zijn uitgewerkt. Zo zijn er ook risico's voor de gezondheid gerelateerd aan veiligheid, zoals overstromingsrisico's vanuit zee en de rivieren. Ook effecten op de natuur, zoals verlies van biodiversiteit hebben uitwerking op de gezondheid. En zo zijn er nog meer voorbeelden te noemen. Voor dit rapport ligt dit buiten scope. Deels komt de uitwerking van deze onderwerpen terug in de uitwerking van andere kennisinstellingen.

#### *Eindimpact cultuur en natuur en milieu*

Cultuurschade ligt buiten de scope van de RIVM analyse van gezondheidsimpacts van klimaatverandering. Er is door klimaatverandering geen directe impact op de gezondheid vanwege impact op cultuur. Daarnaast heeft klimaatverandering een duidelijke impact op en natuur en milieu. Deze impact op natuur en milieu heeft vervolgens ook een impact op de gezondheid van de mens. Klimaatverandering zorgt bijvoorbeeld voor natuurschade, met als gevolg verlies van biodiversiteit en aantasting van de veerkracht van ecosystemen. Dit alles heeft gevolgen voor de gezondheid van de mens. De methodiek van PBL redeneert echter langs een andere lijn. Bij die methodiek gaat het erom of de directe gezondheidseffecten van klimaatverandering invloed hebben op natuur en milieu. Voor alle thema's geldt dat een toename in zorg en gebruik van medicatie invloed heeft op de natuur en het milieu. Hierbij valt te denken aan het gebruik van grondstoffen wat een impact heeft op de natuur en milieu, maar ook aan medicijnresten die in het (drink)water terecht komen. Ook het gebruik van de natuur voor recreatie en fysieke activiteiten om de (mentale) gezondheid te verbeteren is een direct gevolg van gezondheidseffecten op natuur en milieu. Omdat dit indirecte effecten zijn en het aandeel van klimaatverandering heel moeilijk vast te stellen is, valt het beoordelen van een eindimpact van gezondheidseffecten op natuur en milieu buiten de scope van dit onderzoek.

Adaptatiemaatregelen hebben ook een uitwerking op de gezondheid. Waar logisch is dit benoemd, maar dit rapport geeft geen volledige uitwerking van de gezondheidsrisico's of gezondheidskansen van adaptatiemaatregelen. Ook voor mitigatiemaatregelen geldt dat er gezondheidsrisico's zijn (Van der Ree et al., 2019; Kelfkens et al., 2020). Ook dit valt buiten de scope van dit rapport.

Voor dit rapport is niet gekeken naar de volledige invloed van klimaatverandering op de zorgsector. Er is wel een korte uitwerking gemaakt voor de klimaatbestendigheid van de zorgsector bij extreem weer. Dit is te vinden in bijlage 2.

### 1.4 Leeswijzer

Dit rapport begint met een algemeen hoofdstuk over de gezondheidseffecten van klimaatverandering. Vervolgens worden er voor zes klimaatgerelateerde gezondheidsthema's factsheets gepresenteerd.

De factsheets starten met het onderwerp hitte, gevolgd door de factsheet luchtkwaliteit, factsheet mentale gezondheid en een factsheet UV-straling. Tenslotte volgt het factsheet pollenallergieën en het factsheet infectieziekten. Per factsheet zijn de bijbehorende referenties te vinden.

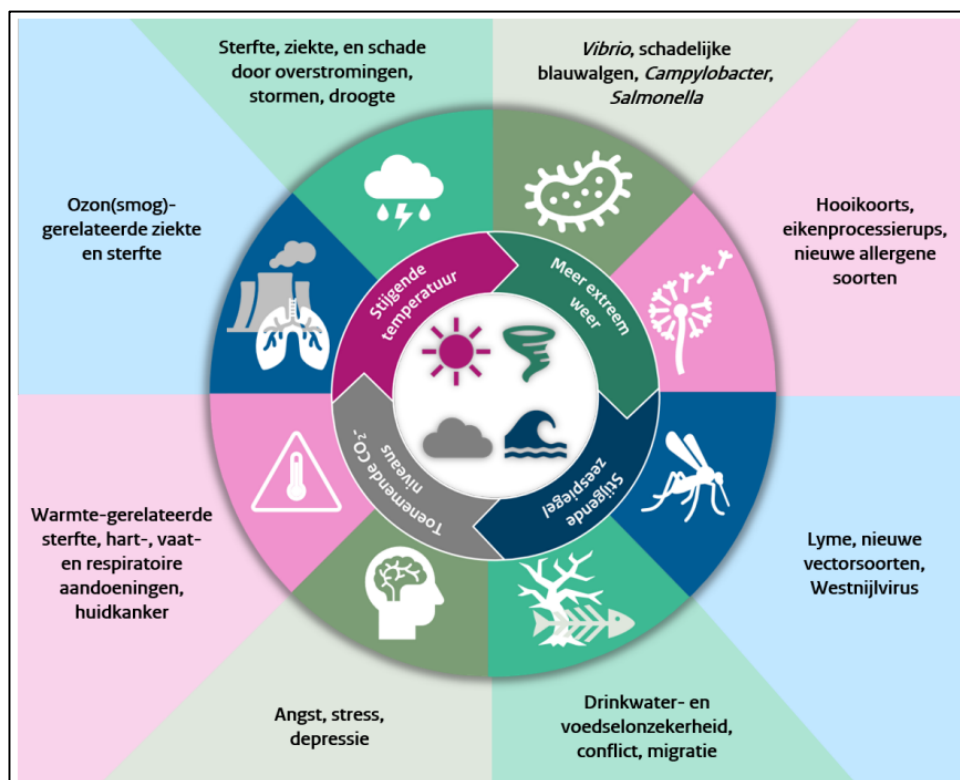
In het overzicht eindimpacts worden vervolgens de belangrijkste bevindingen uit de factsheets verzameld.



## 2 Gezondheidseffecten van klimaatverandering

### 2.1 Inleiding

De conclusies van diverse internationaal erkende instellingen zijn duidelijk. Het Intergovernmental panel on climate change (IPCC) concludeert<sup>1</sup> dat "*Climate Change is a threat to human well-being and planetary health*" en de World Health Organisation (WHO) concludeert<sup>2</sup> dat "*Climate change is the single biggest health threat facing humanity, and health professionals worldwide are already responding to the health harms caused by this unfolding crisis*". Klimaatverandering is de grootste bedreiging voor de gezondheid van de mens en heeft wereldwijd grote gevolgen. Figuur 2.1 laat zien welke gevolgen klimaatverandering heeft op gezondheid en veiligheid (Hall et al., 2021).



Figuur 2.1 Gevolgen van klimaatverandering voor de gezondheid en veiligheid (Hall et al., 2021 Figuur is aangepast naar G. Luber, Centers for Disease Control and Prevention)<sup>3</sup>.

Ook in Nederland zijn de negatieve gezondheidseffecten van klimaatverandering zichtbaar en hebben we steeds vaker te maken met extremer weer. Temperaturen die door meteorologen eerst niet voor mogelijk werden gehouden in Nederland worden inmiddels bereikt, met een piek van 40,7°C in Gilzen-Rijen in 2019. Tegelijk stijgt de vraag

<sup>1</sup> <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/resources/spm-headline-statements/>

<sup>2</sup> <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

<sup>3</sup> <https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/default.htm>

naar drinkwater in de zomer terwijl het aanbod door droogte afneemt (Leerdam et al., 2023).

Zoals in figuur 2.1 is te zien, kan klimaatverandering resulteren in meerdere negatieve gezondheidseffecten. Dit rapport beschrijft de huidige klimaatriscico's in zes factsheets: hitte, luchtkwaliteit, mentale gezondheid, UV-straling, pollenallergieën en infectieziekten. Hierna wordt kort toegelicht welke klimaatgerelateerde gezondheidseffecten kunnen optreden.

#### *Hitte*

Door klimaatverandering stijgt de gemiddelde temperatuur en krijgt Nederland vaker te maken met meer en intensere warmte (KNMI, 2021). Zowel hittegolven als stijging van de gemiddelde jaartemperatuur leiden tot ziektelast en sterfte. Er kunnen bij warme periodes stapelende effecten optreden, bijvoorbeeld de combinatie van hitte, droogte, slechte luchtkwaliteit en hoge pollenconcentraties wat leidt tot nog sterkere negatieve gezondheidseffecten.

#### *Luchtkwaliteit*

Door klimaatverandering komen weersomstandigheden die de luchtkwaliteit negatief kunnen beïnvloeden vaker voor, zoals hittegolven met weinig wind, droogte en een hoge zonkracht. De vorming van ozon is dan hoog (zomersmog) en fijnstof blijft in de lucht hangen. Met als gevolg dat mensen (extra) last krijgen van gezondheidsklachten.

#### *Mentale gezondheid*

Het meemaken van acute (extreme weersomstandigheden), subacute (geconfronteerd worden met lange perioden van droogte) of de algehele dreiging van klimaatverandering kan leiden tot mentale gezondheidsproblemen. Dit uit zich onder andere in angst, stress en depressie.

#### *UV-straling*

Door klimaatverandering heeft Nederland te maken met hogere temperaturen en meer zomerse dagen met minder bewolking. Dit, samen met een dunnere ozonlaag en een verbetering in de algehele luchtkwaliteit, zorgt voor een toename van UV-straling die het aardoppervlak bereikt. Door toenemende warme dagen is de verwachting dat er meer buiten wordt gerecreëerd waardoor de blootstelling aan UV-straling toeneemt. UV-straling wordt beschouwd als de belangrijkste risicofactor voor het ontwikkelen van huidkanker.

#### *Pollenallergieën*

Door klimaatverandering begint het pollenseizoen vroeger en duurt het langer, pollenconcentraties nemen toe en pollen worden mogelijk allergener. Het Nederlandse klimaat wordt geschikter voor de vestiging van niet-inheemse plantsoorten die allergene pollen produceren. Daardoor zullen hooikoortsklachten bij bestaande patiënten langer duren en/of verergeren en is het aannemelijk dat meer mensen hooikoorts ontwikkelen.

### *Infectieziekten*

Veel ziekteverwekkers (bacteriën, virussen, parasieten) zijn klimaatgevoelig. Overdracht van ziekteverwekkers kan plaatsvinden via het milieu (water, lucht, bodem) en via voedsel, zoals bij *Campylobacter* en *Vibrio*. Overdracht kan ook plaatsvinden via vectoren (muggen en teken). Ook overdracht en blootstelling worden beïnvloed door klimaatfactoren zoals temperatuur en luchtvochtigheid.

## 2.2 Hoogrisicogroepen

Wereldwijd zijn er verschillen in hoe klimaatverandering de gezondheid van mensen raakt. Maar ook binnen Nederland zijn er gezondheidsverschillen en wordt de ene groep harder geraakt door klimaatverandering dan de andere groep. Enerzijds is de blootstelling aan klimaatgerelateerde gezondheidsbedreigingen die gezondheidsschade kan veroorzaken ongelijk verdeeld en lopen groepen mensen daardoor een hoger gezondheidsrisico. Dit kan komen door de plek waar mensen wonen en werken, maar ook door de omstandigheden waarin ze wonen en werken. Dit kan bijvoorbeeld gelden voor mensen in een slechtere sociaaleconomische positie of met fysieke beroepen (Hall et al., 2021). Daarnaast zijn sommige groepen mensen gevoeliger voor een ziekte dan de rest van de populatie, zoals ouderen, baby's en kinderen, chronisch zieken en gebruikers van medicijnen, alcohol en drugs (Hall et al., 2021).

Tabel 2.1 geeft een overzicht van potentiële hoogrisicogroepen en het klimaatgerelateerd thema dat voornamelijk voor de hoogrisicogroep een gezondheidsrisico vormt. Wat direct opvalt is dat temperatuur voor alle hoogrisicogroepen voor zowel gevoeligheid als blootstelling een belangrijk thema is.

*Tabel 2.1 Overzicht potentiële hoogrisicogroepen voor blootstelling en voor gevoeligheid, met daarbij de klimaatgerelateerde thema's die voornamelijk voor de hoogrisicogroep een gezondheidsrisico vormen (Van der Ree et al., 2022, deels aangepast).*

### **Gevoeligheid**

<b>Hoogrisicogroep</b>	<b>Klimaatgerelateerd thema</b>
Ouderen (75-plussers)	Temperatuur, infectieziekten, luchtkwaliteit, mentale gezondheid
Baby's/kinderen	Temperatuur, UV-straling, infectieziekten
Jongeren	Mentale gezondheid
Geslacht	Temperatuur, infectieziekten, mentale gezondheid
Zwangere/postnataal	Temperatuur, infectieziekten, mentale gezondheid
Chronisch zieken (fysiek/mentaal)	Temperatuur, infectieziekten, pollenallergieën, mentale gezondheid
Mensen met overgewicht	Temperatuur, luchtkwaliteit, infectieziekten
Gebruikers van medicijnen, alcohol en drugs	Temperatuur, UV-straling, mentale gezondheid

**Blootstelling**

<b><i>Hoogrisicogroep</i></b>	<b><i>Klimaatgerelateerd thema</i></b>
Bewoners stedelijk gebied	Temperatuur, luchtkwaliteit
Bewoners landelijk gebied	Temperatuur, luchtkwaliteit
Beroepsbevolking	Temperatuur, UV-straling, pollenallergieën
Armoede (lage sociaal-economische positie)	Temperatuur, UV-straling, infectieziekten, pollenallergieën, luchtkwaliteit, mentale gezondheid
Bewoners van ongezonde woningen (vocht, slecht geïsoleerd)	Temperatuur, infectieziekten, pollenallergieën, mentale gezondheid
Eenzame mensen/sociaal isolement	Temperatuur, mentale gezondheid
Buitensporters, recreanten	Temperatuur, UV-straling, pollenallergieën, luchtkwaliteit

In de factsheets wordt per klimaatgerelateerd gezondheidsthema een uitwerking gegeven voor hoogrisicogroepen. Vaak vallen de hoogrisicogroepen in meerdere categorieën waardoor zowel voor blootstelling als gevoeligheid een opstapeling van effecten optreedt en mensen extra kwetsbaar zijn. Denk hierbij aan een 75-plusser die in stedelijk gebied woont, in een ongezonde woning en ook nog weinig contacten met anderen heeft (eenzaam/sociaal isolement).

### 3 Factsheet Hitte

RIVM experts: W. Hagens, A. Versteeg – de Jong, redactie: C.D. Betgen

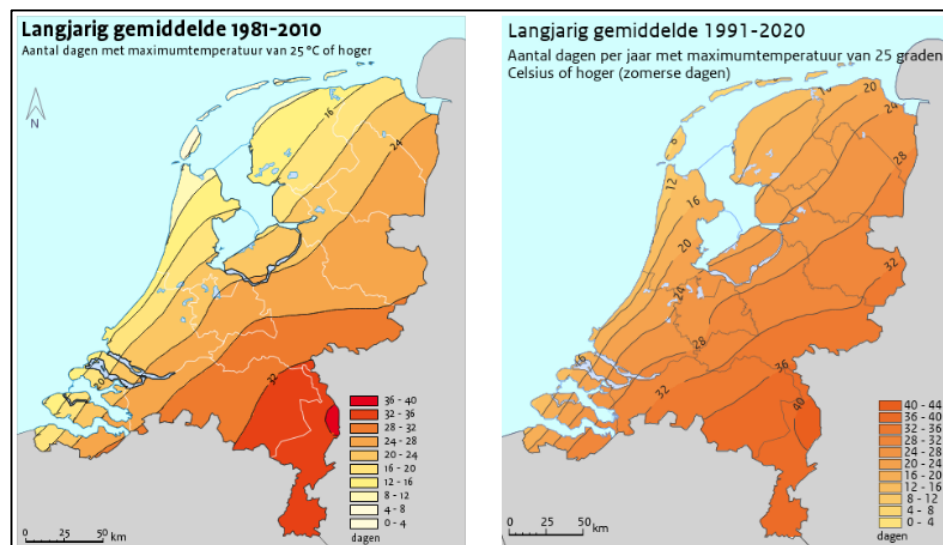
*Het gezondheidsrisico voor hitte bestaat uit de toename van hittegolven in aantal, duur en intensiteit en de stijging van de gemiddelde jaartemperatuur.*

#### Inleiding

De gevolgen van klimaatverandering zijn het sterkt merkbaar en voelbaar in de stijging van de temperatuur. In Nederland is de gemiddelde jaartemperatuur sinds 1901 met ruim 2°C toegenomen. In de afgelopen 30 jaar is de temperatuur in Nederland met gemiddeld 1,1°C gestegen. Nederland is daarmee ruim twee keer zo snel opgewarmd als gemiddeld wereldwijd<sup>4</sup>. En deze stijging is te merken in ons weer. Het aantal vorstdagen in de winter daalt. Zomers tellen meer zomerse dagen (temperatuur > 25°C) en extreme temperaturen worden inmiddels bereikt, met een piek van 40,7°C in Gilzen-Rijen in 2019. Door veranderingen in de straalstroom is de kans ook groot dat de periodes dat het warm is langer gaan duren (KNMI, 2021). Hittegolven nemen in aantal, duur en intensiteit toe en gaan vaak samen met periodes van droogte.

#### Klimaatdreiging

De belangrijkste klimaatdreiging voor temperatuurgerelateerde gezondheidseffecten is: het wordt warmer. Zowel in de vorm van hittegolven als de gemiddelde jaartemperatuur.

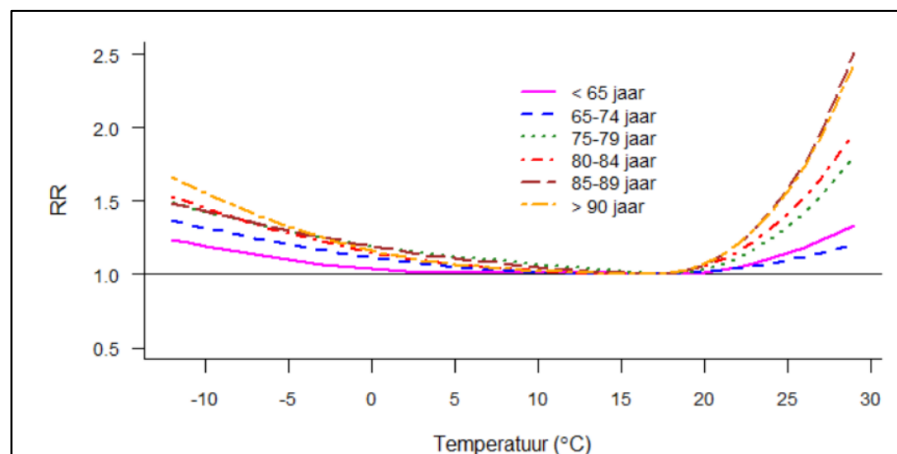


Figuur 3.1 Aantal zomerse dagen in 1981-2010 (links) vergeleken met 1991-2020 (rechts), let op de kleur van de legenda wijkt af tussen de twee referentie jaren (bron: KNMI).

<sup>4</sup> <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/nederland-warmt-ruim-2-keer-zo-snel-op-als-de-rest-van-de-wereld>

Hittegolven en hogere gemiddelde temperaturen zorgen voor meer sterfte en ziektelast, met name bij 75-plussers, maar er is vanaf 65 jaar al hogere kans op hitte-gerelateerde aandoeningen. Het aantal zomerse dagen is in de afgelopen 30 jaar toegenomen ten opzichte van de 30 jaar ervoor (figuur 1).

Naast een verhoogd risico op sterfte en ziektelast tijdens periodes van extreme hitte, bestaat er ook een temperatuur-gerelateerd ziektelastrisico en sterfterisico (warmtesterfte) voor de temperatuur over het hele jaar. Dit hangt samen met afwijkingen van de 'optimale' dagtemperatuur. In Nederland trad over de afgelopen 30 jaar de minste sterfte op bij een dagelijks gemiddelde temperatuur van 17 graden. Is het kouder of warmer dan de optimale temperatuur dan loopt het sterfterisico op, afhankelijk van de leeftijd (figuur 2). We noemen dat koudensterfte en warmtesterfte. Over de periode 1991-2020 kon al 31% van de warmtesterfte (ongeveer 250 sterfgevallen per jaar) worden toegeschreven aan klimaatverandering vanwege de stijging van de gemiddelde jaartemperatuur (Vicedo-Cabrera et al., 2021).



Figuur 3.2 Relatieve overlijdensrisico's (RR) bij verschillende temperaturen en leeftijdsklassen in Nederland (bron: Hall et al., 2021).

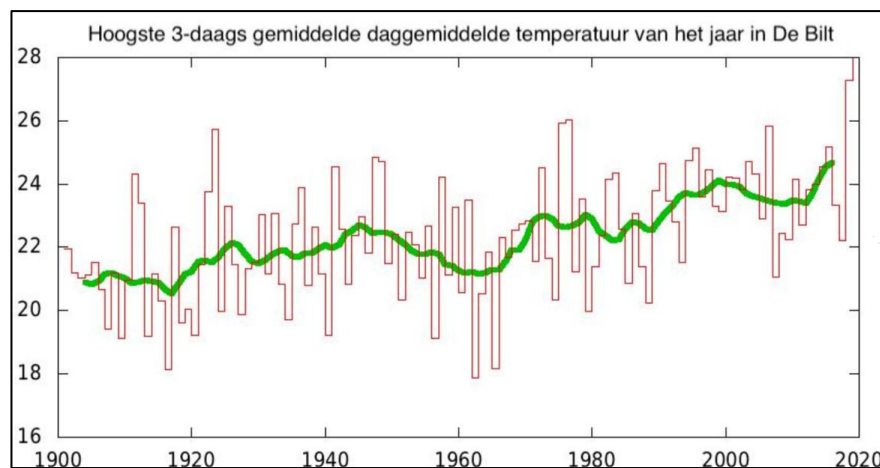
Klimaatverandering heeft door opwarming invloed op de temperatuur-gerelateerde sterfte. Volgens de huidige inzichten zal de warmtesterfte in de toekomst toenemen en de koudensterfte afnemen, vergeleken met de referentieperiode (1991-2020). Bij een hoge uitstoot van broeikasgassen is de toename in warmtesterfte het grootste (Hall et al., 2021).

Voor het bepalen van de impact van de stijgende temperatuur op de gezondheid is de luchttemperatuur niet de beste indicator. De gevoelstemperatuur op warme dagen is bepalender over de mogelijke gezondheidseffecten. De gevoelstemperatuur houdt ook rekening met de windsnelheid, luchtvochtigheid en zonnestraling. Bij een hoge luchtvochtigheid kan het lichaam minder koelen door verdamping (zweeten) omdat er al veel vocht in de lucht zit.

#### Frequentie

Vooral in de lente wordt in de afgelopen 30 jaar de grootste toename van de temperatuur gezien ten opzichte van de 30 jaar daarvoor (1961-

1990). De opwarming in de lente en ook in de zomer is mede vanwege een toename in zonnestraling als gevolg van een afname in bewolking. De zonnestraling neemt sinds de jaren 90 toe met 3% per decennium waarbij de toename het grootst is in de lente, met ruim 4% per (KNMI, 2021). Hittegolven vinden in de periode 1991-2020 plaats in de zomer en vrijwel niet in de lente (juni). De frequentie, duur en intensiteit van hittegolven nemen toe door klimaatverandering (KNMI, 2021). Ook neemt de kans op hittegolven in juni toe. Figuur 3 laat zien dat de gemiddelde drie-daagse temperatuur toeneemt.



Figuur 3.3 Historisch verloop van de warmste drie-daagse gemiddelde daggemiddelde temperatuur in de Bilt. De groene lijn geeft het 10-jaar lopende gemiddelde aan (bron: KNMI).

Relevante indicatoren (bron):

- Gemeten buitentemperatuur (KNMI) o.a. af te leiden;
  - Aantal warme dagen en opvolgende warme dagen
  - Aantal zomerse dagen
  - Aantal tropische nachten
  - Hittegolf getal (geeft nuances aan hoe extreem een hittegolfperiode is)
  - Aantal koude dagen
  - Aantal dagen afwijkend van de 'optimale' dagtemperatuur
- Gevoelstemperatuur (KNMI).

### Secundaire effecten

Extreme weersomstandigheden gaan vaak gepaard met een combinatie van factoren. Een hittegolf kan bijvoorbeeld gepaard gaan met weinig neerslag en wind waardoor de luchtkwaliteit slecht is, met hoge concentraties van ozon en fijnstof in de lucht. Door de warmte kunnen op dat moment ook de grassen flink gaan bloeien met een piek in graspollenconcentraties als gevolg, zoals in juni 2023. Er zijn aanwijzingen dat deze combinatie van factoren bijdraagt aan ziekte en oversterfte tijdens een hittegolf. Fischer et al. (2004) verwachten dat een aanzienlijk deel van de sterfgevallen die nu wordt toegeschreven aan hitte in Nederland, veroorzaakt wordt door ozon en in mindere mate door fijnstof. Bovendien vonden Brunekreef et al. (2000) een sterke associatie tussen dagelijkse pollenconcentraties en cardiovasculaire en respiratoire mortaliteit in Nederland, een associatie die onlangs ook in

Finland is gevonden (Jaakkola et al., 2022). Door klimaatverandering zullen de gecombineerde blootstellingen aan hitte, luchtverontreiniging en pollen toenemen. Meer onderzoek is nodig naar de aard en omvang van de sterfte en ziektelast door de gecombineerde blootstellingen in warme perioden.

Het voordeel van een stijgende gemiddelde temperatuur is dat wordt verwacht dat de koudesterfte in de winter afneemt. Er is nader onderzoek nodig naar wat koudesterfte precies veroorzaakt (Van der Ree et al., 2022). In Nederland heeft koudesterfte onder de algemene bevolking niet als oorzaak een directe blootstelling aan lage temperatuur (voor dak – en thuislozen is dit wel een risico). Veel waarschijnlijker gaat het om meer binnen zitten en blootstelling aan virussen. Door klimaatverandering is de verwachting dat koudesterfte onder het meest extreme klimaatscenario afneemt (Botzen et al., 2020). Ook in Hall et al. (2021) is de verwachting dat warmtesterfte in het meest extreme klimaatscenario uiteindelijk koudesterfte gaat overtreffen. De huidige verwachtingen van het IPCC zijn dat we een minder extreem scenario zullen volgen.

Het is bekend hoeveel mensen komen te overlijden in de winter en hoeveel hiervan aan luchtweginfecties overlijden. Er is alleen niet altijd een duidelijk onderscheid te maken in de oorzaak van de luchtweginfecties (bijvoorbeeld griep of slecht binnenmilieu). Hier is, ook buiten het kader van klimaatverandering, meer onderzoek voor nodig.

### **Blootstelling**

Over het algemeen wordt zowel binnen als buiten iedereen blootgesteld aan hitte en aan gemiddelde temperatuurstijging. Wel zijn er hoogrisicogroepen die veel worden blootgesteld aan hitte of gevoeliger zijn voor hitte. Bewoners in stedelijk gebied worden extra blootgesteld aan hitte vanwege het hitte-eiland effect. Bepaalde beroepsgroepen worden meer blootgesteld aan hitte, zoals buitenwerkers (bouwvakkers, groenwerkers) en buitensporters en hun publiek. Maar ook binnen worden mensen blootgesteld aan hitte, zoals in gebouwen en woningen. Mensen in een financieel kwetsbare positie hebben vaak niet de middelen om verkoelende maatregelen te nemen. Bewoners van oude, slecht geïsoleerde woningen worden meer blootgesteld aan hitte. Ook mensen die eenzaam zijn (met name ouderen) worden meer blootgesteld aan hitte omdat zij vaak niet de maatregelen (kunnen) nemen om af te koelen (zoals extra drinken en verkoeling zoeken in een park).

#### *Binnenshuis versus Buitenshuis*

Mensen brengen ongeveer 80-90% van hun tijd binnenshuis door. De binnentemperatuur is daarom ook belangrijk om mee te nemen wanneer de buitentemperatuur hoog is. Hoogrisicogroepen zoals ouderen in verzorgingstehuizen zitten, zeker gedurende warme dagen, bijna 100% van de tijd binnen en moeten goed in de gaten worden gehouden. Als deze binnenruimte wordt gekoeld is er minder sprake van een gezondheidsrisico dan op hete dagen. Slecht-geïsoleerde woningen kunnen flink opwarmen gedurende warme perioden. Ook juist goed-geïsoleerde woningen kunnen sterk opwarmen en de warmte niet snel



kwijt. Dat is vooral het geval bij het ontbreken of een onjuist gebruik van zonwering en bij slechte of ontbrekende ventilatie. Hierdoor blijft het 's nachts en na een lange periode van hitte nog steeds warm in huis. Bij een langdurige hittegolf warmen ook goed geïsoleerde woningen uiteindelijk op. Bij het ontbreken van passieve of actieve koeling in de woning, kunnen ook goed geïsoleerde woningen hun warmte in zulke situaties niet goed kwijt. Niet alleen woningen worden geraakt door hitte. Ook kantoren, scholen en kinderopvang hebben te maken met hoge binnentemperaturen.

### *Geografie*

In Nederland hebben we geografisch gezien met kleine gemiddelde temperatuurverschillen te maken<sup>5</sup>. Jaargemiddelden temperaturen (1991-2020) liggen iets hoger in het zuidwesten van Nederland (11,1-11,4°C) en nemen af naar het noordoosten (9,6-9,9°C). In de zomer is het in het noorden van het land gemiddeld koeler (16,2-16,5°C) en in het zuidoosten gemiddeld het warmst (18,0-18,3°C). Ook voor het aantal zomerse dagen is er een geografisch verschil. Aan de kust ligt het aantal zomerse dagen tussen de 12 en 16 en in Limburg en zuidoost Brabant kan dat oplopen tot meer dan 40 dagen (zie ook figuur 1). Het KNMI geeft aan dat in warme zomers het aantal zomerse dagen langs de kust nu al kan oplopen tot 20 tot 30 dagen. In het zuiden, alleen al in de zomermaanden, kan dat oplopen tot meer dan 45 zomerse dagen<sup>6</sup>.

### *Stad versus Buiten de stad*

In vergelijking met gebieden en dorpen buiten de stad is een stad compact en bestaat uit relatief veel verhard oppervlak. Steden warmen daardoor meer op dan gebieden buiten de stad en houden lang de warmte vast (hitte-eiland effect). Groen (en in zekere mate water) werkt verkoelend en zorgt voor een daling van de temperatuur. Daarom is het buiten de stad en in kleine dorpskernen koeler. Ook per wijk van een stad kan de temperatuur verschillen. Het temperatuurverschil in de stad versus buiten de stad kan wel oplopen tot 8°C (in de nacht).

### *Dag versus Nacht*

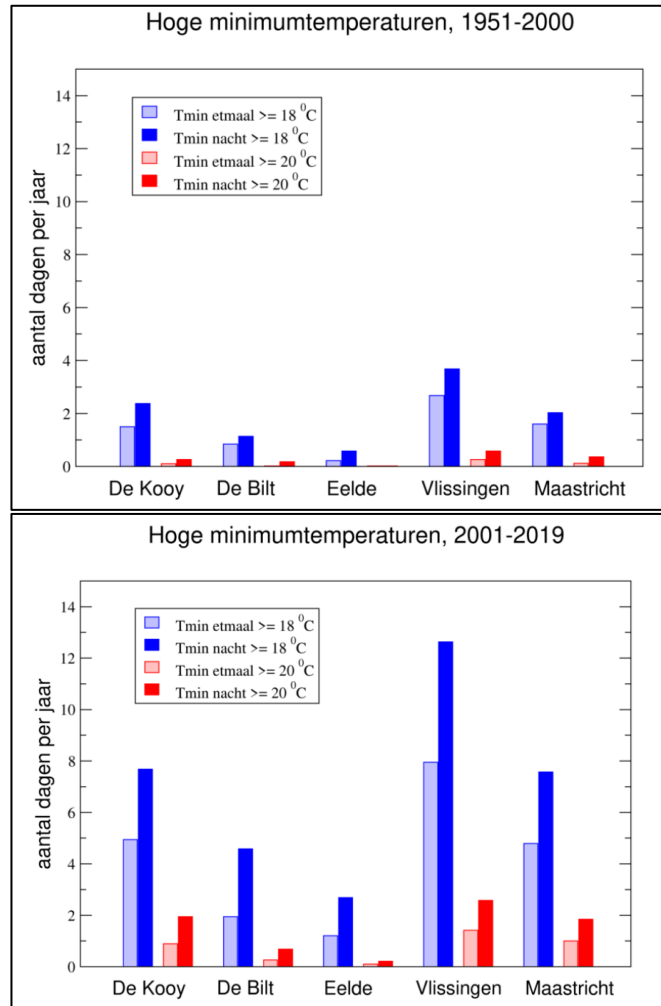
De verschillen tussen stad en buiten de stad zijn voornamelijk te merken in de nachten. Omdat de versteende stad warmte langer vasthoudt koelt het tijdens hete perioden in de nacht niet af en warmt het de volgende dag weer extra op. Buiten de stad zorgt het groen en de compactheid van gebouwen voor een afname in temperatuur gedurende de nacht. Over het algemeen zullen mensen die in de stad wonen eerder de gezondheidseffecten van hitte ervaren dan mensen buiten de stad. In de hoeveelheid tropische nachten (temperatuur boven de 20°C) is ook nog een klein verschil te zien in geografie. Langs de kust is de temperatuurafname in de nacht gemiddeld gezien het kleinst en zijn het aantal tropische nachten het hoogst. Met name steden die dus ook nog aan de kust liggen (zoals Den Haag) zullen nog een extra effect hiervan ervaren. Warme nachten nemen toe. Minimumtemperaturen van 18 graden of meer komen deze eeuw ongeveer drie keer zo vaak voor (zie figuur 4) als in de tweede helft van de vorige eeuw<sup>7</sup>. Tropische nachten

<sup>5</sup> Data op basis van selectie in de kaartviewer van het KNMI.

<sup>6</sup> <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/zomerse-dagen>

<sup>7</sup> <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/warme-nachten>

zorgen voor slechtere slaapcondities, wat gepaard gaat met vermoeidheid overdag.



Figuur 3.4 Het aantal dagen met hoge nachttemperaturen voor vijf meetstations voor het tijdvak 1951-2000 (boven) en het tijdvak 2001-2019 (onder) (bron: KNMI).

## Gevoeligheid

Ouderen (75-plussers) en baby's/kinderen zijn extra gevoelig voor hitte. Beide groepen kunnen minder goed de lichaamstemperatuur controleren. Ouderen hebben een gereduceerd vermogen tot zweten en baby's/kinderen zijn niet zelf in staat hun gedrag aan te passen op hitte<sup>8</sup> (Van der Ree et al., 2022). De prikkel om extra veel te drinken is bovendien bij ouderen/baby's/kinderen verminderd. Zij moeten actief worden aangespoord meer te drinken dan normaal tijdens hitteperiodes. Vrouwen zijn iets gevoeliger voor hitte dan mannen omdat vrouwen iets minder zweten en doorgaans meer vet hebben wat extra isoleert. Daarnaast zijn chronisch zieken, mensen met overgewicht en gebruikers van medicijnen, alcohol en drugs gevoeliger voor hitte. Medicijnen kunnen bijvoorbeeld de kans op uitdroging vergroten of de capaciteit om te zweten belemmeren.

<sup>8</sup> <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-mmk-hitte-gezondheid>

De hoogrisicogroepen die niet in staat zijn om zichzelf of hun omgeving aan te passen aan hogere temperaturen zijn het meest kwetsbaar voor hittestress. Dit zijn bijvoorbeeld ouderen die in de stad wonen in een niet goed geïsoleerd verzorgingstehuis of woning.

## **Adaptatiecapaciteit**

### *Gedrag*

Om hittestress te voorkomen is het belangrijk om goed gehydrateerd te blijven, rustig aan te doen en te zorgen dat het lichaam niet teveel opwarmt. Dit aanpassen van ons gedrag kan helpen in de omgang met hogere temperaturen. In warme (Zuid-Europese) landen zijn deze gedragingen onderdeel van de cultuur en handelen ze ernaar (denk aan een siësta, zwemmen, de schaduw opzoeken en andere bouwstijl zoals witte muren en geen ramen op het zuiden). In het Nationaal Hitteplan worden gedragsadviezen gegeven (zie paragraaf bestuurlijke situatie).

Gewenning is een belangrijke factor om mensen om te laten gaan met hogere temperaturen. Er zijn wereldwijd regionale verschillen<sup>9</sup> in de gezondheidseffecten van klimaatverandering (Zhao et al, 2021). Een recente analyse wees uit dat populaties zich aanpassen aan de gevolgen van klimaatverandering zoals een hogere temperatuur. Zo beweegt de temperatuur waarbij het sterfterisico het laagste is in zekere mate mee met de ontwikkeling van de gemiddelde temperatuur maar is er daarnaast ook verdere adaptatie nodig (Tobias et al., 2021). Het is zodoende relevant om te kijken welke factoren (zoals duur van de hitteperiode, nachttemperatuur, demografie, enzovoort) een rol spelen in de relatie tussen temperatuur en het risico op gezondheidseffecten, en welke bijdrage zij aan adaptatie kunnen leveren.

### *Gebied en gebouw*

In de openbare ruimte en rondom het huis kunnen vele soorten adaptatiemaatregelen worden toegepast om de temperatuur naar beneden te krijgen. Veel gemeenten houden er in hun plannen al rekening mee, maar dan nog vooral met de focus op waterberging. Parken in steden met veel bomen en ook veel openbaar groen tussen en rondom gebouwen zorgt voor lagere temperaturen en een plek waar mensen heen kunnen om de koelte op te zoeken. Bomen en pergola's met groen zorgen voor schaduwplekken. In de bouwnorm wordt sinds 2021 een norm gegeven voor de binnentemperatuur. Ook de maatlat klimaatadaptief bouwen<sup>10</sup> geeft suggesties om rekening mee te houden met de temperatuur. Al bij het bouwen van gebouwen, zoals winkels, kan rekening worden gehouden met schaduwwerking waardoor minder zonlicht direct naar binnen schijnt. Ook in woningen kunnen overhellende daken, groene gevels en zonwering aan de buitenzijde de temperatuur binnen aanzienlijk verlagen. Zo wordt de noodzaak om de binnenruimte te koelen met passieve of actieve koeltechniek veel minder waardoor er minder warmte naar buiten wordt uitgestoten (overdag en 's nachts) en minder energie wordt verbruikt. In uiterste gevallen, zoals in een verzorgingstehuis met ouderen, kan een airco (op een aantal graden koeler dan de buitenlucht) de enige manier zijn om negatieve

<sup>9</sup> Regio's zijn in dit geval de door de VN gedefinieerde acht wereldwijde regio's:  
<https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/regional-groups/>

<sup>10</sup> <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-6fc860b398612d91d66d38bbb47ed0de9bfb9071/pdf>

gezondheidseffecten van hitte te beperken. Bij ouderen is het effect van acclimatiseren aan de buitentemperatuur minder sterk dan bij jongeren.

Er is geen partij die verantwoordelijk is voor de gezondheid van de algemene bevolking als het neerkomt op aanpassen aan hitte. Voor specifieke groepen kan de verantwoordelijkheid wel (gedeeltelijk) anders liggen. Bijvoorbeeld als organisatie van een evenement in het geval er deelnemers zijn (denk aan sportevenementen). Maar ook een zorgaanbieder in een verzorgingstehuis heeft een verantwoordelijkheid naar cliënten en als werknemer kunnen er afspraken vastgelegd zijn in de arbo over hitte die werkgevers moeten hanteren.

Relevante indicatoren (bron):

- Aantal dagen dat het Nationaal Hitteplan actief is (RIVM);
- Percentage groen (10x10 meter) (Atlas Leefomgeving).

## Impact

### *Hittesterfte en ziektelast*

Een direct gevolg van hoge temperaturen is dat het lichaam niet meer kan koelen. Als de omgevingstemperatuur dichtbij de lichaams- of huidtemperatuur (rond de 35°C-37°C) ligt, kan het lichaam niet afkoelen waardoor oververhitting optreedt. Als de hoeveelheid vocht in de lucht hoog is, is het verdampingseffect van zweten minder waardoor er minder verkoeling door zweten optreedt. Directe gevolgen hiervan zijn hoofdpijn, uitdroging en flauwvallen. Deze gevolgen treden vooral op plekken waar mensen inspanning leveren bij hitte, zoals tijdens sporten of een festival bezoeken.

Hittegolven leiden tot extra sterfgevallen. Tijdens de hittegolven in 2003 (14 dagen, max. temperatuur 35°C) en 2006 (7 en 16 dagen, max. temperatuur 32°C en 35,7°C) overleden er in Nederland meer dan 1000 mensen extra aan de gevolgen van warmte (CBS, 2003) (CBS, 2006). Ook na introductie van het Nationaal Hitteplan is er nog steeds sprake van extra sterftegevallen tijdens hittegolven. Zo lag in de zomer van 2020 (13 dagen, max. temperatuur 34,6°C) de sterfte tijdens de hittegolf 9% hoger (bijna 100 sterfgevallen meer) dan gemiddeld.

Hittegolven leiden niet alleen tot vroegtijdige sterfte, maar ook het optreden van ziekte en verlies van welbevinden, het is alleen nog niet goed onderzocht hoe hoog deze ziektelast is. Vooral ouderen, mensen met chronische ziekten of kleine kinderen zijn hiervoor gevoelig. Daarnaast is de kans op zulke gezondheidsklachten groter in stedelijke gebieden.

Naast directe fysieke effecten op de gezondheid heeft hitte ook een impact op de geestelijke gezondheid (Hall et al., 2021). Vooral personen met een psychische aandoening zijn kwetsbaar voor extreme hitte of hittegolven. Mullins & White (2019) vonden voor de Verenigde Staten een verband tussen een toename in temperatuur en een toename in zelfmoord en bezoeken aan de spoedeisende hulp voor psychische problemen. Slaapverstoring wordt als belangrijk mechanisme hiervoor gezien. Gao et al. (2019) vonden in hun analyse dat 1°C toename in temperatuur werd geassocieerd met 1% toename in zelfmoordgevallen.

Ook verbanden tussen hitte en zelf-gerapporteerde mentale gezondheidsproblemen en mogelijke verbanden tussen hittestress en agressie worden gevonden (Hall et al., 2021).

In Nederland zijn tijdens de hittegolven in 2003 (begin juni tot eind augustus) en 2006 (juli) meer dan 1000 mensen extra aan de gevolgen van hitte overleden (CBS, 2003; CBS, 2006). Oversterfte tijdens een hittegolf is afhankelijk van de kwetsbaarheid van de bevolking. In de zomer van 2018 (twee hittegolven) was er bijvoorbeeld nauwelijks oversterfte wat kan komen doordat deze kwetsbare groep in de winterperiode al getroffen was door de griep epidemie. Er was al een periode met oversterfte geweest in de voorafgaande winter. Eind juli 2019 stierven daarentegen in een week 400 extra mensen aan de hittegolf waarbij de recordtemperatuur van boven de 40°C gemeten werd<sup>11</sup>.

#### *Warmteterfte en ziektelast*

Naast een verhoogd risico op sterfte tijdens periodes van extreme hitte, bestaat er ook een temperatuur-gerelateerd sterfterisico. Dit hangt samen met afwijkingen van de 'optimale' dagtemperatuur.

Van alle sterfgevallen in de zomers tussen 1991 en 2018 hing in Nederland 1,8 % samen met de temperatuurstijging. Zonder extra temperatuurstijging door mondiale klimaatverandering zou dit naar verwachting 1,24 % zijn geweest. Voor Nederland komt dat neer op bijna 250 extra sterfgevallen per jaar (Vicedo-Cabrera et al., 2021).

Naast hitte- en warmteterfte (de mortaliteit) is er nog relatief weinig bekend over de invloed van hitte op ziekte (morbiditeit). In Nederland is onderzoek uitgevoerd naar het aantal spoedopnames in relatie tot de temperatuur en luchtvochtigheid (Loenhout et al., 2018). Zij vonden een toename in het relatieve risico om bij de eerste hulp terecht te komen met de ziekte-classificaties 'Mogelijk hitte-gerelateerde ziekten' (o.a. nierfalen) en 'Luchtwegaandoeningen' bij hogere temperaturen. Een extra bevinding was dat het relatieve risico van één extreem warme dag vergelijkbaar bleek met het relatieve risico van een aantal dagen gematigde warmte. Recent onderzoek concludeert ook dat er mogelijk een verband is tussen blootstelling aan hoge temperaturen en cardiovasculaire en respiratoire ziekten (Rocque et al., 2021). Ook verbanden tussen hitte en zelf-gerapporteerde mentale gezondheidsproblemen en mogelijke verbanden tussen hittestress en agressie worden gevonden (Hall et al., 2021).

Relevante indicatoren (bron):

- Temperatuur gerelateerde sterfte, gemodelleerd (RIVM);
- Aantal hitte doden (CBS);
- Mogelijke indicator, maar nog niet beschikbaar:
  - opnames spoedeisende hulp tijdens hitte.

#### **Cascade-effecten**

Lange periodes van hitte gaan in Nederland vaak gepaard met warme nachten waardoor de slaap wordt verstoord. Dit leidt tot vermoeidheid

<sup>11</sup> <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/32/hogere-sterfte-tijdens-recente-hittegolf>

en concentratieverlies. Dit heeft weer gevolgen voor werkprestaties en kan leiden tot arbeidsverlies en mentale problemen. Daarnaast gaan warme perioden vaak gepaard met slechte luchtkwaliteit (zomersmog) wat gezondheidsgevolgen heeft voor mensen met cardiovasculaire aandoeningen.

Extreme hitte kan leiden tot droogte, gevolgd door biodiversiteitsverlies en mogelijk meer natuurbranden. Natuurbranden zorgen dan weer voor een slechte luchtkwaliteit. Door zetting van de bodem kunnen kabelbreuken ontstaan in data- en telecomkabels, waardoor de virtuele bereikbaarheid van mensen wordt aangetast. Daarnaast zetten wegen en spoorlijnen uit, waardoor verstoringen in de vervoersmogelijkheden ontstaan (ANV, 2022b).

Droogte door langdurige hitte kan lang doorwerken in de natuur (>1 jaar). Een droge periode in het weer, vertaalt zich naar kritieke daling in de grondwaterstand. Het duurt lang voordat een verlaagde grondwaterstand is aangevuld. Daarnaast zullen door verzuring en verzilting als gevolg van droogte zeldzame vegetatiesoorten verdwijnen. Omdat heel Nederland door de droogte geraakt wordt, wordt ook de natuur in heel Nederland aangetast (ANV, 2022b). Dit verlies aan biodiversiteit vermindert de gezondheid en de functie van ecosystemen. Bovendien zal het hun veerkracht aantasten en hun vermogen om klimaatgerelateerde gevaren, zoals droogte, overstromingen of stormen, op te vangen en te weerstaan.

### **Eindimpact: mens**

Zowel hitteperioden als stijging van de gemiddelde jaartemperatuur hebben een uitwerking op de gezondheid. Vooral mortaliteit is daarbij onderzocht, over ziektelast door hitte en warmte is minder bekend.

#### *Hittesterfte*

Door klimaatverandering zijn het aantal hittegolven en warme/zomerse dagen toegenomen. De bijdrage van klimaatverandering aan hittesterfte is daarom zeer waarschijnlijk. Het aantal sterfgevallen door hittegolven en hitteperioden varieert, maar over de afgelopen 30 jaar zijn er veel doden gevallen door hitte. Bovendien raakt hitte de hele bevolking met diverse gezondheidseffecten, waarbij bepaalde gevoelige groepen sterker worden geraakt. De eindimpact op mensen door hitte is hoog (>100.000 getroffen mensen en > 100 doden).

#### *Warmtesterfte*

Zoals eerder genoemd kan al 31% van de warmtesterfte (ongeveer 250 sterfgevallen per jaar) over de periode 1991-2020 worden toegeschreven aan klimaatverandering vanwege de stijging van de gemiddelde jaartemperatuur. De eindimpact van de gemiddelde temperatuurstijging is hoog (> 100 doden per jaar).

### **Eindrisico: economie**

Het is voor te stellen dat vanwege de hitte nachttemperaturen hoog zijn waardoor de slaapkwaliteit achteruit gaat. Gebrek aan slaap heeft invloed op het concentratievermogen en leidt tot verlies van productiviteit. Ook een hoge temperatuur op zichzelf vermindert

productiviteit. Minder productiviteit leidt tot arbeidsverlies. In Nederland is hier nog geen onderzoek naar gedaan.

### **Waarschijnlijkheid**

Sinds de metingen begonnen in 1901 zijn er in Nederland 30 hittegolven geweest, waarvan ongeveer de helft (14) van de hittegolven in de afgelopen 23 jaar zijn geweest. Er zijn ook een aantal jaren geweest dat er meerdere hittegolven per jaar waren (2006, 2008, 2018 en 2019)<sup>12</sup>. In Nederland komt een hittegolf in de huidige situatie dus ongeveer één keer per jaar voor. De frequentie dat er hittesterfte zal optreden die gerelateerd is aan een warme periode/hittiegolf zal niet bij elke hittegolf optreden, maar is wel tussen de eens per 10 tot eens per jaar.

Warmteterfte door stijging van de gemiddelde temperatuur treedt ieder jaar op.

### **Wildcards & kantelpunten**

In 2019 werd voor het eerst in Nederland meer dan 40 °C gemeten in Gilze-Rijen (37,5 °C in de Bilt). Dit was een flinke wildcard of 'zwarte zwaan' gebeurtenis. Iets wat zonder stijging van de wereldwijde temperatuur in Nederland vrijwel onmogelijk was. Het oude record in de Bilt stond op 35,6 °C (1946) en was aan het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw zeer onwaarschijnlijk met een herhalingstijd van tenminste 150 jaar. In het huidige klimaat komt rond de 35°C eens per 5 jaar voor<sup>13</sup>. Op die extreme temperaturen is Nederland niet goed voorbereid.

### **Bestuurlijke situatie**

Het RIVM is verantwoordelijk voor het Nationaal Hitteplan<sup>14</sup>. Als er meerdere dagen hoge temperaturen worden verwacht, dan worden organisaties, professionals en vrijwilligers (mantelzorgers) die zijn betrokken bij de zorgverlening aan ouderen en chronisch zieken gewezen op het feit dat het voor een langere periode warm wordt. Hoe deze stakeholders hier verder mee om gaan, is aan de partijen zelf. Ook voor gemeenten specifiek wordt informatie aangeboden om een lokaal hitteplan op te stellen<sup>15</sup>. Het Nationaal Hitteplan is sinds het ontstaan in 2007 tot nu toe (2023) 17 keer geactiveerd geweest. Het hitteplan is de laatste 5 jaar (2018-2023) vaker geactiveerd dan de 5 jaar ervoor. De werking en effectiviteit van het Nationaal Hitteplan wordt in 2024 wetenschappelijk geëvalueerd.

Er zijn momenteel nog geen normen voor de binnentemperatuur in bestaande woningen. Voor nieuwbouwwoningen is recent (2021) wel een bouwnorm (Tojuli) opgesteld voor de maximum binnentemperatuur<sup>16</sup>. Het is niet bekend hoe in de praktijk wordt getoetst of aan deze ontwerpeis is voldaan. Voor werkplekken (waaronder ook scholen<sup>17</sup> en verpleeghuizen) zijn wel aanbevelingen

<sup>12</sup> <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/lijsten/hittiegolven>

<sup>13</sup> <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/ieder-jaar-een-verpletterend-hitterecord>

<sup>14</sup> <https://www.rivm.nl/hitte/nationaal-hitteplan>

<sup>15</sup> <https://klimaatadaptatienederland.nl/hulpmiddelen/overzicht/lokaal-hitteplan/>

<sup>16</sup> <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/energieprestatie-beng/indicatoren>

<sup>17</sup> <https://www.poraad.nl/nieuws-en-achtergronden/wat-te-doen-bij-extreme-warmte-op-school>

voor de temperatuur gesteld. Het gaat hierbij om Arboregelgeving<sup>18</sup>. Mogelijk gaat de nieuwe 'Landelijke maatlat voor een groene klimaatadaptieve gebouwde omgeving en verkenning groennorm'<sup>19</sup> verandering brengen in de bouwmaatregelen die moeten worden getroffen om de binnentemperatuur te beperken.

Onderzoek naar hoe ouderen reageren en zich aanpassen aan hitte wordt uitgevoerd in het project Warm Aanbevolen<sup>20</sup> van ZonMw (2021-2023). Het doel van het project is om vanuit een interdisciplinaire en participatieve benadering een handelingsperspectief op te stellen om de nadelige temperatuur-gerelateerde gezondheidseffecten te minimaliseren, met speciale aandacht voor gedragscomponenten en hoogrisicogroepen. Resultaten uit dit project kunnen worden gebruikt om te sturen in adaptatiemaatregelen.

Er zijn nu verder geen wettelijke normen vastgelegd wat betreft hitte. Aanbevelingen om hitte te reduceren worden in de Nationale Adaptatie Strategie gegeven.

### **Samenhang met andere transitie en beleid**

Hitte is een thema binnen de Nationale Adaptatie Strategie. Verder hangt hitte nauw samen met de energietransitie (binnenmilieu).

### **Internationale aspecten**

Er zijn geen specifieke internationale aspecten die uitwerking hebben op de gezondheid van mensen in Nederland met betrekking tot hitte. Met natuurlijk uitzondering van de wereldwijde afspraken om de temperatuurstijging te stoppen.

### **Maladaptatie en/of 'lock-ins'**

Er is sprake van maladaptatie als er voor het koelen van de woning voor airconditioning wordt gekozen zonder eerst andere maatregelen uit te voeren. Buitenzonwering houdt veel warmte buiten. Ook isolatie zorgt ervoor dat warmte minder snel de woning binnenkomt. Slim ventileren en het toepassen van ventilatoren kan vaak al voldoende verkoeling opleveren. En een warmtepomp kan in de meeste gevallen ook koelen. Het kan echter zijn dat ondanks dergelijke maatregelen er toch behoefte is aan een airconditioner, bijvoorbeeld voor kwetsbare ouderen. In dat geval helpen de genoemde maatregelen om het energieverbruik en de extra warmteproductie door het apparaat laag te houden. Het gebruik van airconditioners neemt wereldwijd toe en de verwachting is dat het gebruik alleen maar meer gaat worden<sup>21</sup>. Verkoeling- of verwarmingselementen kunnen het risico op geluidhinder in woonwijken toe laten nemen. Het is nog niet bekend hoe groot deze hinder kan zijn.

Het verdichten van steden waarbij niet genoeg rekening wordt gehouden met groen in de openbare ruimte kan een lock-in veroorzaken. Door de

<sup>18</sup> <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/warmte>

<sup>19</sup> [https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven\\_regering/detail?id=2023Z05065&did=2023D11915](https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2023Z05065&did=2023D11915)

<sup>20</sup> <https://www.zonmw.nl/nl/onderzoek-resultaten/gezondheidsbescherming/programmas/project-detail/klimaat-en-gezondheid/warm-aanbevolen/>

<sup>21</sup> <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>



verdichting loopt de temperatuur op wat niet meer kan worden opgelost met openbaar groen omdat er geen ruimte meer voor is.

### **Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid**

In Nederland worden nog weinig koele plekken ingericht waar mensen naar toe kunnen gaan tijdens hittegolven (zoals in de Verenigde Staten waar buurthuizen met airco extra open zijn tijdens hittegolven). Het verminderen van opwarming van gebouwen kan goed worden meegenomen in normeringen voor de bouw en stimuleringsbeleid voor het uitvoeren van hittewerende maatregelen bij bestaande gebouwen. Ook gemeentes kunnen met hun ruimtelijke plannen rekening houden met het creëren van koele plekken en looproutes in de openbare ruimte.

### **Rechtvaardigheid**

Kwetsbare groepen, zoals genoemd onder gevoeligheid, zijn onder meer ouderen, baby's/kinderen, zwangeren, chronisch zieken, mensen met overgewicht en gebruikers van medicijnen, alcohol en drugs. Ook mensen die in slecht geïsoleerde huizen wonen of/en in de stad voelen de gevolgen van een hogere temperatuur sneller dan mensen in een goed geïsoleerd huis en/of buiten de stad. Vaak is er sprake van een combinatie van omstandigheden. Mensen die al in een kwetsbare groep vallen wonen vaak ook nog in een slecht geïsoleerd huis in de stad. Zij hebben vaak niet de (financiële) mogelijkheden om hun huis aan te passen aan de hoge temperaturen. Ook zijn de wijken waar kwetsbare groepen wonen vaak minder groen waardoor de temperatuur sowieso al hoger is dan de groene wijken waar minder kwetsbare mensen wonen.

Het zou rechtvaardig zijn als adaptatiemaatregelen (in de openbare ruimte) om de temperatuur te verlagen in eerste instantie worden toegepast in de wijken waar de meest kwetsbare mensen wonen. Ook subsidies voor het verduurzamen van woningen en daarmee ook het koeler krijgen van hun woningen zouden moeten landen bij de mensen die het nu niet kunnen betalen. Dit hangt ook samen met de verdeling van de klimaatkosten van het WRR (2023).

### **Transparantie, aggregatie en afbakening**

De gegevens voor het vaststellen van de klimaatdreiging zijn gebaseerd op kwantitatieve data, gemeten en gemodelleerd door het KNMI. De gegevens over de blootstelling zijn grotendeels gebaseerd op kwantitatieve data, gemeten door het KNMI en uit gepubliceerd onderzoek. Informatie over de doorwerking van blootstelling binnenshuis en stad versus buiten de stad is deels gebaseerd op kwalitatief onderzoek. De informatie over gevoeligheid is gebaseerd op kwantitatieve data uit gepubliceerd onderzoek en deels een kwalitatieve interpretatie van die data. De informatie rondom adaptatiecapaciteit is voornamelijk kwalitatieve data. Het gedeelte over aanpassing aan temperatuur is gebaseerd op kwantitatief gepubliceerd onderzoek. De impact is gebaseerd op kwantitatieve onderzoeksdata (sterftcijfers, mentale gezondheid cijfers, deels ziektelast). Een deel is een kwalitatieve interpretatie van die data.

De eindimpact is deel gebaseerd op kwantitatieve data (oversterfte) en deels kwalitatief (schatting van het aantal mensen dat getroffen is).

De waarschijnlijkheid is gebaseerd op kwantitatieve data gemeten door het KNMI en de oversterfte.

### **Kennishiaten**

Er zijn veel kennishiaten op het gebied van hitte en gezondheidseffecten in relatie met klimaatverandering. Een groot deel van deze kennishiaten is beschreven in het rapport van Van der Ree et al. (2022).

Dat er een link is tussen sterfte/ziekte en hittegolven/stijging gemiddelde jaartemperatuur is duidelijk. Hoe de link in elkaar steekt is nog niet precies duidelijk. Met name de stapeling van omstandigheden bij hittegolven (slechte luchtkwaliteit, veel pollen) is een groot kennishiaat. Ook óf en hoe snel adaptatie van het lichaam kan optreden bij een stijging van de gemiddelde jaartemperatuur is onduidelijk.

Ook op de link tussen mentale gezondheid en hitte ontbreekt nog veel kennis. Deze link is ook voor het cascade effect belangrijk om nader te onderzoeken.

Het gezondheidseffect van de blootstelling aan hitte is in belangrijke mate afhankelijk van ons gedrag. Ook dat is nog een groot kennishiaat. We hebben een idee van de meest kwetsbare groepen voor hitte, maar wat de impact per groep is, is nog niet duidelijk genoeg.

De oversterfte bij een hitteperiode geeft een redelijke indicatie van de impact van hitte op sterfte. De kennis over de nasleep van een hitteperiode op sterfte is echter nog niet bekend. Ook de ziektelast van hitte is onderbelicht. De impact op de economie is daarom ook nog onvoldoende duidelijk.

### **Onzekerheid en betrouwbaarheid**

Tijdens de expertsessie met PBL is geconcludeerd dat de betrouwbaarheid over de gezondheidseffecten van hitte en de stijging van de jaargemiddelde temperatuur zeer hoog is. En dat de consensus nagenoeg zeker is.

### **Expertbeoordeling**

De experts binnen het RIVM zijn betrokken bij onderzoeksvoorstellen en (rapport)publicaties op het thema en zijn op de hoogte van de nieuwste literatuur en onderzoeken. Zowel intern als extern zijn zij betrokken bij diverse werkgroepen en (internationale) samenwerkingen op het thema. Voor dit factsheet is er dan ook veel gebruik gemaakt van expert judgement.

Omdat er veel integraliteit bestaat bij de gezondheidseffecten tussen de thema's is gestreefd om tijdens de expertsessies alle themaexperts (of vervanging) aanwezig te hebben. Ook PBL is regelmatig bij deze sessies aanwezig geweest. Zoals bij de expertsessie om de onzekerheid en betrouwbaarheid vast te leggen.

### **Referenties factsheet hitte**

ANV (2022b). Themarapportage klimaat- en natuurrampen. Analistennetwerk Nationale Veiligheid.

Botzen, W. J. W., M. L. Martinius, P. Bröde, M. A. Folkerts, P. Ignjacevic, F. Estrada, C. N. Harmsen & H. A. M. Daanen (2020). Economic valuation of climate change-induced mortality: age dependent cold and heat mortality in the Netherlands. *Climatic Change* (2020). 162: 545-562.

Brunekreef, Bert, Gerard Hoek, Paul Fischer, Frits Th M Spijksma (2000). Relation between airborne pollen concentrations and daily cardiovascular and respiratory-disease mortality. *The Lancet Research letters*. Vol 355. April 29, 2000.

CBS (2003). Ruim duizend doden extra door warme zomer  
<https://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/bevolking/publicaties/artikelen/archief/2003/2003-1275-wm.htm>.

CBS (2006). Door hitte in juli duizend extra doden  
<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2006/35/door-hitte-in-juli-duizend-extra-doden>.

CBS (2020). Tijdens hittegolf vooral meer sterfte in langdurige zorg.  
<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/35/tijdens-hittegolf-vooral-meer-sterfte-in-langdurige-zorg>.

Fischer, Paul H., Bert Brunekreef, Erik Lebret, Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands, *Atmospheric Environment*, Volume 38, Issue 8, 2004, Pages 1083-1085, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.11.010>.

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

Hall, E.F., R.J.M. Maas, J. Limaheluw, C.D. Betgen (2021). Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering. RIVM-Rapport 2020-0200.

Jaakkola, Jouni J K, Simo-Pekka Kiihamäki, Simo Näyhä, Niilo R I Rytty, Timo T Hugg, Maritta S Jaakkola, Airborne pollen concentrations and daily mortality from respiratory and cardiovascular causes, *European Journal of Public Health*, Volume 31, Issue 4, August 2021, Pages 722-724, <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckab034>.

KNMI (2021). Klimaatsignaal '21. Hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 pp.

Loenhout, J.A.F. van, Delbiso, T.D., Kiriliouk, A., Rodriguez-Llanes, J.M., Segers, J. & Guha-Sapir, D. (2018). Heat and emergency room admissions in the Netherlands. *BMC Public Health* 18, 108.  
<https://doi.org/10.1186/s12889-017-5021-1>.

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

Rocque, RJ, Beaudoin C, Ndjaboue R, et al. (2021) Health effects of climate change: an overview of systematic reviews. *BMJ Open* 2021;11:e046333. Doi: 10.1136/bmjopen-2020-046333.

Tobías, A., Hashizume, M., Honda, Y., et al. (2021). Geographical Variations of the Minimum Mortality Temperature at a Global Scale. *Environmental Epidemiology*, October 2021. – Volume 5 – Issue 5 – p e169.

Van der Ree, J., C. Betgen, C. Boomsma, A. van Dijk, L. Hall, D. Houweling, J. Limaheluw, K. Rijs (2022) Plan van aanpak Onderzoeksprogramma Klimaatverandering en gezondheidseffecten. RIVM-rapport 2022-0030.

Vicedo-Cabrera, A.M., N. Scovronick, F. Sera, D. Royé, R. Schneider, A. Tobias, C. Astrom, Y. Guo, Y. Honda, D. M. Hondula, R. Abrutzky, S. Tong, M. de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, P. H. Nascimento Saldiva, E. Lavigne, P. Matus Correa, N. Valdes Ortega, H. Kan, S. Osorio, J. Kyselý, A. Urban, H. Orru, E. Indermitte, J. J. K. Jaakkola, N. Rytí, M. Pascal, A. Schneider, K. Katsouyanni, E. Samoli, F. Mayvaneh, A. Entezari, P. Goodman, A. Zeka, P. Michelozzi, F. de' Donato, M. Hashizume, B. Alahmad, M. Hurtado Diaz, C. De La Cruz Valencia, A. Overcenco, D. Houthuijs, C. Ameling, S. Rao, F. Di Ruscio, G. Carrasco-Escobar, X. Seposo, S. Silva, J. Madureira, I. H. Holobaca, S. Fratianni, F. Acquaotta, H. Kim, W. Lee, C. Iniguez, B. Forsberg, M. S. Ragettli, Y.L. L. Guo, B. Y. Chen, S. Li, B. Armstrong, A. Aleman, A. Zanobetti, J. Schwartz, T. N. Dang, D. V. Dung, N. Gillett, A. Haines, M. Mengel, V. Huber & A. Gasparrini (2021). The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. *Nature Climate Change* volume 11, pages 492–500.

WRR (2023). *Rechtvaardigheid in klimaatbeleid. Over de verdeling van klimaatkosten*. Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, Den Haag, 2023.

Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., et al. (2021). Global, regional, and national burdens of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study (2021). *The Lancet Planetary Health*, 5 (7), pp. E415-e425.

## 4 Factsheet Luchtkwaliteit

RIVM expert: P. Ruysenaars, redactie: C.D. Betgen

*Het gezondheidsrisico bestaat uit een piek in slechte luchtkwaliteit vanwege zomersmog veroorzaakt door een toename van temperatuur en droogte. Tegelijk neemt het algehele gezondheidsrisico af vanwege verbetering luchtkwaliteit door klimaatmitigatiemaatregelen.*

### Inleiding

Luchtverontreiniging is schadelijk voor de mens en natuur en leidt tot vroegtijdige sterfte. Bovendien kunnen luchtwegklachten en hart- en vaatziekten ontstaan en/of verergeren (Gezondheidsraad, 2018; WHO, 2021). De kwaliteit van de lucht wordt onder andere bepaald door de concentratie van fijnstof (PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub>; daarnaast zijn er aanwijzingen dat ultrafijnstof (PM<sub>0,1</sub>) effecten heeft op de gezondheid), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en ozon (O<sub>3</sub>). Fijnstof en stikstofoxiden komen onder andere vrij bij industrie, verkeer en landbouw. Ozon ontstaat in de lagere luchtlagen uit een reactie tussen vluchtige organische stoffen (VOS, waaronder methaan) of stikstofoxiden onder invloed van temperatuur en zonlicht<sup>22</sup>. Methaan is daarmee een belangrijke component voor zowel het klimaat- als luchtkwaliteitsbeleid.

Luchtkwaliteit heeft een nauwe relatie met weersomstandigheden. Wind zorgt voor verspreiding en verdunning van verontreiniging en neerslag zorgt voor het uitregenen van fijnstof. Door klimaatverandering komen weersomstandigheden die de luchtkwaliteit negatief kunnen beïnvloeden vaker voor<sup>23</sup>. Zoals hittegolven met weinig wind, droogte en een hoge zonkracht. Er is dan veel vorming van ozon (zomersmog) en fijnstof blijft in de lucht hangen. Door een vaak overheersende oostenwind tijdens hittegolven komt er nog extra fijnstof uit het buitenland Nederland binnen (Hall et al., 2021). Een slechte luchtkwaliteit zorgt voor extra warmtesterfte (Hall et al., 2021). Maar de exacte relatie tussen vroegtijdige sterfte, hitte en luchtkwaliteit, is lastig vast te stellen en dient nader te worden onderzocht. Hierbij speelt ook een rol dat de Nederlandse bevolking vergrijst en ouderen kwetsbaarder zijn voor de effecten van luchtverontreiniging.

(Europese) normen voor luchtkwaliteit zijn bedoeld om zowel de korte- als langetermijneffecten van luchtverontreiniging op gezondheid en natuur te beperken (en uiteindelijk voorkomen). Onder de wettelijke normen treden nog steeds gezondheidseffecten op. De WHO heeft daarom gezondheidkundige advieswaarden afgeleid (ook daarvoor geldt dat bij die niveaus nog steeds gezondheidseffecten op zullen treden). Klimaatverandering heeft effect op de luchtkwaliteit en daarmee ook op gezondheid (bijvoorbeeld op het vóórkomen van episoden van luchtverontreiniging, waarbij het vooral gaat om kortetermijneffecten). Maar er is zeker ook samenhang tussen

<sup>22</sup> <https://www.rivm.nl/lucht/luchtkwaliteit-Nederland>

<sup>23</sup> <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/klimaat-penalty-slechtere-luchtkwaliteit-door-klimaatverandering>

klimaatmitigatie en luchtkwaliteit (langetermijneffecten), waarbij klimaatmaatregelen zowel een positief als negatief effect kunnen hebben op de luchtkwaliteit.

### **Klimaatdreiging**

Er zijn verschillende mechanismen waarlangs een veranderend klimaat impact heeft op luchtkwaliteit en samenhangende gezondheidseffecten:

1. Een stijging van temperatuur heeft invloed op atmosferische chemie en daarmee op de formatie van ozon en fijnstof (klimaatverandering is van invloed op chemische processen in de atmosfeer; bijvoorbeeld de processen waarbij secundair fijnstof ontstaat (an)organische aerosolen));
2. Een stijging van temperatuur heeft in combinatie met luchtkwaliteit invloed op gezondheid, alhoewel het mechanisme waarlangs dit plaatsvindt nog niet goed begrepen is: hangen extra "hitte-doden" in de zomerperiode bijvoorbeeld samen met de temperatuur, met de luchtkwaliteit of met beiden;
3. Klimaatverandering vergroot de duur en de intensiteit van het pollenseizoen. Een combinatie van blootstelling aan pollen en episoden van luchtverontreiniging kan leiden tot een versterking van gezondheidseffecten.

Voor het duiden van gezondheidseffecten van luchtkwaliteit wordt onderscheid gemaakt tussen kortetermijneffecten (variërend van effecten van pieken van luchtverontreiniging van enkele uren tot dagen) en de langetermijneffecten. Er is een relatie tussen luchtkwaliteit en klimaatverandering voor beide typen effecten. Voor dit factsheet wordt vooral gekeken naar de klimaatdreiging van de kortetermijneffecten van ozon.

Klimaatverandering kan van invloed zijn op weersomstandigheden die bijdragen tot het ontstaan van kortetermijnepisoden (warmte, weinig wind, veel zon). De invloed van klimaatverandering op atmosferische chemie en daarmee op bijvoorbeeld de vorming van ozon en fijnstof kan worden gezien in relatie tot zowel korte- als langetermijneffecten.

### **Secundaire effecten**

Een aantal secundaire effecten van klimaatverandering op luchtkwaliteit zijn:

1. Een aanpassing van de bevolking aan de effecten van klimaatverandering kan effecten hebben op bijv. het energiegebruik (inzet van koeling en airconditioning); hetgeen afhankelijk van de manier waarop de energie wordt opgewekt kan leiden tot hogere uitstoot van PM en NO<sub>x</sub> en extra gezondheidsimpact;
2. Een aanscherping van klimaatbeleid gericht op het realiseren van de klimaatdoelen zal impact hebben op de inzet van energietechnieken en op energieprijzen. Dit laatste kan bijvoorbeeld leiden tot gedragseffecten zoals een substitutie van de inzet van aardgas door biomassa voor ruimteverwarming, wat kan zorgen voor overlast van houtrook;

3. Inzet van alternatieve energietechnieken en de energiemix die volgt uit keuzes in het klimaatbeleid, leiden tot zowel positieve als negatieve effecten op luchtkwaliteit en gezondheid.

Natuurbranden als gevolg van klimaatverandering zorgen voor een slechte luchtkwaliteit. Ook in Europa komen grote natuurbranden meer voor. In de zomers van 2022 en 2023 werden zuid 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. Op natuurbranden wordt in een aparte factsheet, gemaakt door PBL, nader ingegaan.

## **Blootstelling**

### *Kortetermijneffecten*

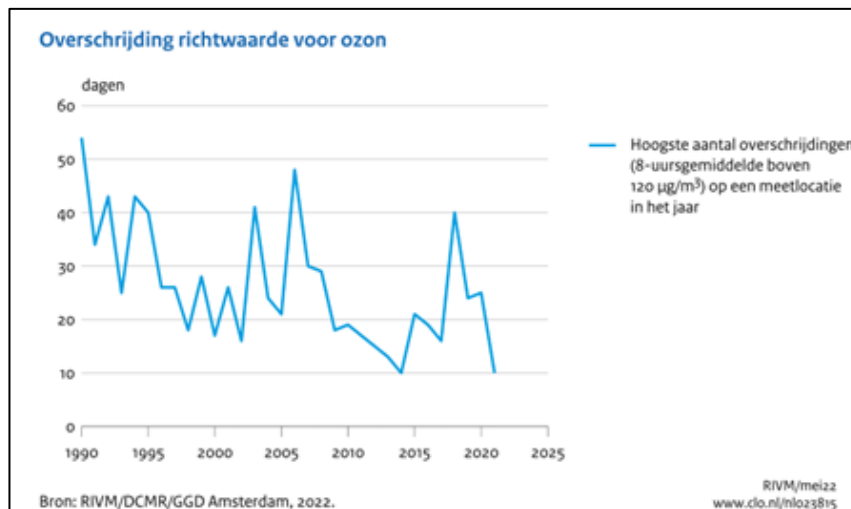
Extreme weersomstandigheden kunnen het aantal en de intensiteit van episodes van slechte luchtkwaliteit versterken. Episoden zijn vooral van negatieve invloed op mensen met verhoogde gevoeligheid voor luchtverontreiniging, zoals mensen met longaandoeningen (astma, COPD), ouderen, jonge kinderen. Ook 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).

Door warmer weer kunnen op dat moment ook de grassen flink gaan bloeien met een piek in graspollenconcentraties als gevolg, zoals in juni 2023. Er zijn aanwijzingen dat deze combinatie van factoren bijdraagt aan ziekte en oversterfte tijdens een hittegolf. Fischer et al. (2004) verwachtten dat een aanzienlijk deel van de sterfgevallen die nu wordt toegeschreven aan hitte in Nederland, veroorzaakt wordt door ozon en (in mindere mate door) fijnstof. Bovendien vonden Brunekreef et al. (2000) een sterke associatie tussen dagelijkse pollenconcentraties en cardiovasculaire en respiratoire mortaliteit in Nederland, een associatie die onlangs ook in Finland is gevonden (Jaakkola et al., 2022). Meer onderzoek is nodig naar de bijdrage van hitte, luchtverontreiniging en pollen aan de sterfte en ziektelast in warme perioden, juiste omdat verwacht wordt dat klimaatverandering deze blootstellingen gaat verergeren.

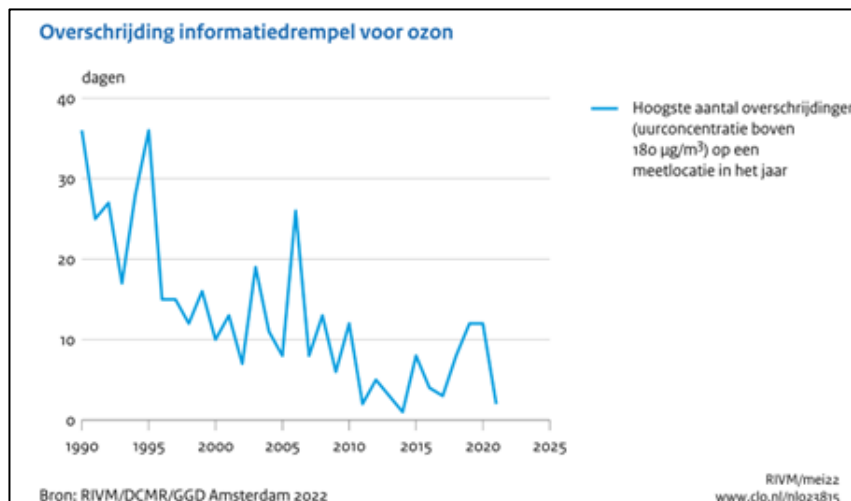
De impact van klimaatverandering op het vóórkomen van korte termijn pieken is niet eenvoudig te duiden. Onderstaande figuren, gebaseerd op het Compendium voor de leefomgeving (CLO), laten de ontwikkeling van de overschrijding van de (8-uurs gemiddelde) richtwaarde voor ozon in Nederland zien vanaf 1990. Zeker voor de laatste decennia valt er geen duidelijke trendmatige ontwikkeling voor ozon uit figuur 1 af te leiden. Figuur 2 laat zien dat er een neerwaartse trend is van de overschrijding P54 van de door de EU bepaalde informatiedrempel (uurgemiddelde concentratie boven  $180 \mu\text{m}^3$ ).

Deze figuren sluiten aan bij het meer algemene beeld: er is sprake van een daling van het aantal pieken in de luchtkwaliteit die vooral aan de

effecten van het (Europese) luchtbeleid kunnen worden toegeschreven. De jaargemiddelde ozonconcentratie is echter niet afgenomen en blijft in Europa schommelen rond de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De oorzaak wordt onder andere gezocht in het feit dat de achtergrondconcentratie op het hele noordelijk halfrond toeneemt als gevolg van de stijgende emissies van methaan in Azië en van de zeescheepvaart (Hall et al., 2021).



Figuur 4.1 Overschrijding richtwaarde voor ozon (bron: CLO<sup>24</sup>)



Figuur 4.2 Overschrijding informatiedrempel voor ozon (bron: CLO<sup>25</sup>)

De impact van klimaatverandering op bovenbeschreven ontwikkeling is, zoals al aangegeven, lastig te duiden. Er spelen verschillende mechanismen een rol. Enerzijds verbetert de luchtkwaliteit waarmee de intensiteit van piekconcentraties en jaarconcentraties afneemt. Hierin speelt het gevoerde beleid een rol. Zowel het klimaatbeleid als Europese beleidsmaatregelen op ozonprecursors. Anderzijds zorgt het gelijk blijven of toenemen van achtergrondconcentraties van methaan voor meer ozon waardoor het achtergrondniveau van ozon toeneemt. Tot slot beïnvloedt klimaatverandering de chemische processen in de atmosfeer

<sup>24</sup> <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0238-ozonconcentraties-en-volksgezondheid>

<sup>25</sup> <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0238-ozonconcentraties-en-volksgezondheid>

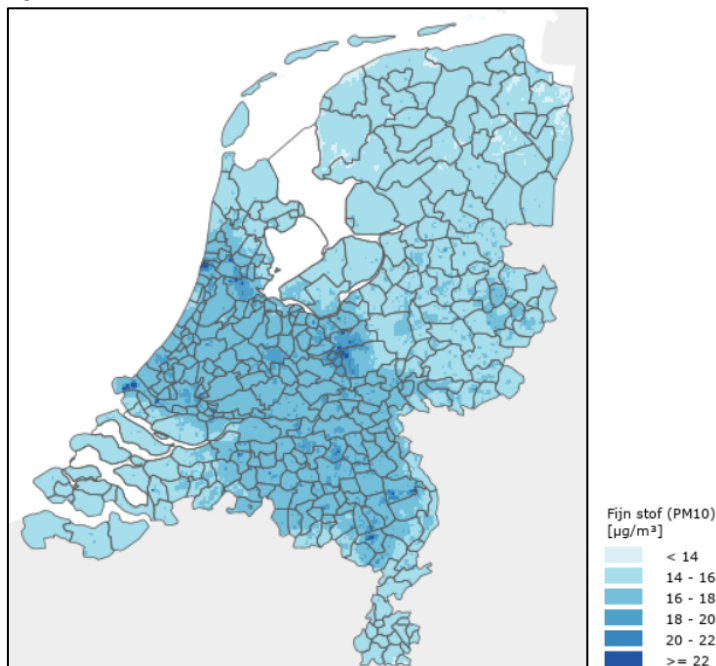


die van invloed zijn op de vorming van PM en fijnstof. Klimaatverandering heeft een effect op het optreden van episoden met slechte luchtkwaliteit omdat gunstige omstandigheden voor smogvorming optreden bij zomerse dagen.

Figuur 2 laat zien dat er een dalende trend is in de overschrijding van de informatiedrempel van ozon. In recente jaren met hittegolven in 2018, 2019 en 2020 is de informatiedrempel voor ozon iets vaker overschreden (tot max. 12 dagen). Het aantal dagen waarbij overschrijding plaatsvindt is nog altijd lager dan in de jaren '90. De komende jaren doet RIVM onderzoek naar de samenhang tussen luchtkwaliteit en klimaatverandering.

### Geografie

De luchtkwaliteit is niet in heel Nederland hetzelfde. De luchtkwaliteit (NO<sub>x</sub> en fijnstof) is afhankelijk van de nabijheid van wegen, industrie en landbouw<sup>26</sup>. Daarom zijn in de Randstad (wegverkeer) en in het midden van Nederland en in Noord-Brabant (landbouw) de jaargemiddelde concentraties stikstofoxide en fijnstof hoger dan op andere plekken. Ter voorbeeld is in figuur 3 de jaargemiddelde fijnstofconcentratie (PM10) te zien.

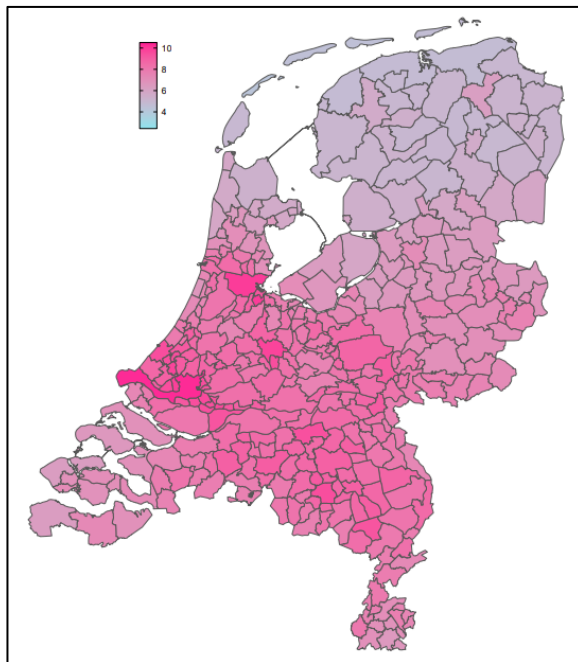


Figuur 4.3 Jaargemiddelde fijnstofconcentratie over het jaar 2021 (bron: RIVM<sup>27</sup>).

In gebieden met (gemiddeld) relatief lage jaargemiddelde concentraties, is ook de blootstelling relatief lager en is er sprake van minder gezondheidsverlies door luchtverontreiniging. Dit is te zien in figuur 4 (Ruysenaars et al., 2021).

<sup>26</sup> <https://data.rivm.nl/apps/gcn/>

<sup>27</sup> <https://data.rivm.nl/apps/gcn/>



Figuur 4.4 Berekend gemiddeld levensduurverlies in 2016 ten gevolge van de gecombineerde blootstelling aan NO<sub>2</sub> en PM10 per gemeente (bron: Ruysenaars et al., 2021)

Piekconcentraties kunnen, afhankelijk van weersomstandigheden en (grootschalige) patronen van luchtverontreiniging overal optreden en iedereen treffen.

Relevante indicatoren (bron):

- Uurlijkse en jaarlijkse concentraties fijnstof (PM10, PM2,5), stikstof, ozon (en nog heel veel andere stoffen) (RIVM Landelijk meetnet luchtkwaliteit).

### Gevoeligheid

In termen van gevoeligheid voor de effecten van luchtverontreiniging maakt de Gezondheidsraad (GR, 2018) onderscheid naar verschillende zogenaamd 'hoogrisicogroepen'. Deels betreft dat mensen die structureel worden blootgesteld aan hogere niveaus van luchtverontreiniging in zogenaamd 'hoogbelaste gebieden'.

Deels gaat het ook om groepen mensen die extra gevoelig zijn voor de effecten van luchtverontreiniging (kinderen, ouderen, mensen die genetisch bepaald gevoelig zijn voor luchtverontreiniging (COPD, astma) en zwangere vrouwen (waarbij het vooral gaat om het verhoogd risico voor het ongeboren kind) (Bongaerts et al., 2022). En tot slot mensen met overgewicht/obesitas, mensen die roken of gerookt hebben en mensen met een lager dan gemiddelde sociaaleconomische status<sup>28</sup>. Deze 'hooggevoeligen' zijn extra gevoelig voor hogere

<sup>28</sup> Van deze laatste groep vermoedt de EPA dat hooggevoeligheid voor deze groep samenhangt met een hoger dan gemiddelde blootstelling aan luchtverontreiniging. Fecht et al., (2015) concludeert dat er een positieve relatie is tussen hogere concentraties luchtverontreiniging en wijken in Nederland waar het aandeel niet autochtone bewoners hoger is dan 20%. Daarnaast is volgens dit onderzoek ongelijkheid voor blootstelling aan luchtverontreiniging met name een stedelijk probleem

(piek)concentraties luchtverontreiniging; maar bij zeer hoge concentraties kan iedereen klachten krijgen.

### **Adaptatiecapaciteit**

Voor luchtkwaliteit is mitigatiebeleid belangrijk om in eerste instantie te noemen. De verwachting is dat door klimaatverandering er vaker weersomstandigheden voorkomen waarin de luchtkwaliteit verslechtert (episoden). Zoals eerder aangegeven, dragen zowel lucht- als klimaatbeleid echter bij aan het verbeteren van luchtkwaliteit en het verminderd optreden (en verlaagde intensiteit) van episoden van luchtverontreiniging.

Daarnaast is in het Klimaatakkoord afgesproken dat het gebruik van fossiele brandstoffen en schadelijke uitstoot van industrie en verkeer wordt uitgefaseerd. Tijdens de COP26 in Glasgow zijn afspraken gemaakt die ook de luchtkwaliteit zullen verbeteren (bijvoorbeeld methaanreductie, die de ozonconcentratie beïnvloedt).

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<sup>29</sup>. Hiermee informeert het RIVM de bevolking over de huidige luchtkwaliteit en geeft een prognose af voor de ontwikkeling op korte termijn (drie dagen). Hieraan koppelt het RIVM gedragsadviezen voor gevoelige groepen, in geval van het optreden van episoden van luchtverontreiniging. Bij het overschrijden van door EU vastgestelde alarmpiegels voor luchtverontreiniging wordt de gehele bevolking actief gewaarschuwd, met de suggestie om bij (fysieke) activiteiten rekening te houden met de mate van luchtverontreiniging.

Voor adaptatie gerelateerd aan langetermijnblootstelling zou voorts gedacht kunnen worden aan gevoelige bestemmingen te lokaliseren op plaatsen waar de blootstelling minder is. In de eerste voortgangsmeting van het Schone lucht Akkoord (SLA<sup>30</sup>) (Ruysenaars et al., 2021) wordt aangegeven in welke regio's de (langetermijn) blootstelling en de gezondheidseffecten relatief laag zijn. Zie ook figuur 4.

### **Impact**

Het berekenen van de effecten van luchtkwaliteit op gezondheid loopt via het spoor van blootstelling. Hierbij wordt de berekende concentratie van luchtverontreinigende stoffen op relatief hoog detailniveau (1\*1 km of hogere resolutie) gekoppeld aan woonbebouwing en (gemiddelde) woningbezetting.

Het RIVM heeft het voornemen om een project te starten waarmee een koppeling tussen langetermijnklimaatscenario's en luchtkwaliteitsscenario's/berekening van gezondheidseffecten mogelijk wordt. Daarbij gaat het met name om de invloed van klimaatverandering op atmosferische chemie en de vorming van secundair (an)organisch aerosol (fijnstof).

<sup>29</sup> <https://www.rivm.nl/lucht/luchtkwaliteit-Nederland>

<sup>30</sup> <https://www.schoneluchtakkoord.nl/>

Voor de gezondheid is de invloed van (dagelijkse) blootstelling aan fijnstof en NO<sub>2</sub> groter dan de blootstelling aan ozon. Zowel op korte termijn kunnen mensen gezondheidsklachten ervaren van slechte luchtkwaliteit, en langdurige blootstelling aan een slechte luchtkwaliteit kan op de lange termijn voor gezondheidseffecten zorgen. Een getroffen mens is dus iemand die op korte termijn of lange termijn klachten ervaart. Deze gezondheidseffecten treden ook op beneden de wettelijke normen. De WHO heeft daarom gezondheidkundige advieswaarden afgeleid die aanzienlijk lager liggen.

Nederlanders leven gemiddeld enkele maanden korter door het inademen van ongezonde stoffen<sup>31</sup>. Er worden 2300 vroegtijdige sterfgevallen aan smogperiodes van fijnstof<sup>32</sup> gerelateerd. In 2013 zijn 2200 sterfgevallen toegeschreven aan ozon<sup>33</sup>. Vzinfo geeft ook cijfers over andere eindpunten dan sterfte als gevolg van langdurige blootstelling aan luchtvervuiling (zoals fijnstof): op jaarbasis gaat het om 4300 kinderen met een laag geboortegewicht en 11% van de longkankergevallen (1200 mensen)<sup>34</sup>. Deze cijfers worden de komende periode geactualiseerd op basis van recentere wetenschappelijke inzichten.

In termen van (economische) waardering tellen de langetermijneffecten (vroegtijdige sterfte en levensduurverlies) het zwaarst. Bovenstaande cijfers gaan over luchtkwaliteit in zijn algemeenheid. Het is nog niet duidelijk hoeveel klimaatverandering over de afgelopen 30 jaar heeft bijgedragen aan de cijfers.

*Relevante indicatoren (bron):*

Voor het Schone Lucht Akkoord (SLA) wordt doorberekend wat het effect is van de maatregelen op de gezondheid (Ruysenaars et al., 2021).

De gezondheidsindicator (GHI) rekent twee indicatoren uit, uitgaande van de gecombineerde blootstelling aan fijnstof (PM10) en NO<sub>2</sub>. Er wordt de komende jaren bekeken of ozon kan worden toegevoegd aan de GHI:

- de potentieel te behalen (gemiddelde) winst in levensduurverwachting voor een nul-jarige (in maanden) door vermindering van blootstelling aan luchtverontreiniging ('Life Expectancy Loss', afgekort als LXL). Dit is een 'individuele' effectmaat die wordt berekend op het woonadres, maar die kan gemiddeld worden over groepen zoals over buurten, wijken en gemeenten of over heel Nederland. Deze indicator is relevant voor de beoordeling van het SLA-doel: 50% gezondheidswinst ten gevolge van binnenlandse bronnen;
- Het aantal verloren levensjaren (YLL) voor de gehele Nederlandse populatie of over grote groepen. Deze indicator is geschikt om de kosteneffectiviteit van beleidsmaatregelen te bepalen en desgewenst de effecten te moneteriseren ten behoeve van kosten/batenafwegingen. Dit kan door het aantal verloren

<sup>31</sup> <https://www.rivm.nl/lucht/luchtkwaliteit-Nederland>

<sup>32</sup> <https://www.vzinfo.nl/leefomgeving/luchtverontreiniging/fijn-stof>

<sup>33</sup> <https://www.vzinfo.nl/leefomgeving/luchtverontreiniging/ozon>

<sup>34</sup> <https://www.vzinfo.nl/leefomgeving/luchtverontreiniging/fijn-stof>

levensjaren te vermenigvuldigen met de gemiddelde waarde van een levensjaar.

Met deze indicatoren kan:

- de gezondheidswinst op verschillende aggregatieniveaus (buurt, wijk, gemeente, provincie, nationaal) worden bepaald;
- de bijdrage van verschillende bronnen aan de gezondheidseffecten door luchtverontreiniging langs één meetlat worden gelegd (Ruysenaars et al., 2021).

Vanuit de GGD is er de GGD-rekentool luchtkwaliteit. De GGD-rekentool richt zich ook op fijnstof (PM10, PM2,5 en NO<sub>2</sub>). Met de tool kan voor een verschillende schaal (van provincie tot buurt) en van stedelijk tot buitengebied worden doorgerekend wat het effect van de luchtkwaliteit is op:

- Vroegtijdige sterfte (30+);
- Laag geboortegewicht;
- Incidentie hartvaatziekten;
- Incidentie astma kinderen (0-20);
- Ziekenhuisopname astma (alle leeftijden);
- Ziekenhuisopname COPD (alle leeftijden);
- Ziekenhuisopname ischemische hartziekte (40+);
- Longkanker (50+).

Indicatoren waaraan wordt gewerkt:

- Toe-/afname hart- en vaatziekten;
- Longkankerincidentie;
- Astma bij kinderen;
- "Health Adjusted Life Years" (HALE).

### **Cascade-effecten**

Groene adaptatiemaatregelen waarbij geen rekening wordt gehouden met allergene soorten kan mensen gevoeliger maken voor hooikoorts en daarmee ook gevoeliger voor een slechte luchtkwaliteit (Huynen et al., 2019).

### **Eindimpact mens**

Er is nog onvoldoende kennis om de bijdrage van klimaatverandering aan de gezondheidseffecten van luchtverontreiniging te kwantificeren. Daarom zijn de effecten in deze factsheet kwalitatief beschreven. Het aantal pieken en de intensiteit van pieken van ozon nemen allebei af in de periode 1991-2020, maar de achtergrondconcentratie is de afgelopen decennia gestegen.

Met ons lucht- en klimaatbeleid is Nederland goed bezig om nationale/Euregionale emissies te verminderen, waardoor de gezondheidsimpact afneemt. Klimaatverandering zorgt voor omstandigheden waardoor de luchtkwaliteit verslechtert, maar het beleid om de lucht te verbeteren zorgt dat de gezondheidsimpact van ozon(pieken) afneemt.

Tijdens ozonpieken zijn er, ondanks het beleid, nog steeds sterfgevallen (2200 in 2013). Wat het aandeel van klimaatverandering op deze sterfgevallen is, is nog niet onderzocht. Maar omdat luchtkwaliteit een grote invloed heeft op de gezondheid van de mens en klimaatverandering invloed heeft op de luchtkwaliteit wordt de eindimpact van ozon geschat op hoog (>100.000 getroffen en > 100 doden). Ditzelfde geldt voor fijnstof en NO<sub>x</sub> in relatie tot klimaatverandering en de gezondheid.

### **Eindrisico: economie**

De economische impact van luchtkwaliteit op de gezondheid is hoog. Het aandeel van klimaatverandering is echter niet bekend. Het aantal verloren levensjaren door luchtverontreiniging kan worden gemonetariseerd. Zo is berekend dat het SLA beleid, door het verminderen van het aantal verloren levensjaren met orde 53.000 in 2030 ten opzichte van 2016, baten oplevert van 2,6 – 5,8 miljard euro (Ruysenaars et al., 2021). Een levensjaar is daarbij gewaardeerd op 50.000 – 110.000 euro, met behulp van de methodiek voor MKBA (CE Delft, 2023). (Aanvullend) klimaatbeleid, met impact op de uitstoot van PM en/of NO<sub>x</sub>, kan leiden tot extra baten.

De rapportage van de nul-meting van het SLA (Ruysenaars et al., 2021) laat door middel van kaarten de gezondheidsimpacts van luchtverontreiniging en de berekende effecten van beleid (levensduurwinst, vermindering van verloren levensjaren) zien. In de doorgerekende scenario's zijn ook klimaatmaatregelen meegenomen. Het RIVM voert een actualisatie uit die in 2024 wordt gepubliceerd.

De huidige economische impact van luchtverontreiniging is hoog (> 1 miljard euro). Wat de bijdrage van klimaatverandering aan deze economische impact is, kunnen we echter op dit moment niet kwantificeren. Het kan in elk van de categorieën laag – midden – hoog zitten (ook afhankelijk van frequentie). Tegelijk zorgt het lucht- en klimaatbeleid dat is ingezet voor een reductie in gezondheidseffecten en economische schade, dus voortzetting van gedegen lucht- en klimaatbeleid is nodig om de eindimpact te verlagen.

### **Waarschijnlijkheid**

In termen van effecten van luchtverontreiniging op gezondheid, wordt onderscheid gemaakt in langetermijneffecten en kortetermijneffecten. Bij kortetermijneffecten gaat het vooral over (effecten van) het optreden van episoden van luchtverontreiniging ofwel smog (gerelateerd aan fijnstof, ozon). Bij langetermijneffecten gaat het om de beïnvloeding van (met name) fijnstofvorming door beïnvloeding van chemische processen in de atmosfeer, hetgeen kan leiden tot hogere concentraties, blootstelling en daarmee samenhangende gezondheidseffecten.

Door klimaatverandering is de verwachting dat de omstandigheden voor slechte luchtkwaliteit (in de zomer) vaker zullen voorkomen. De frequentie, duur en intensiteit van hittegolven nemen toe door klimaatverandering (KNMI, 2021). Hoeveel precies hangt van veel omstandigheden af, waaronder de doorwerking van het (Europese) luchtbeleid op concentraties van luchtverontreiniging. Juist door die

afhankelijkheid van vele omstandigheden is het effect van klimaatverandering lastig te kwantificeren.

Het is waarschijnlijk dat de langetermijngezondheidseffecten van luchtkwaliteit afnemen in verband met ingezet beleid (waaronder klimaatbeleid).

De waarschijnlijkheid van kortetermijngezondheidseffecten kan toenemen in verband met een toename in het aantal warme en droge dagen (zomersmog). Daarvan is de waarschijnlijkheid nu al eens per jaar of vaker (zie figuur 2).

### **Wildcards en kantelpunten**

Er zou van een wildcard kunnen worden gesproken als de omstandigheden voor hitte, droogte en hoge pollenconcentraties zodanig samenvallen dat een periode van langdurige slechte luchtkwaliteit optreedt (zie secundaire effecten).

### **Bestuurlijke situatie**

In termen van kortetermijnblootstelling is de overheid verplicht (op basis van de Europese Luchtkwaliteitsrichtlijn) om de bevolking te waarschuwen voor het overschrijden van bepaalde drempels (informatiedrempels, alarmdrempels). Deze taak is belegd bij het RIVM (smogdienst).

Daarnaast is er het Schone Lucht Akkoord<sup>35</sup>. Het doel van het Schone Lucht Akkoord is om de luchtkwaliteit in Nederland permanent te verbeteren. Het is een akkoord tussen Rijk, provincies en een groot aantal gemeenten. Samen streven de deelnemende partijen naar een gezondheidswinst van minimaal 50 procent in 2030 ten opzichte van 2016.

Door middel van een luchtkwaliteitsindex (ook een verplichting onder de AAQD<sup>36</sup>) informeert de overheid de bevolking permanent over de luchtkwaliteit en hoe deze getypeerd kan worden (variërend tussen goed en slecht, met een aantal tussenstappen). Het EEA levert deze dienst daarnaast voor alle Europese landen. Er zijn geen duidelijke afspraken over de manier waarop landen (en organisaties als het EEA) invulling geven aan de luchtkwaliteitsindex. Nederland pleit voor een harmonisatie van de aanpak, die wat Nederland bij voorkeur gericht zou moeten zijn op het informeren over gezondheidsrisico's bij bepaalde niveaus van luchtkwaliteit.

Over een herziening van gedragsadviezen van de overheid aan de bevolking, die in Nederland gekoppeld zijn aan de luchtkwaliteitsindex, wordt momenteel nagedacht.

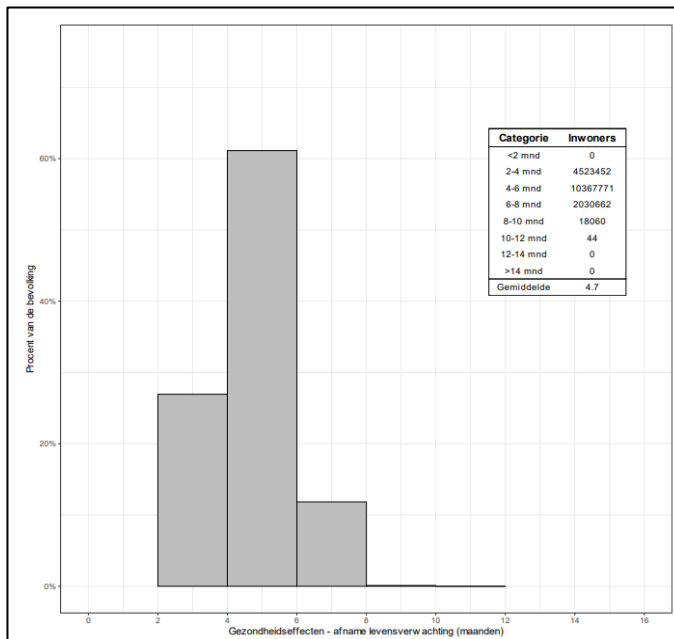
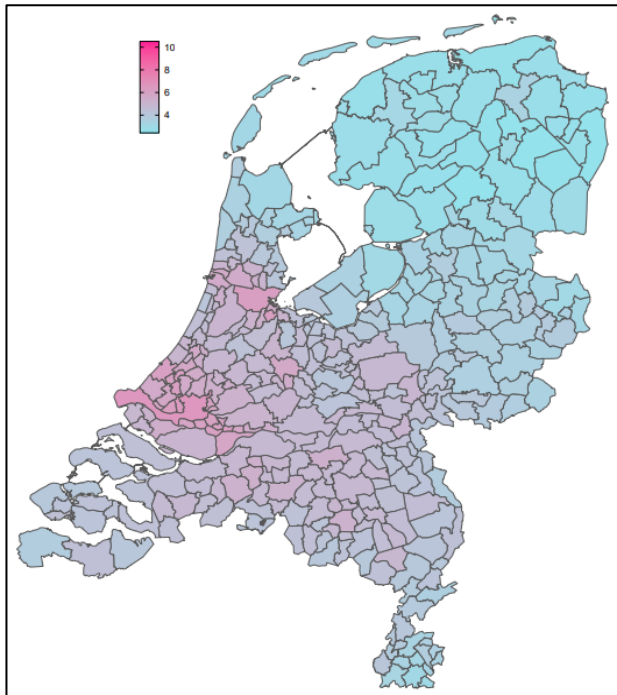
### **Samenhang met andere transities en beleid**

De energietransitie is belangrijk voor een verbetering van de luchtkwaliteit. Behalve als hierbij de focus gaat liggen op biomassa als

<sup>35</sup> <https://www.schoneluchtakkoord.nl/default.aspx>

<sup>36</sup> Ambient Air Quality Directives

alternatieve brandstof. Ook de inzet van andere energiedragers zoals waterstof kunnen een negatief effect hebben op luchtkwaliteit. Bij uitvoering van het beleid zoals doorgerekend in de KEV (klimaat- en energieverkenning) is het gemiddeld levensduurverlies een stuk minder (figuur 5 in vergelijking met figuur 4). Ook beleid voor landbouw en veehouderij, zoals stikstof- en klimaatbeleid, kan zorgen voor vermindering van luchtverontreiniging.



Figuur 4.5 Berekend gemiddeld levensduurverlies in 2030 ten gevolge van de gecombineerde blootstelling aan NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> per gemeente (eerste plaatje) en per woonadres in Nederland (tweede plaatje) bij de uitvoering van het vastgestelde beleid (KEV) (bron: Ruysenaars et al., 2021).



Een effectief beleid voor de aanpak van ozon vergt beleid op minimaal (noordwest) Europees niveau, maar kan verder worden ondersteund door wereldwijde afspraken om bijvoorbeeld de uitstoot van methaan verder aan te pakken, zoals is gebeurd tijdens COP 26 in Glasgow.

Betere Europese voorspellingen van de kortetermijn luchtkwaliteit kunnen ook een rol spelen bij het mitigeren van ozonpieken. Bij betrouwbare kortetermijn verwachtingen zijn desgewenst maatregelen op Europese schaal in te zetten die ozonpieken kunnen beperken of voorkomen. Dit is over het algemeen alleen zinvol wanneer maatregelen op grotere ruimtelijke schaal worden getroffen en enkele dagen voorafgaande aan te verwachten ozonpieken. Hierbij kan er spanning ontstaan tussen kosten (ten gevolge van beperkingen van milieubelastende economische activiteiten) en baten (voorkomen gezondheidseffecten en continueren of (meer) ruimte voor schonere economische activiteiten).

Alternatief hiervoor is de huidige aanpak, waarbij gewaarschuwd wordt in geval de concentraties bepaalde concentratiedrempels worden overschreden. Vooral voor gevoelige groepen zijn gedragsadviezen (bijvoorbeeld het beperken van fysieke inspanningen) ontwikkeld om gezondheidseffecten van episodes te beperken of voorkomen. Deze worden in Nederland gecommuniceerd via de luchtkwaliteitsindex<sup>37</sup>.

### **Internationale aspecten**

De luchtkwaliteit in buurlanden hebben invloed op de Nederlandse luchtkwaliteit (zie blootstelling). En internationaal luchtbeleid zoals hiervoor beschreven heeft ook invloed.

### **Maladaptatie en/of 'lock-ins'**

Het inzetten op alternatieve bronnen van energie die de luchtkwaliteit (extra) negatief beïnvloeden is een gevaar bij de energietransitie.

### **Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid**

Voor luchtkwaliteit is al veel beleid ingezet wat moet zorgen voor positieve gezondheidseffecten. Bij het nemen van adaptatiemaatregelen zoals het planten van bomen kan rekening gehouden met de luchtkwaliteit door bomen langs wegen niet zodanig te plaatsen dat een tunnel van slechte luchtkwaliteit ontstaat onder die bomen.

### **Rechtvaardigheid**

Eerder in deze factsheet is ingegaan op hoogerisicogroepen, waaronder 'hoogblootgestelden' en 'hooggevoeligen'. Eén van de aandachtspunten in het Nederlandse luchtbeleid via het Schone Lucht Akkoord (SLA) is dat iedereen recht heeft op schone lucht. Dit aandachtspunt vergt enerzijds een generieke aanpak, waardoor de blootstelling voor *iedereen* wordt verminderd. Dit leidt op populatieniveau tot de hoogste gezondheidsbaten.

Daarnaast zal voor specifieke gebieden en voor specifieke groepen uit een oogpunt van rechtvaardigheid extra aandacht nodig zijn. Dit vergt maatwerk (extra maatregelen gericht op lagere blootstelling in

<sup>37</sup> <https://www.luchtmeetnet.nl/>

specifieke gebieden; of ruimtelijke maatwerk waardoor er voldoende afstand wordt gecreëerd tussen gevoelige bestemmingen en uitstootbronnen). Op het moment dat de negatieve effecten van klimaatverandering samenvallen met slechtere luchtkwaliteit, kan dit aanleiding zijn voor extra maatregelen om gecombineerde effecten te voorkomen.

(Regionaal) maatwerk uit oogpunt van rechtvaardigheid vergt een politieke afweging, waarbij kosten en batenoverwegingen een rol zullen spelen. Binnen het SLA is er specifiek aandacht voor 'hoogblootgestelden' en 'hooggevoeligen'. Momenteel wordt dat vooral ingevuld door het aanhouden van afstandsnormen voor gevoelige bestemmingen, maar het beleid moet deels nog worden uitgewerkt. Dit gaat dan wel over langetermijn blootstelling.

### **Transparantie, aggregatie en afbakening**

De gegevens voor het vaststellen van de klimaatdreiging zijn gebaseerd op kwantitatieve data, gemeten en gemodelleerd door het KNMI. De gegevens over de blootstelling zijn gebaseerd op kwantitatieve data; metingen en modellen van luchtkwaliteit en literatuuronderzoek. De informatie over gevoeligheid is gebaseerd op kwantitatieve data uit gepubliceerd onderzoek en deels kwalitatief (mensen zijn gevoelig, maar hoe gevoelig is niet altijd te zeggen). De informatie over adaptatiecapaciteit is afhankelijk van de metingen (kwantitatieve data) en op basis hiervan worden gedragsadviezen gegeven die uiteindelijk ook onderbouwd zijn meer kwalitatieve data.

De eindimpact is gebaseerd op modelberekeningen en worden steeds nauwkeuriger naarmate er meer wetenschappelijke inzichten komen. De invloed van klimaatverandering hierop is nog onvoldoende onderzocht.

De waarschijnlijkheid is deels gebaseerd op kwantitatieve data gemeten door het KNMI, maar is moeilijk te voorspellen omdat de luchtkwaliteit van vele factoren afhankelijk is.

### **Kennishiaten**

Er zijn veel kennishiaten op het gebied van de gezondheidseffecten van luchtkwaliteit in relatie met klimaatverandering. Een groot deel van deze kennishiaten is beschreven in het rapport van Van der Ree et al. (2022). De grootste kennishiaten zijn verder in deze factsheet al benoemd.

Meer inzicht is gewenst in de impact van de verandering van klimaat op de vorming van luchtverontreiniging (secundaire aerosolen). Tevens is de impact van klimaatverandering op het vóórkomen van weersomstandigheden die gunstig zijn voor kortetermijnpieken en de effecten van klimaatverandering op die pieken zelf een relevant onderwerp voor studie. Tot slot is meer studie gewenst naar de relatie tussen/samenhang van vervroegde sterfte, hittestress, pollenconcentraties en luchtverontreiniging relevant.

Eerder is ook al benoemd dat RIVM op enkele van de genoemde punten onderzoek gaat doen in de komende jaren.

## **Onzekerheid en betrouwbaarheid**

Over de gezondheidseffecten van luchtkwaliteit is de betrouwbaarheid zeer hoog en de consensus nagenoeg zeker. Er zijn wel (aanzienlijke) onzekerheden rond de vraag welke componenten de belangrijkste effecten veroorzaken. Het gaat dan met name om de vraag welke fijnstof fracties welke effecten veroorzaken; en dus ook de vraag welk beleid het meest effectief is uit oogpunt van het bevorderen van de gezondheid. Vooralsnog zegt de wetenschap dat PM2.5 een goede marker is voor het beleid.

Dat klimaatverandering impact heeft op de luchtkwaliteit, daarvan is de betrouwbaarheid ook zeer hoog en de consensus nagenoeg zeker. Hoe groot deze attributie van klimaatverandering op de impact van gezondheidseffecten door luchtkwaliteit exact is, is nog niet goed bekend.

Het ingezette klimaatbeleid levert in principe positieve gezondheidseffecten op via het verbeteren van de luchtkwaliteit omdat we stoppen met het gebruik van fossiele brandstoffen. Echter is er 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).

## **Expertbeoordeling**

De experts binnen het RIVM zijn betrokken bij onderzoeksvoorstellen en (rapport)publicaties op het thema en zijn op de hoogte van de nieuwste literatuur en onderzoeken. Zowel intern als extern zijn zij betrokken bij diverse werkgroepen en (internationale) samenwerkingen op het thema.

Omdat er veel integraliteit bestaat bij de gezondheidseffecten tussen de thema's is gestreefd om tijdens de expertsessies alle themaexperts (of vervanging) aanwezig te hebben. Ook PBL is regelmatig bij deze sessies aanwezig geweest. Zoals bij de expertsessie om de onzekerheid en betrouwbaarheid vast te leggen.

Alle risicobeoordelingen in deze factsheet zijn gebaseerd op expert judgement, omdat de relatie tussen klimaatverandering, luchtkwaliteit en gezondheidseffecten wel te beredeneren valt, maar (nog) lastig te kwantificeren.

## **Referenties factsheet luchtkwaliteit**

Bongaerts, Eva, Laetitia L Lecante, Hannelore Bové, Maarten B J Roeffaers, Marcel Ameloot, Paul A Fowler, Tim S Nawrot (2022). Maternal exposure to ambient black carbon particles and their presence in maternal and fetal circulation and organs: an analysis of two independent population-based observational studies. *The Lancet Planetary Health*, Volume 6, Issue 10, 2022, Pages e804-e811, ISSN 2542-5196, [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00200-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00200-5).

Brunekreef, Bert, Gerard Hoek, Paul Fischer, Frits Th M Spiekma (2000). Relation between airborne pollen concentrations and daily

cardiovascular and respiratory-disease mortality. The Lancet Research letters. Vol 355. April 29, 2000.

Buijsman, E. (2011) Smog de maat genomen. Een terugblik op smog in Nederland, 1960-2010. LUVU reeks nummer 12

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

Fischer, Paul H., Bert Brunekreef, Erik Lebret, Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands, Atmospheric Environment, Volume 38, Issue 8, 2004, Pages 1083-1085, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.11.010>.

Gezondheidsraad (GR) (2018): Gezondheidswinst door schonere lucht. Den Haag: Gezondheidsraad, 2018; publicatienr. 2018/01

Hall, E.F., R.J.M. Maas, J. Limaheluw, C.D. Betgen (2021). Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering. RIVM Rapport 2020-0200

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.

Jaakkola, Jouni J K, Simo-Pekka Kiihamäki, Simo Näyhä, Niilo R I Rytö, Timo T Hugg, Maritta S Jaakkola, Airborne pollen concentrations and daily mortality from respiratory and cardiovascular causes, European Journal of Public Health, Volume 31, Issue 4, August 2021, Pages 722–724, <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckab034>

KNMI (2021). Klimaatsignaal '21. Hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 pp.

Maas, RJM, J Hoekstra, M Huitema, W de Vries, PG Ruysenaars (2022). Inventarisatie van benodigde maatregelen om WHO-advieswaarden voor luchtkwaliteit in 2030 te realiseren, RIVM-rapport 2022-0094

MSC-W, (2021): Transboundary air pollution by sulphur, nitrogen, ozone and particulate matter in 2019 the Netherlands. Norwegian Meteorological Institute, Data Note 1/2021 ISSN 1890-0003. August 2021.

NIPV (2023). Natuurbrandsignaal '23. Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV).

Ruysenaars, P.G., M.E. Gerlofs-Nijland, J. Hoekstra, M. Huitema, R.J.M. Maas, W. de Vries (2021). Monitoringsrapportage Doelbereik Schone Lucht Akkoord: eerste voortgangsmeting. RIVM-rapport 2021-0114

UNEP (2022a) United Nations Environment Programme. Spreading like Wildfire – The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires. A UNEP Rapid Response Assessment. Nairobi.

Van der Ree, J., C. Betgen, C. Boomsma, A. van Dijk, L. Hall, D. Houweling, J. Limaheluw, K. Rijs (2022) Plan van aanpak Onderzoeksprogramma Klimaatverandering en gezondheidseffecten. RIVM rapport 2022-0030

WHO (2021), WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization; 2021. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Geneva.



## 5 Factsheet Mentale gezondheid

RIVM expert: C. Boomsma, redactie: C.D. Betgen

*Het risico op negatieve mentale gezondheidseffecten bestaat uit de dreiging op acute, subacute of langetermijneffecten door extreem weer, stijgende temperaturen en overstromingen en algehele stijging van broeikasgassen in de atmosfeer.*

### Inleiding

Mentale gezondheid is 'een toestand van welzijn waarin het individu zijn of haar eigen capaciteiten realiseert, de normale spanningen van het leven aankan, productief en vruchtbaar kan werken en in staat is om een bijdrage te leveren aan zijn of haar gemeenschap' (WHO, 2022). Het gaat zowel om het ontbreken van psychische stoornissen als om breder mentaal welbevinden. De relatie tussen mentale gezondheid en klimaatverandering is pas recentelijk meer onderzocht. Uit onderzoek blijkt dat klimaatverandering uiteenlopende gevolgen voor de mentale gezondheid kan hebben (Sciberras en Fernando, 2022; Ma et al., 2022; Charlson et al., 2022; Palinkas & Wong, 2020; Lawrance et al., 2021; Berry et al., 2010). In de Nederlandse context is onderzoek rondom dit onderwerp nog beperkt (Van der Ree et al, 2022). De WHO heeft de relatie tussen klimaatverandering en mentale gezondheid als prioritaire actie benoemd omdat er in veel landen nog te weinig aandacht voor is<sup>38</sup>.

### Klimaatdreiging

Alle klimaatdreigingen zijn gerelateerd aan het mogelijk optreden van mentale gezondheidsrisico's. Maar de belangrijkste zijn: het wordt warmer, overstromingsrisico's, extreem weer en de algehele stijging van broeikasgassen in de atmosfeer.

Als er wordt gekeken naar de relatie tussen mentale gezondheid en klimaatverandering wordt er vaak onderscheid gemaakt tussen de effecten van acute gebeurtenissen of rampen gerelateerd aan extreem weer (overstromingen, bosbranden); subacute of langetermijnveranderingen (droogteperiodes); en de algehele dreiging van klimaatverandering (Palinkas & Wong, 2020).

Mentale gezondheidseffecten kunnen dus voortkomen uit één traumatische gebeurtenis, maar ook het jaar in jaar uit meemaken van langdurige veranderingen. Een hogere temperatuur kan bijvoorbeeld zorgen voor meer agressie bij mensen, ziekenhuisopnamen voor mentale klachten en suïcide (Thompson et al., 2018).

Mentale gezondheidseffecten kunnen direct zijn, doordat men zelf de gevolgen van klimaatverandering meemaakt. Maar de effecten kunnen ook indirect zijn, doordat men zich bewust is van, of getuige is van, de effecten van klimaatverandering (zonder dit uit de eerste hand mee te maken) (Lawrance et al., 2021). Voor het laatste wordt soms ook de

<sup>38</sup> <https://www.who.int/news/item/03-06-2022-why-mental-health-is-a-priority-for-action-on-climate-change>

term 'climate anxiety' gebruikt (in het Nederlands soms aangeduid al 'klimaatangst' of 'klimaatdepressie'), dit zijn zorgen over de huidige en toekomstige gevolgen van klimaatverandering, de onzekerheid van de timing en locatie van deze gevolgen, en een gebrek aan actie om (gevolgen van) klimaatverandering aan te pakken (Clayton, 2020). Daarnaast kunnen (verwachte) veranderingen in de leefomgeving door klimaatverandering ook leiden tot gevoelens van verdriet, stress en rouw (ook wel solastalgia of ecological grief genoemd; Lawrence et al., 2021; WHO, 2022; Hwong et al., 2022). Wereldwijd onderzoek laat zien dat veel kinderen en jongvolwassen zich zorgen maken om klimaatverandering (Hickman et al., 2021), maar ook onder volwassenen en ouderen komen zorgen voor. Uit recent CBS-onderzoek (CBS, 2023) is geconcludeerd dat 76% van de Nederlanders van 18 jaar of ouder zich zorgen maakt over de gevolgen van klimaatverandering voor toekomstige generaties. In dit onderzoek maakten ouderen zich vaker zorgen dan jongeren. Deze zorgen kunnen doorwerken op de mentale gezondheid van mensen.

#### *Frequentie*

Klimaatverandering zorgt voor steeds extremer weer (KNMI, 2021). De verwachting is dat de frequentie van extreem weer omhoog gaat. Dit betekent dat voor zowel acute (bijvoorbeeld hittegolven) als subacute gebeurtenissen (bijvoorbeeld droogte) de frequentie toeneemt en daarom is de verwachting dat ook de frequentie van mentale gezondheidseffecten toeneemt. En met de toenemende zichtbaarheid van de gevolgen van klimaatverandering (IPCC, 2023), is de verwachting dat ook het aantal mensen met zorgen over klimaatverandering (zoals climate anxiety) toeneemt (Heeren & Asmundson, 2023). Zo is het deel van de Nederlanders dat zich in het CBS-onderzoek uit 2023 veel zorgen over klimaatverandering maakt iets gestegen ten opzichte van 2020 (CBS, 2023). Maar uitgebreide gegevens over de ontwikkeling (tot nu toe, en vooruitkijkend) van de mentale gezondheidseffecten van klimaatverandering ontbreken.

#### **Secundaire effecten**

Er zijn diverse secundaire effecten te verwachten bij klimaatgerelateerde mentale gezondheidsproblemen. Denk aan arbeidsverlies of sociaal isolement.

#### **Blootstelling**

Er kan sprake zijn van directe of indirecte blootstelling. Directe blootstelling gaat om het zelf meemaken van extreem weer (bijvoorbeeld de inwoners van Valkenburg tijdens de overstroming van de Geul in 2021). Indirecte blootstelling gaat over het observeren van extreem weer elders (Nederlanders die op het nieuws lezen over de overstroming van de Geul). Voor directe blootstelling is er binnen Nederland ruimtelijke onderscheid te maken in kans op bepaalde extreem weer gebeurtenissen. Natuurgebieden, waaronder duinen en bossen zijn vooral gevoelig voor bosbranden en dorpen en steden langs rivieren zijn kwetsbaar wat betreft overstromingen vanuit de rivier door hoge afvoer. Maar voor veel extreem weer gebeurtenissen valt niet te voorspellen waar de kans op blootstelling groter is, aangezien stormen of valwinden met schade tot gevolg overal in Nederland kunnen



optreden. Subacute of langetermijnveranderingen kunnen nog gebonden zijn aan regio's gevoeliger voor droogte en zeespiegelstijging. De algehele dreiging van klimaatverandering is niet direct gebonden aan bepaalde regio's in Nederland.

Blootstelling aan hitte is wel iets meer locatiegebonden. Vanwege hogere temperaturen in steden (met name 's nachts) zouden deze gezondheidseffecten een meer stedelijke component kunnen hebben.

Voor indirecte blootstelling (bijvoorbeeld via (sociale) media) valt geen onderscheid te maken in bepaalde regio's in Nederland waar kans op blootstelling groter is. Het kan hier ook gaan over indirecte blootstelling aan klimaatdreigingen buiten Nederland. De verwachting is wel dat als de blootstelling dichterbij is de impact ook groter is.

### **Gevoeligheid**

De WHO (2022) onderscheidt vijf factoren die personen kwetsbaar maken voor gevolgen op de mentale gezondheid door klimaatverandering: gezondheidsfactoren (chronische gezondheidsklachten, lichamelijke handicaps, reeds bestaande psychische aandoeningen); socio-economische factoren (armoede, onzekere huisvesting en werkomstandigheden); demografische factoren (leeftijd, geslacht, etniciteit); geografische factoren (gebieden kwetsbaar voor extreem weer); en sociaal-politieke factoren (gender, gediscrimineerde groepen).

Attitudes over klimaatverandering kunnen ook bijdragen aan de gevoeligheid. Waarschijnlijk zijn mensen die niet erkennen dat het klimaat verandert (en/of denken dat de gevolgen van klimaatverandering klein zijn) minder gevoelig voor sommige mentale gezondheidseffecten (met name gerelateerd aan de algehele dreiging van klimaatverandering). Onderzoek laat zien dat als mensen erkennen dat het klimaat verandert onder invloed van de mens, en zij denken dat dit negatieve gevolgen zal hebben, zij zich meer zorgen maken over klimaatverandering. Over het gehele politieke spectrum zijn er zorgen wanneer de mens als oorzaak van klimaatverandering wordt erkend en dus veroorzaker van de negatieve gevolgen. Deze relatie is echter minder sterk voor mensen die zich rechts van het politieke spectrum bevinden (Gregersen et al., 2020). Het is nog niet bekend of (sub)acute klimaatdreigingen (bijvoorbeeld extreem weer, of stijgende temperaturen) een groter effect op de mentale gezondheid hebben als mensen deze gebeurtenissen attribueren aan klimaatverandering.

### **Adaptatiecapaciteit**

De vele indirecte en latente effecten en contextfactoren bemoeilijkt onderzoek naar de relatie tussen klimaatverandering en mentale gezondheid, en de stappen die kunnen worden genomen om de gevolgen van klimaatverandering op de mentale gezondheid te verminderen (Van der Ree et al., 2022). Onderzoek naar weerbaarheid (van individuen en groepen) in de context van mentale gezondheidsgevolgen van klimaatverandering begint toe te nemen. Hieronder staan een aantal voorbeelden:

- Wanneer mensen vertrouwen krijgen in het feit dat ze zelf een rol kunnen spelen in het voorbereiden op en tegengaan van klimaatverandering worden ze ook weerbaarder tegen de psychische gevolgen van klimaatverandering. Het communiceren van specifieke oplossingen en het benadrukken van co-benefits (bijvoorbeeld over de eigen gezondheidswinst door meer fietsen of minder vlees eten) kan hierbij helpen (Clayton et al., 2014).
- Jongeren ervaren meer stress als zij het gevoel hebben dat de overheid niet voldoende doet tegen klimaatverandering. De verwachting is dat klimaatstress onder jongeren af kan nemen als de overheid naar de zorgen van jongeren luistert en deze serieus neemt, en zich actief inzet tegen klimaatverandering en dit ook naar buiten uitdraagt (Hickman et al., 2021).
- Meer voorbeelden zijn te vinden in: Doherty, 2018; Lawrence et al., 2021; Longman et al., 2023.

Buiten de klimaatcontext is er veel onderzoek gedaan naar effectieve interventies en beleidsmaatregelen ten behoeve van de mentale gezondheid in de samenleving<sup>39</sup>.

### **Impact**

De gevolgen voor de mentale gezondheid en het emotionele welzijn kunnen zich uiten als, o.a. verhoogde angst en stress, depressie- en angststoornissen, posttraumatische stressstoornis, slaapproblemen, toename in agressief gedrag, gevoel van angst en spanning voor de toekomst en suïcide (Palinkas & Wong, 2020).

Desondanks is er tot op heden, vergeleken met de fysieke gezondheid, weinig aandacht voor de impact van klimaatverandering op de mentale gezondheid in de maatschappij, onderzoek en beleid (Palinkas & Wong, 2020; Lawrence et al., 2021; Berry et al., 2010). Er wordt wel af en toe onderzoek gedaan waarbij eenmalig wordt gevraagd welke zorgen er rondom het klimaat leven. Uit onderzoek is geconcludeerd dat 65% van de Nederlanders zich zorgen maakt om het klimaat (TNO, 2022). Deze zorgen werken door op de mentale gezondheid en het emotionele welzijn van mensen. Een ruime meerderheid van de jongeren (70%) maakt zich zorgen over klimaatverandering. En ook één op de vijf jongeren zegt regelmatig tot vaak stress te ervaren als ze aan de klimaatcrisis denken. Dit zijn voor het laatste deel met name jonge jongeren (16-24 jaar) en jongeren die hoogopgeleid zijn (IPSOS, 2023).

Deze onderzoeken zijn onder relatief kleine groepen gedaan, maar laten wel zien dat de percentages van zorgen en stress hoog liggen. Uit recent CBS-onderzoek (CBS, 2023) is geconcludeerd dat 76% van de Nederlanders van 18 jaar of ouder zich zorgen maakt over de gevolgen van klimaatverandering voor toekomstige generaties waarbij ouderen zich meer zorgen maken dan jongeren.

Het lijkt alsof meer mensen extreem weer meemaken en/of meekrijgen in de media (zoals in de zomer van 2023; bosbranden, overstromingen, storm) wat als stressor kan dienen.

<sup>39</sup> <https://www.rivm.nl/documenten/effectieve-interventies-en-beleid-mentale-gezondheid-en-preventie>

Bij de zorgregistraties in Nederland wordt echter (nog) niet bijgehouden welke mentale gezondheidsklachten gerelateerd zijn aan klimaatverandering, dus exacte getallen over de prevalentie ontbreken. Over het voorkomen van psychische aandoeningen<sup>40</sup> zijn cijfers bekend. Het percentage volwassen Nederlanders (18-64 jaar) met een psychische aandoening in de afgelopen 12 maanden is in de afgelopen 12 jaar fors toegenomen. Namelijk van 17% in 2007-2009 naar ruim een kwart (26%) in 2019-2022<sup>41</sup>. De coronapandemie lijkt geen invloed te hebben op deze cijfers. Het RIVM monitort sinds september 2021 elk kwartaal de bredere mentale gezondheid<sup>42</sup> van jongeren en volwassenen, waarbij de coronapandemie de oorspronkelijke aanleiding was. Specifiek bij jongeren zit nog geen verbetering in de mentale gezondheid ondanks het wegvallen van de coronamaatregelen<sup>43</sup>. En ook bij volwassenen wordt nog weinig verbetering gezien. Het is niet bekend wat hier de oorzaak van is.

Klimaatverandering heeft een significante impact op de mentale gezondheid op meerdere facetten. De verwachting is dat er een toename zal zijn in de behoefte aan geestelijke gezondheidszorg als gevolg van klimaatverandering (Lawrance et al., 2021). Voorbeelden kunnen zijn: verlies van werk, verbreken van relaties en toename gebruik medicijnen. Dit zijn neerwaartse spiraal gevolgen wat invloed heeft op het zorgsysteem en op de economie.

Mogelijke indicatoren (bron):

*Acute gebeurtenissen*

- Psychische klachten na een natuurramp (RIVM-vragenlijst);
- Opgetreden gezondheidsklachten en – problemen voor en na noodweer en zorggebruik voor en na noodweer (NIVEL).

*Subacute gebeurtenissen*

- Sentiment op social media gedurende hittegolven (Lancet);
- Temperatuurstijging/hitte in relatie tot ziekenhuisopnames voor mentale klachten.

*Algehele dreiging klimaatverandering*

Indicatoren uit diverse monitoring van mentale gezondheid (gezondheidsenquête CBS, gezondheidsmonitor CBS, GGD, RIVM).

**Cascade-effecten**

Vrijwel alle bedreigingen voor de fysieke gezondheid die linken aan klimaatverandering hangen samen met negatieve effecten voor de mentale gezondheid (Lawrance et al., 2021). Dit kan bijvoorbeeld doorwerken in de zorgsector (extra doktersbezoeken, ziekenhuisopnames, medicijnen) en in de economie (arbeidsverlies).

Mogelijk zijn individuen of groepen die kwetsbaar zijn voor negatieve mentale gezondheidseffecten van klimaatverandering ook kwetsbaar

<sup>40</sup> Iemand heeft enige psychische aandoening als er één of meerdere van de volgende aandoeningen aanwezig is: stemmings-, angst-, middenstoornissen of ADHD.

<sup>41</sup> <https://www.trimbos.nl/kennis/cijfers/psychische-gezondheid-ggz/>

<sup>42</sup> De monitor mentale gezondheid kijkt naast psychische aandoeningen, ook naar mentaal welbevinden en mentale problemen

<sup>43</sup> <https://www.rivm.nl/nieuws/geen-verbetering-in-mentale-gezondheid-jongeren>

voor andere gezondheidseffecten van klimaatverandering. Deze relatie zou omgekeerd ook aanwezig kunnen zijn. Dus een kwetsbaarheid voor fysieke gezondheidseffecten zou een factor kunnen zijn die mensen ook kwetsbaar maakt voor mentale gezondheidseffecten. Het is dus van belang om te kijken op welke plekken en bij welke personen kwetsbaarheden samenvallen, en waar een fysieke kwetsbaarheid wellicht ook voor een mentale kwetsbaarheid zou kunnen zorgen (Van der Ree et al., 2022).

Een voorbeeld van een cascade-effect dat kan optreden in relatie met klimaatverandering is dat een verslechtering van de luchtkwaliteit gedurende een hittegolf kan leiden tot ziekte wat vervolgens leidt tot uitval op werk wat op zijn beurt kan zorgen voor stress wat vervolgens kan leiden tot mentale gezondheidsproblemen (WHO, 2022). Ook de hoge temperatuur op zichzelf tijdens een hittegolf kan zorgen voor concentratieproblemen wat stress veroorzaakt waardoor mensen kunnen uitvallen op werk. Ook dit kan weer leiden tot acute negatieve effecten op de mentale gezondheid.

### **Eindimpact: mens**

In de afgelopen jaren is een stijgende trend te zien in mentale gezondheidsklachten. Wat het aandeel van klimaatverandering hierin is, is nog niet genoeg onderzocht. Klimaatverandering zou voor nieuwe mentale gezondheidsklachten kunnen zorgen. Het zou ook bestaande klachten kunnen verergeren. Mentale gezondheidsklachten zijn een uitwerking van acute gebeurtenissen, subacute/langetermijn gebeurtenissen en de algehele dreiging van klimaatverandering. Van wat bekend is over hoeveel mensen zich zorgen maken en over de relaties op de korte- en langetermijn categorieën en mentale gezondheid, is het plausibel dat de impact van klimaatverandering voor de mentale gezondheid hoog is (>100.000 getroffen mensen). Een mens valt al snel onder de categorie getroffen, al bij angst of stress, waarvoor men zeker niet meteen naar een dokter zal gaan en dus veelal ongeregistreerd kan blijven. Aan de andere kant is angst of stress ook niet meteen aanleiding tot (blijvende) mentale gezondheidsproblemen.

Meer onderzoek is vooral nodig, omdat het ook belangrijk is om de mentale gezondheidseffecten van de verschillende termijnen uit elkaar te halen. Wie bijvoorbeeld acuut een ramp meemaakt kan daar op het moment zelf klachten aan ondervinden, maar ook op de langetermijn klachten aan overhouden.

### **Eindrisico: economie**

Zoals eerder genoemd is de verwachting dat er een toename zal zijn in de behoefte aan geestelijke gezondheidszorg als gevolg van klimaatverandering (Lawrance et al., 2021). Voorbeelden kunnen zijn, verlies van werk, verbreken van relaties en toename gebruik medicijnen. Dit zijn neerwaartse spiraal gevolgen wat invloed heeft op het zorgsysteem en op de economie.

Een betere mentale gezondheid leidt tot een afname van zorgkosten en minder verzuim op werk (RIVM, 2022a). Als de mentale gezondheid van een miljoen volwassenen met vijf procent verbetert, kan dit €144

miljoen besparen. Andersom is het logisch dat als de mentale gezondheid verslechtert dit ook zorgt voor hogere kosten. Deze cijfers geven een indicatie en gelden voor de algehele mentale gezondheid status van Nederlanders en zijn niet specifiek gerelateerd aan mentale gezondheidsproblemen door klimaatverandering. Hiervoor is meer onderzoek nodig.

De geschatte eindimpact op de economie is middel (€ 100 miljoen – 1 miljard euro).

### **Waarschijnlijkheid**

De waarschijnlijkheid dat acute klimaatdreigingen zich voordoen zoals extreem weer is eens per jaar of vaker. Omdat extreem weer vaak lokaal tot hevige situaties kan leiden (bijvoorbeeld overstromingen en valwinden) is de waarschijnlijkheid dat elke Nederlander hiermee eens per jaar of vaker mee wordt geconfronteerd kleiner en is de huidige waarschijnlijkheid eerder eens per 100 jaar tot eens per 10 jaar. De verwachting dat extreem weer vaker voor gaat komen door klimaatverandering leidt ook tot een verhoging in waarschijnlijkheid. Voor hittegolven en aanverwante mentale gezondheidsproblemen geldt een waarschijnlijkheid van eens per 10 jaar tot eens per jaar.

Van subacute klimaatdreigingen zoals een langere periode van droogte is de afgelopen jaren vaak sprake van geweest (2018, 2019, 2020, 2022). Neerslagtekorten met droogte als gevolg treden op met een waarschijnlijkheid van eens per 10 jaar tot eens per jaar. De subacute mentale gezondheidsproblemen zullen dezelfde waarschijnlijkheid volgen.

Aan mentale gezondheidseffecten door de algemene dreiging van klimaatverandering is geen waarschijnlijkheid te koppelen. De dreiging is er altijd, maar zal op dagelijkse basis in verschillende hevigheid worden aangewakkerd door bijvoorbeeld berichtgeving in de media.

### **Wildcards & kantelpunten**

Extreem weer met als gevolg een overstroming en/of flinke schade of grote maatschappelijke ontwrichting is een wildcard die kan gebeuren. De extreme neerslag die in de zomer van 2021 ervoor zorgde dat het Geuldal in Limburg overstroomde heeft voor veel schade gezorgd. Woningen werden onbewoonbaar en veel winkelpanden hebben grote schade geleden. Een beperkt aantal mensen zijn direct met de angst van de overstroming en (financiële) gevolgen geconfronteerd wat ongetwijfeld ook een impact had op de mentale gezondheid. Zuid-Limburg is een redelijk dunbevolkt gebied. De impact van extreem weer in de Randstad raakt veel meer mensen en zorgt ook voor meer schade gevolgd door financiële zorgen en angstgevoelens. En dus een hogere impact op de mentale gezondheid.

Instabiliteit in de wereld (zoals oorlog en conflicten en migratie) en (financiële) crisissen kunnen extra bijdragen aan negatieve mentale gezondheid.

## Bestuurlijke situatie

In Nederland is de huisarts verantwoordelijk voor de behandeling van lichte psychische klachten. Mensen met matige tot zware psychische klachten en problemen worden doorverwezen naar de basis-ggz of gespecialiseerde ggz<sup>44</sup>. De ggz staat voor geestelijke gezondheidszorg. In 2022 is een voorstel (RIVM, 2022b) gemaakt om mentale gezondheid onderdeel te laten worden van het Nationaal Preventieakkoord<sup>45</sup>. Dit komt vanwege de gedeelde urgentie die landelijke partijen voelen om meer aan preventie te doen bij mentale gezondheid. De druk op de ggz is namelijk zeer groot, mede door de druk op de algehele zorg, een toename van ervaren druk op werk en school en de gevolgen van de coronapandemie. Naast de ggz zijn er diverse partijen betrokken bij het thema mentale gezondheid, zoals het RIVM, het Trimbos-instituut en GGD-en.

Op klimaatverandering en mentale gezondheid is recent vanuit een groep psychologen de stichting Klimaatpsychologie<sup>46</sup> opgericht die zowel mensen helpt met mentale gezondheidsproblemen rondom het thema klimaat én psychologen opgeleid om mensen te helpen.

## Samenhang met andere transities en beleid

Het klimaatbeleid en de energietransitie en hebben samenhang met de mentale gezondheid. Eerder is al genoemd dat als het klimaatbeleid niet snel genoeg gaat dit voor jongeren stress kan opleveren. Een overheid die een goed en snel klimaatbeleid hanteert zou een positief effect op de mentale gezondheid kunnen hebben.

De energietransitie kan naast positieve gezondheidseffecten ook zorgen opleveren. Bij het RIVM wordt gestart met onderzoek naar de effecten van energietransitie maatregelen in woningen, waaronder het effect op mentale gezondheid. Maar ook verandering in het landschap zoals het plaatsen van windmolens kan een negatief effect op de mentale gezondheid hebben. Ook het transport van gevaarlijke stoffen in de leefomgeving als onderdeel van de energietransitie waar mensen niet bekend mee zijn kan zorgen toe laten nemen (denk aan ammoniak en/of waterstof).

Het woningtekort waardoor de overheid misschien overgaat op bouwen in gebieden kwetsbaar voor overstromingen kan ook de mentale gezondheid van de mensen die daar wonen beïnvloeden.

## Internationale aspecten

Er zijn niet direct extra gevoeligheden of afhankelijkheden vanuit het buitenland te benoemen. Het is wel mogelijk dat (gepercipieerde) gevolgen van klimaatverandering in het buitenland (bijvoorbeeld overstromingen of bosbranden in andere landen) invloed hebben op de zorgen die mensen in Nederland hebben over klimaatverandering. Ook kan de ontwikkeling van het wereldwijde klimaatbeleid bijdragen aan eerdergenoemde climate anxiety. Daarnaast kan klimaatverandering leiden tot een toename in internationale conflicten (WHO, 2022),

<sup>44</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/geestelijke-gezondheidszorg/basis-ggz-en-gespecialiseerde-ggz>

<sup>45</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/gezondheid-en-preventie/nationaal-preventieakkoord>

<sup>46</sup> <https://www.klimaatpsychologie.com/>

bijvoorbeeld door een toename in internationale migratie als gevolg van klimaatverandering. Het is mogelijk dat dit ook bijdraagt aan climate anxiety.

### **Maladaptatie en/of 'lock-ins'**

Er is onvoldoende kennis op dit onderwerp om een eenduidige uitspraak te kunnen doen over mogelijke maladaptatie en/of lock-ins. Een voorbeeld van zouden kunnen zijn woningbouw op plekken die niet klimaatbestendig zijn. Mogelijk kunnen mensen mentale gezondheidsproblemen krijgen omdat ze ervan bewust worden/zijn dat hun huis bijvoorbeeld in een potentieel overstromingsgebied ligt.

### **Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid**

In veel gemeenten wordt adaptatiebeleid al opgepakt. Door adaptatiemaatregelen te koppelen aan verbetering van de mentale gezondheid geeft het nog een extra argument mee om adaptatiemaatregelen door te voeren waar nog overtuiging nodig is. De WHO (2022) pleit er onder andere voor om klimaatverandering mee te nemen in programma's en beleid rondom mentale gezondheid. Hier liggen kansen om samen te werken met programma's rondom rampen(voorbereiding). Ook adviseert de WHO om mentale gezondheid goed te integreren in programma's en beleid rondom klimaatverandering en gezondheid.

### **Rechtvaardigheid**

Zoals beschreven onder gevoeligheid zijn er diverse factoren die personen kwetsbaar maken voor mentale gezondheidsproblemen door klimaatverandering. Vaak is er sprake van een combinatie van omstandigheden. Mensen die al in een kwetsbare groep vallen wonen vaak ook nog in een slecht geïsoleerd huis in de stad. Hierdoor worden ze extra geconfronteerd met de gevolgen van klimaatverandering wat sneller tot mentale gezondheidsproblemen kan zorgen.

Het zou rechtvaardig zijn als adaptatiemaatregelen (in de openbare ruimte) om de temperatuur te verlagen in eerste instantie worden toegepast in de wijken waar de meest kwetsbare mensen wonen. Ook subsidies voor het klimaatbestendiger maken van woningen zouden moeten landen bij de mensen die het nu niet kunnen betalen. Dit hangt ook samen met het de verdeling van de klimaatkosten van het WRR (2023).

### **Transparantie, aggregatie en afbakening**

De gegevens voor het vaststellen van de klimaatdreiging zijn gebaseerd op kwantitatieve data, gemeten en gemodelleerd door het KNMI. De relatie tussen mentale gezondheid en klimaatverandering is gebaseerd op kwantitatieve data uit gepubliceerd onderzoek. De gegevens over de blootstelling zijn grotendeels gebaseerd op kwantitatieve data, gemeten door het KNMI en uit gepubliceerd onderzoek. De informatie over gevoeligheid is gebaseerd op kwantitatieve data uit gepubliceerd onderzoek en deels een kwalitatieve interpretatie van die data. De informatie rondom adaptatiecapaciteit is vooral gebaseerd op kwalitatieve data (interviews en perceptie onder mensen). De impact op mentale gezondheid is vaak niet direct aan klimaatverandering te

relateren (zie kennishiaten). Onderzoek hiernaar is met name kwalitatief en interpretatie van kwantitatieve data.

De eindimpact op de mens is gebaseerd op kwalitatieve data uit interviews. De schatting van het eindrisico op de economie is op basis van kwantitatieve data over zorgkosten.

De waarschijnlijkheid is gebaseerd op kwantitatieve data gemeten door het KNMI. De vertaling naar mentale gezondheidseffecten is een schatting gebaseerd op die data.

### **Kennishiaten**

Er zijn veel kennishiaten op het gebied van mentale gezondheidseffecten in relatie met klimaatverandering. Een groot deel van deze kennishiaten is beschreven in het rapport van Van der Ree et al. (2022). In dit factsheet zijn er daarnaast ook enkele benoemd. De vele indirecte en latente effecten en contextfactoren bemoeilijkt onderzoek naar de relatie tussen klimaatverandering en mentale gezondheid, en de stappen die kunnen worden genomen om de gevolgen van klimaatverandering op de mentale gezondheid te verminderen (Van der Ree et al., 2022).

Uitgebreide gegevens over de ontwikkeling (tot nu toe, en vooruitkijkend) van de mentale gezondheidseffecten van klimaatverandering ontbreken. Bij de zorgregistraties in Nederland wordt niet bijgehouden welke mentale gezondheidsklachten gerelateerd zijn aan klimaatverandering, dus exacte getallen over de prevalentie ontbreken. Mentale klachten hebben vaak meerdere determinanten (klimaatverandering is niet de enige veroorzakende factor) en daarom is het onwaarschijnlijk dat die data er ook komt.

Welke specifieke klimaatdreigingen vooral bijdragen aan mentale gezondheidsrisico's is niet bekend. Ook is niet bekend of (sub)acute klimaatdreigingen (bijvoorbeeld extreem weer, of stijgende temperaturen) een groter effect op de mentale gezondheid hebben als mensen deze gebeurtenissen attribueren aan klimaatverandering.

Veel cijfers geven een indicatie en gelden voor de algehele mentale gezondheid status van Nederlanders en zijn niet specifiek gerelateerd aan mentale gezondheidsproblemen door klimaatverandering. Hiervoor is meer onderzoek nodig.

Er wordt veel onderzoek gedaan waarbij zorgen over klimaatverandering wordt gemeten, maar wat dit voor relatie heeft met verder mentale gezondheidseffecten is nog niet genoeg onderzocht. Ook is het van belang om te kijken waar kwetsbaarheden overlappen en waar een fysieke kwetsbaarheid wellicht ook voor een mentale kwetsbaarheid zou kunnen zorgen (Van der Ree et al., 2022).

### **Onzekerheid en betrouwbaarheid**

Tijdens de expertsessie met PBL is geconcludeerd dat mentale gezondheid in relatie met klimaatverandering een opkomend veld is waar momenteel steeds meer onderzoek naar wordt gedaan. In Nederland is er nog beperkt onderzoek gedaan. Dat er een link is, is



waarschijnlijk, maar een directe link is moeilijk te scheiden van andere factoren die invloed hebben op de mentale gezondheid. Er zijn bijvoorbeeld geen getallen op basis waarvan een betrouwbaarheids categorie kan worden bepaald. De bewoording in de genoemde literatuur gaat echter wel uit van een (vrij) grote mate van zekerheid dat de effecten op de mentale gezondheid van invloed gaan zijn.

Op basis van ons onderzoek concluderen we dat de betrouwbaarheid over de mentale gezondheidseffecten van klimaatverandering gemiddeld is. De onzekerheid is waarschijnlijk.

### **Expertbeoordeling**

De experts binnen het RIVM zijn betrokken bij onderzoeksvoorstellen en (rapport)publicaties op het thema en zijn op de hoogte van de nieuwste literatuur en onderzoeken. Zowel intern als extern zijn zij betrokken bij diverse werkgroepen en (internationale) samenwerkingen op het thema. Voor dit factsheet is er dan ook veel gebruik gemaakt van expert judgement.

Omdat er veel integraliteit bestaat bij de gezondheidseffecten tussen de thema's is gestreefd om tijdens de expertsessies alle themaexperts (of vervanging) aanwezig te hebben. Ook PBL is regelmatig bij deze sessies aanwezig geweest. Zoals bij de expertsessie om de onzekerheid en betrouwbaarheid vast te leggen.

### **Referenties factsheet mentale gezondheid**

Berry, H. L., Bowen, K., & Kjellstrom, T. (2010). Climate change and mental health: a causal pathways framework. *International journal of public health*, 55(2), 123-132

CBS (2023). Klimaatverandering en energietransitie. Opvattingen en gedrag van Nederlanders in 2023.

Charlson, F., Ali, S., Augustinavicius, J., Benmarhnia, T., Birch, S., Clayton, S., ... & Massazza, A. (2022). Global priorities for climate change and mental health research. *Environment international*, 158, 106984.

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

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

Doherty, T. J. (2018). Individual impacts and resilience. In *Psychology and climate change* (pp. 245-266). Academic Press.

Gregersen Thea, Doran Rouven, Böhm Gisela, Tvinnereim Endre, Poortinga Wouter (2020). Political Orientation Moderates the Relationship Between Climate Change Beliefs and Worry About Climate Change. *Frontiers in Psychology*, 11, 2020, doi 10.3389/fpsyg.2020.01573.

Heeren, A., & Asmundson, G. J. (2022). Understanding climate anxiety: What decision-makers, health care providers, and the mental health community need to know to promote adaptive coping. *Journal of Anxiety Disorders*, 102654.

Hickman, C., Marks, E., Pihkala, P., Clayton, S., Lewandowski, R., Mayall, E., Wray, B., Mellor, C., Susteren, L van (2021). Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: a global survey. *Lancet Planet Health* 2021;5: e863-73

Hwong, A. R., Wang, M., Khan, H., Chagwedera, D. N., Grzenda, A., Doty, B., ... & Compton, W. M. (2022). Climate change and mental health research methods, gaps, and priorities: a scoping review. *The Lancet Planetary Health*, 6(3), e281-e291.

IPSOS (2023). Grotere klimaatzorgen voor de generatie van morgen. Rapport voor Milieudefensie Jong. Project: 22087361.

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

KNMI (2021). Klimaatsignaal '21. Hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 pp.

Lawrance, D. E., Thompson, R., Fontana, G., Jennings, D. N. (2021). The impact of climate change on mental health and emotional wellbeing: current evidence and implications for policy and practice. Grantham Institute. Briefing paper No 36, May 2021

Longman, J., Braddon, M., Verlie, B., Schlosberg, D., Hampshire, L., Hawke, C., ... & Saurman, E. (2023). Building resilience to the mental health impacts of climate change in rural Australia. *The Journal of Climate Change and Health*, 12, 100240.

Ma, T., Moore J., Cleary, A. (2022). Climate change impacts on the mental health and wellbeing of young people: A scoping review of risk and protective factors. *Social Science & Medicine* 301 (2022), 114888. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2022.114888>

Palinkas, L. A., & Wong, M. (2020). Global climate change and mental health. *Current opinion in psychology*, 32, 12-16.

RIVM (2022a). Effectieve interventies en beleid mentale gezondheid en preventie. Een overzicht van kansen en mogelijkheden per levensfase & economische baten

RIVM (2022b). Landelijke en lokale ambities mentale gezondheid en preventie. Verdiepende consultaties voor het thema mentale gezondheid in Nationaal Preventieakkoord.

Sciberras E. & J.W. Fernando (2022). Climate change-related worry among Australian adolescents: an eight-year longitudinal study. *Child and Adolescent Mental Health* 27, No. 1, 2022, pp. 22–29.

Thompson, R., R. Hornigold, L. Page, T. Waite (2018). Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes: a systematic review, *Public Health*, Volume 161, 2018, Pages 171-191, ISSN 0033-3506, <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.06.008>

TNO (2022). Burgers over klimaatbeleid. Melanie Klösters, Geerte Paradies, Luise Schlindwein en Anika Batenburg. TNO 2022 P10568.

Van der Ree, J., C. Betgen, C. Boomsma, A. van Dijk, L. Hall, D. Houweling, J. Limaheluw, K. Rijs (2022). Plan van aanpak Onderzoeksprogramma Klimaatverandering en gezondheidseffecten. RIVM-rapport 2022-0030

WHO (2022). Mental health and climate change: policy brief. World Health Organization. ISBN: 9789240045125

WRR (2023). Rechtvaardigheid in klimaatbeleid. Over de verdeling van klimaatkosten. Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, Den Haag, 2023.



## 6 Factsheet UV-Straling

RIVM expert: A. van Dijk, redactie: C.D. Betgen

*Het gezondheidsrisico voor huidkanker bestaat uit een toename aan blootstelling en hogere beschikbaarheid van UV-straling veroorzaakt door o.a. minder bewolking, meer zonuren en waarschijnlijk een verandering in gedrag vanwege een toename in de temperatuur.*

### Inleiding

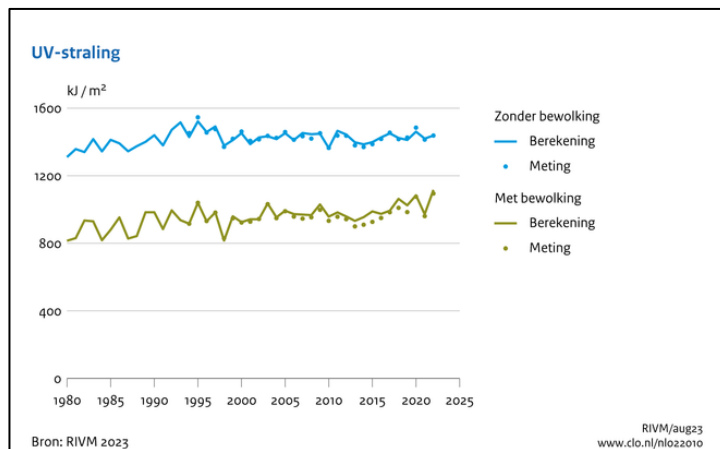
Ultraviolette (UV)-straling is niet-zichtbare straling afkomstig van de zon. De ozonlaag rondom de aarde tempert de UV-straling van de zon, zodat maar een gedeelte het aardoppervlak bereikt. UV-straling heeft zowel positieve als negatieve gezondheidseffecten voor de mens. Een positief effect is dat door UV-straling op de huid vitamine D wordt geproduceerd, wat nodig is voor gezonde botten en spieren. Daar staat tegenover dat UV-straling op de korte termijn zorgt voor huidverbranding en -veroudering. Op de lange termijn is UV-straling de dominante oorzaak van huidkanker (Van der Ree et al., 2022). Ook draagt de UV-straling bij aan staarvorming in het oog (Van Dijk et al., 2019). De drie meest voorkomende soorten huidkanker zijn: basaalcelcarcinoom (BCC), plaveiselcelcarcinoom (PCC) en melanoom.

### Klimaatdreiging

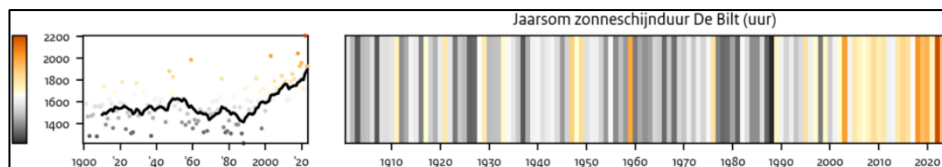
De belangrijkste klimaatdreiging voor gezondheidseffecten bij blootstelling aan UV-straling is: het wordt warmer.

De hoeveelheid beschikbare UV-straling is in Nederland de afgelopen decennia toegenomen (figuur 1). Dit houdt in dat de hoeveelheid UV-straling die op het aardoppervlak komt groter is geworden. Dit komt doordat de bescherming door bewolking af is genomen, de luchtkwaliteit is verbeterd en de ozonlaag dunner is geworden. Door aantasting van de ozonlaag is de jaarlijkse hoeveelheid beschikbare UV-straling in Nederland nu ongeveer 10% hoger dan begin jaren tachtig van de vorige eeuw<sup>47</sup>. Door klimaatverandering neemt het aantal zomerse dagen toe en er is een trend te zien in een toenemend aantal zonuren (figuur 2). De trend in een toenemende hoeveelheid aantal zonuren (in het zomerhalfjaar) komt onder andere door minder luchtvochtigheid door opwarmend land. De toename in beschikbare hoeveelheid UV-straling en de toename in de hoeveelheid zonuren leiden tot vaker en meer blootstelling.

<sup>47</sup> <https://www.rivm.nl/uv-ozonlaag-en-klimaat/historische-trends>

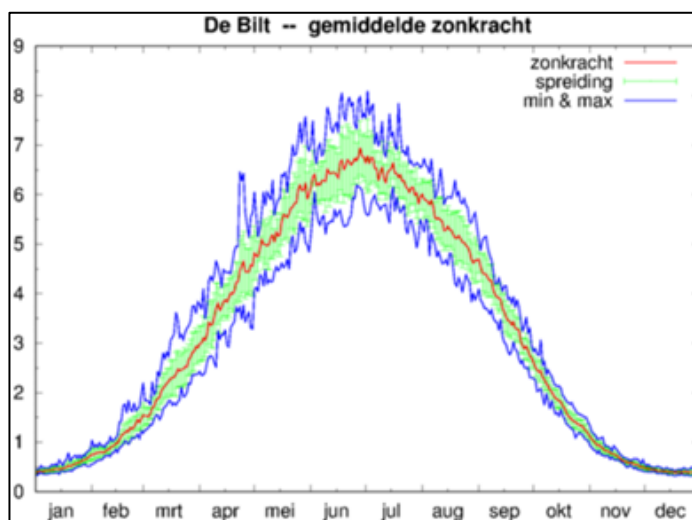


Figuur 6.1 UV-straling jaarsom in Nederland (bron: RIVM, 2023)



Figuur 6.2 Jaarsom zonnenschijnduur in de Bilt (bron: KNMI, 2023)

De zonkracht varieert gedurende het jaar. In de herfst en de winter, als de zon in Nederland lager staat, is de zonkracht, net als het aantal uren zon, laag. In de lente en de zomer staat de zon hoger en is de gemiddelde zonkracht en het aantal zonuren hoog (zie figuur 3). Ook de blootstelling varieert. In de koudere maanden zijn mensen, als ze buiten zijn, vaak alleen met de handen, de nek en het gezicht blootgesteld aan de zon. Daartegenover staat dat in de lente en de zomer bijna het hele lichaam wordt blootgesteld aan de zon als het warm weer is. Iedere huid is anders, maar vanaf zonkracht 5 kan de huid gemakkelijk verbranden na zo'n 25 minuten blootstelling.



Figuur 6.3 Gemiddelde zonkracht over het jaar, gemeten in de Bilt (bron: KNMI<sup>48</sup>)

<sup>48</sup> <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/meer-zon-iets-minder-zonkracht>

Relevante indicatoren (bron):

- Zonkracht (maat voor UV-straling) (RIVM) kan nog worden onderverdeeld in:
  - Jaardosis erytheemgewogen
  - Maanddosis erytheemgewogen voor elke maand afzonderlijk
  - Verhouding tussen gemeten werkelijke erytheemdosis en het model voor heldere hemel (als maat voor de temperende werking van wolken)
- Aantal dagen waarop een bepaalde zonkracht is gehaald (RIVM);
- Aantal warme/zomerse/tropische dagen (KNMI);
- Aantal zonuren (KNMI).

### **Secundaire effecten**

Gedrag is een belangrijke speler van gezondheidseffecten bij blootstelling aan UV-straling. Buitenrecreatie is het populairste cluster van vrijetijdsactiviteiten en dan vooral in het voorjaar (CBS, 2021). De verwachting is dat meer mensen naar buiten gaan bij warmer en droger weer waardoor meer blootstelling aan UV-straling plaatsvindt.

Sinds 1987 is het Montreal protocol<sup>49</sup> in werking waarin regels zijn opgesteld om de aantasting van de ozonlaag door uitstoot van chemische stoffen tegen te gaan. Dit protocol werpt zijn vruchten af en de ozonlaag is herstellende, al duurt het zeker nog een aantal decennia voordat de ozonlaag weer op het niveau is van voor de aantasting. Dit betekent echter niet dat UV-blootstelling op hetzelfde niveau terugkomt. De dikte van de ozonlaag is namelijk niet de enige factor die bepaalt hoeveel UV-straling er beschikbaar is en of ze worden blootgesteld.

### **Blootstelling**

Sommige groepen mensen hebben een hogere blootstelling dan andere. Dit kan met het uitvoeren van een beroep te maken hebben; buitenwerkers zoals hoveniers, bouwvakkers, postbodes en horecapersoneel, zijn veel meer buiten dan mensen met een kantoorbaan. Ook kinderen en jongeren zijn meer buiten. Buitensporters (en hun publiek) worden relatief veel blootgesteld aan UV-straling. Daarnaast zijn er nog mensen die bewust gaan zonnen om bijvoorbeeld bruin te worden (buiten of onder een zonnebank).

De plek waar je woont en/of recreëert kan zorgen voor een andere blootstelling aan UV-straling. Een dag recreëren aan het strand zorgt bijvoorbeeld voor een hogere blootstelling dan een dag wandelen in het bos.

Onder invloed van klimaatverandering zal de hoeveelheid UV-straling die de grond bereikt toenemen (onderdeel van de zonkracht), maar ook de blootstelling zal veranderen. Hogere temperaturen leiden waarschijnlijk tot meer blootstelling aan UV omdat mensen meer tijd buiten gaan doorbrengen en bij hogere temperaturen ook minder huidbedekkende kleding dragen.

<sup>49</sup> <https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>

In regio's op de wereld waar het heet is (boven de 30 graden) leiden hogere temperaturen juist tot minder tijd buiten, en daarom ook tot minder blootstelling aan UV. Maar in koelere landen (met temperaturen meest ruim onder die 30 graden, zoals Nederland) leiden hogere temperaturen juist tot meer tijd buiten (EEAP, 2019). Het aantal warme dagen (>20 °C) en zomerse dagen (>25 °C) lijkt belangrijk voor de blootstelling. Dan gaan mensen graag naar buiten, dragen ze minder kleren waardoor meer huidoppervlak wordt blootgesteld en is het nog niet zo warm dat ze liever binnenblijven (Schmalwieser et al., 2019).

### *Geografie*

Niet overal in Nederland schijnt de zon evenveel en daarom zijn er verschillen in de blootstelling aan UV. In het westen van Nederland, aan de kust en in het Waddengebied, schijnt de zon meer dan in het binnenland. In het voorjaar en de zomer kan de kust gemiddeld 100 zonuren per maand meer hebben dan in het oosten van het land<sup>50</sup>. In de Kankeratlas<sup>51</sup> is direct te zien dat het aantal huidkankerdiagnoses aan de kust gemiddeld hoger ligt dan het Nederlands gemiddelde.

### **Gevoeligheid**

Naast blootstelling zijn sommige groepen mensen gevoeliger voor de gezondheidseffecten van UV-straling. Mensen met een lichte huid verbranden sneller en zullen hun huid meer en vaker moet beschermen tegen zonlicht dan mensen met een donkere huid. Maar ook beschadigingen van de huid, zoals littekenweefsel, vormen een risico op huidkanker. Ook zijn er mensen die erfelijk belast zijn voor huidkanker. In Duitsland is aangetoond dat meer dan de helft van de medicijnen die bij de apotheek over de toonbank gaan mensen lichtgevoelig maakt. Dit betekent dat ook de groep 'gebruikers van medicijnen, drugs en alcohol' een risicogroep vormt voor UV-straling.

Huidkanker neemt nu sterk in aantal toe bij ouderen vanwege vergrijzing. Deze mensen zijn eerder in hun leven intensief of langdurig blootgesteld aan UV-straling. De verwachting is dat door de vergrijzing deze toename in huidkanker nog door zal gaan.

Naast vergrijzing blijkt uit de registratiecijfers van het IKNL in de Nederlandse Kanker Registratie (NKR) dat er nog een generatie-effect speelt. Het risico op huidkanker per persoon stijgt met het oplopen van het geboortjaar. De oorzaak hierachter is, zoals eerder gezegd, nog niet bekend, maar wel verontrustend.

Huidgewenning speelt een rol bij gevoeligheid. Hier is echter nog een groot kennishiaat. Volgens de huidige inrichting van de samenleving zitten grote groepen Nederlanders het grootste gedeelte van het jaar binnen: kantoorwerkers, studenten. En in de herfst en winter is er in Nederland zeer beperkt UV-straling, want dan staat de zon te laag. Met als gevolg dat de huid ontwent en dan bij blootstelling zeer gevoelig wordt voor UV-straling. In de zomervakantie lopen Nederlanders bijvoorbeeld plots grote hoeveelheden UV-straling op, op het gehele lichaam, vaak op locaties waar

<sup>50</sup> <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/zonnig>

<sup>51</sup> <https://kankeratlas.iknl.nl/>



de zon hoger staat dan in Nederland. Deze plotselinge overgang is voor de ongewende huid een mogelijk recept voor melanoom (zie impact). Kinderen zijn om diverse redenen erg gevoelig voor UV-straling. Jonge kinderen spelen doorgaans veel buiten waardoor hun blootstelling hoog is. Daarnaast hebben ze veelal hulp nodig van ouders om preventieve maatregelen te nemen.

De groepen genoemd onder de vraag over blootstelling zijn ook kwetsbaar omdat zij zich vaak niet bewust lijken te zijn van het (langetermijn)gevaar (medicijngebruikers, zonnebankgebruikers) en/of niet direct blootstelling kunnen voorkomen (buitenwerkers of -sporters).

### **Adaptatiecapaciteit**

De mogelijke adaptatiecapaciteit tegen blootstelling aan UV-straling is groot. De blootstelling aan UV-straling is namelijk voor een groot deel afhankelijk van het gedrag van mensen (Hall et al., 2021). Daarom is het ook complex om een verwachting voor huidkanker als gevolg van extra blootstelling aan UV-straling door klimaatverandering te maken.

Het is onbekend hoe inwoners van Nederland om zullen gaan met stijgende temperaturen door klimaatverandering en of het bijbehorende gedrag gaat leiden tot een verminderde blootstelling aan UV. Relatief eenvoudige maatregelen kunnen al genomen worden om blootstelling te verminderen. Naast de huid te beschermen door beschermende kleren aan te trekken en zonnebrandcrème te smeren, zijn ook schaduwplekken opzoeken en binnenblijven (als de zonkracht hoog is) opties om blootstelling te verminderen.

De huidige aanbevelingen om je te beschermen tegen UV-straling gaan uit van "Minder is beter". Er wordt echter ook vermoed dat geleidelijke gewenning van de huid aan UVB-straling kan leiden tot een dikkere huid. Die dikkere huid kan dan, als de zon hoger komt te staan, een aanmerkelijke bescherming bieden tegen die krachtigere zon. Deze natuurlijke aanpassingsmogelijkheid wordt nu niet meegenomen in de overwegingen. Het is nodig dat de mogelijkheden van huidgewenning tijdig worden uitgezocht, zodat ze kunnen worden meegenomen in de aanpassing aan het veranderende klimaat.

Er is slechts beperkte informatie beschikbaar over het gedrag (en bewustzijn) van Nederlanders met betrekking tot de zon, en er is beperkt onderzoek gedaan naar wat effecten van interventies zijn (Thoonen et al., 2022). Het ministerie van VWS heeft het RIVM gevraagd om een plan te maken voor een voorlichtingscampagne over huidkanker (Thoonen et al., 2022). Aanbevelingen uit dit plan focussen zich op:

- Verhogen van kennis en bewustzijn;
- Kantelen van verschillende gedragingen: (1) weren, (2) kleren en dan pas (3) smeren in plaats van "smeren, kleren, weren";
- Aanpakken van meer specifieke gedragsdeterminanten (bijvoorbeeld eigen-effectiviteit en het maken van actieplannen).

Vanwege de gevoeligheid van kinderen en het gebrek aan adaptatiecapaciteit wordt in de voorgestelde voorlichtingscampagne

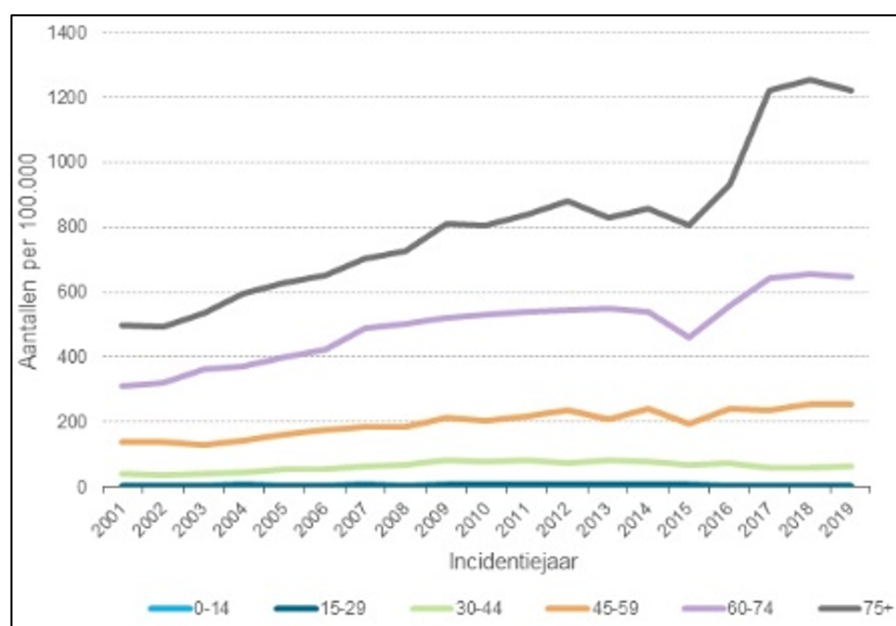
(Thoonen et al., 2022) mede daarom gefocust op de doelgroep 'ouders en hun kinderen in de basisschoolleeftijd'. Deze campagne is in 2024 van start gegaan en loopt drie jaar.

Door nu in elk geval een nulmeting te doen op de kennis, het gedrag en de beleving van mensen met betrekking tot de zon, kan worden onderzocht welke interventies nodig zijn om mensen te beschermen tegen de negatieve gevolgen van een door klimaatverandering toenemende blootstelling aan UV.

De zonkracht wordt nu meer onder de aandacht gebracht bij het grote publiek bij het weerbericht. In de openbare ruimte is er nog veel mogelijk om minder blootgesteld te worden aan UV-straling, door bijvoorbeeld meer schaduwplekken te creëren. Er zijn nu ook initiatieven voor tappen voor zonnebrand in de openbare ruimte, op het strand en bij openluchtzwembaden stijgt.

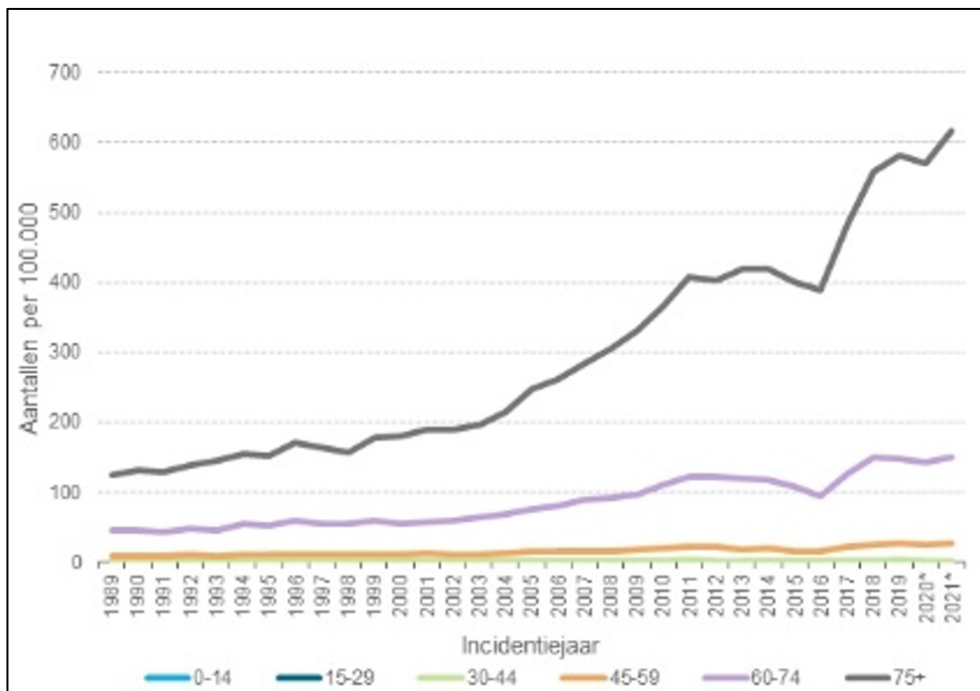
### Impact

Het aantal huidkankergevallen in Nederland is in de afgelopen decennia veel harder gestegen dan verwacht mocht worden op basis van vergrijzing van de bevolking en de aantasting van de ozonlaag. Sinds 1990 is de toename verviervoudigd (Van Dijk et al., 2019). De grafieken in figuren 4-6 tonen de ontwikkeling van de incidentie van drie meest voorkomende soorten huidkanker: basaalcelcarcinoom (BCC), plaveiselcelcarcinoom (PCC) en melanoom. Jaarlijks krijgen nu 80.000 Nederlanders te horen dat ze één van de vormen van huidkanker hebben (Thoonen et al., 2022) en jaarlijks overlijden er rond de 900 Nederlanders aan huidkanker<sup>52</sup>. Voor de gevaarlijkste vorm van huidkanker, het melanoom, behoort Nederland qua incidentie tot de koplopers in Europa.

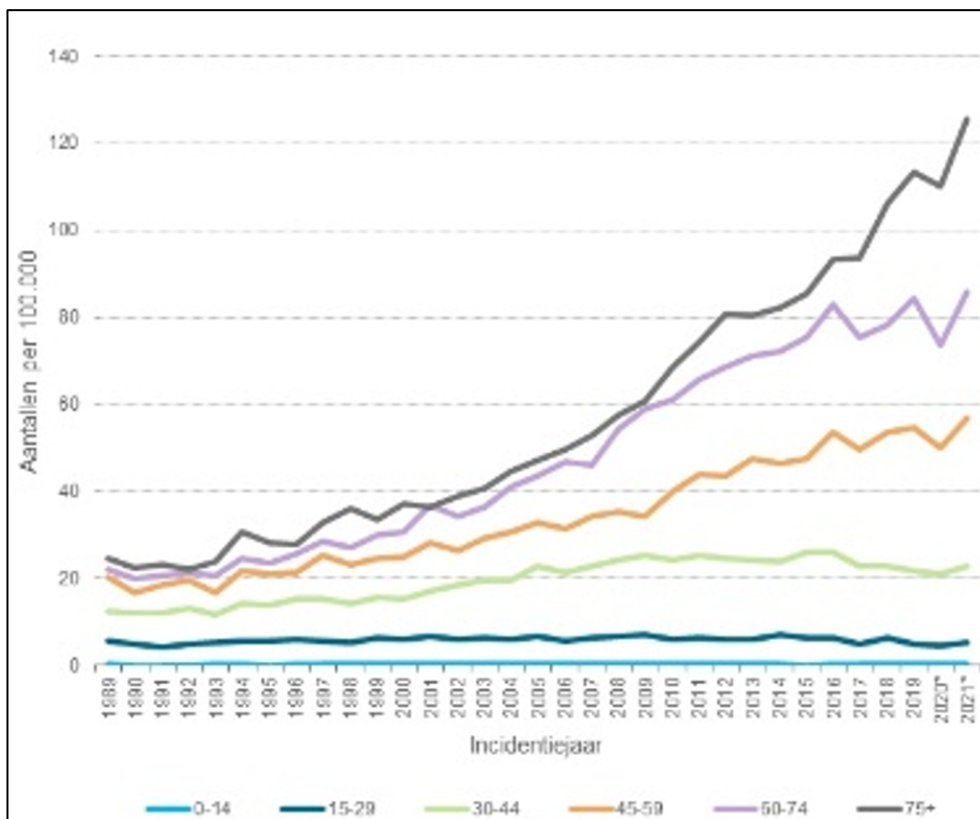


Figuur 6.4 Incidentie van basaalcelcarcinoom (BCC) op basis van leeftijd van 2001 tot 2020. Gegevens en figuren gekregen van IKNL.

<sup>52</sup> <https://iknl.nl/nkr-cijfers>



Figuur 6.5 Incidentie van plaveiselcelcarcinoom (PCC) op basis van leeftijd van 1989 tot 2021. Gegevens en figuren gekregen van IKNL.



Figuur 6.6 Incidentie van melanoom op basis van leeftijd van 1989 tot 2021. Gegevens en figuren gekregen van IKNL.

Ongeveer de helft van de huidkankergevallen kan worden toegeschreven aan vergrijzing. De andere helft kan nog niet worden verklaard. Mogelijke oorzaken voor de toename van huidkanker kunnen liggen in de toename van blootstelling (meer recreatie), verandering bewolking/luchtkwaliteit, toename van lichtgevoeligheid (bijvoorbeeld door medicijngebruik) of minder gewenning, maar ook veranderingen in de diagnostiek kunnen bijdragen. Zo zijn er rondom UV-straling in relatie tot gezondheid en klimaatverandering nog heel veel vragen die moeten worden geadresseerd (Van der Ree et al., 2022).

Tussen de blootstelling aan UV-straling en de daadwerkelijke uiting van huidkanker of staar zit een groot gat in tijd. Blootstelling in de jeugd, met name huidverbranding, kan leiden tot huidkanker op latere leeftijd. Het grote tijdsinterval maakt het moeilijk om directe relaties te leggen. De duur en intensiteit van de blootstelling heeft uitwerking op het type huidkanker wat er mee wordt geassocieerd. Plaveiselcelcarcinoom lijkt te ontstaan door langdurige blootstelling aan UVB-straling. UVB-straling komt alleen midden op de dag voor. Basaalcelcarcinoom is een vorm van huidkanker die ontstaat bij overmatige blootstelling van de jonge huid of intense terugkerende blootstelling, ook tijdens de pubertijd<sup>53</sup>. Basaalcelcarcinoom is eenvoudiger te behandelen dan plaveiselcelcarcinoom. Melanoom is een agressieve vorm van huidkanker die kan ontstaan na korte, hevige blootstelling waarbij de huid verbrandt (Thoonen et al., 2022). Bij melanoom wordt vermoed dat naast UVB-straling ook UVA-straling een rol speelt. UVA-straling is er de hele dag door.

Relevante indicatoren (bron):

- Huidkankerincidentie (IKNL);
- Sterfte door huidkanker (IKNL).

### **Cascade-effecten**

Een hogere incidentie van huidkanker brengt meer zorgkosten met zich mee (behandeling en medicatie). Ziekenhuizen hebben meer specialisten nodig die de behandeling kunnen doen.

Het gebruik van zonnebrand als beschermmiddel voor UV-straling kan door de ingrediënten van de zonnebrand zorgen voor een negatieve impact op natuur en milieu. Het gebruik van zonnebrand met bepaalde ingrediënten zoals oxybenzone en octinoxate is bijvoorbeeld verboden in landen als Hawaii en Thailand omdat de stoffen het koraal aantasten.

### **Eindimpact: mens**

De incidentie van huidkanker over de periode 1991-2020 is grotendeels een gevolg van blootstelling die (tientallen) jaren eerder of gedurende een langere voorgaande periode plaatsvond. Er kan wel 40 jaar tussen de eerste of hevige blootstelling en de uiteindelijke symptomen zitten. De toename in beschikbare hoeveelheid UV-straling en de toename in blootstelling over de periode 1991-2020 is dus nog niet te zien in de cijfers van huidkankergevallen van 1991-2020. De effecten van blootstelling tussen 1991-2020 zijn pas in de huidkankergevallen van

<sup>53</sup> <https://www.vzinfo.nl/huidkanker/oorzaken-en-gevolgen>

grofweg de komende 30 jaar te zien. Sinds 1989 is het aantal huidkankergevallen verviervoudigd waarvan de helft kan worden verklaard. Het klimaatrisico is afhankelijk van UV-straling, blootstelling en het optreden van een effect. UV-straling neemt toe en het effect neemt toe over decennia, en het risico op huidkanker stijgt met elke volgende generatie. Het is daarom aannemelijk dat klimaatverandering een rol speelt (net als gedrag).

Of klimaatverandering de gehele andere helft van de toename in huidkankergevallen verklaart is niet bekend. Vanwege de omvang van de gezondheidseffecten, de sterke stijging van het aantal gevallen en het feit dat het risico met elke generatie toe neemt in de periode 1991-2020, schatten we het klimaatrisico in als hoog (>10.000 – 100.000 getroffen mensen en >100 doden per jaar). Een getroffen mens wordt beschouwd als iemand die de diagnose huidkanker krijgt.

### **Eindrisico: economie**

De directe zorgkosten voor huidkanker zijn toegenomen van €278 miljoen in 2007 naar €465 miljoen 2017 (Noels et al., 2020). Deze kosten betreffen alle type huidkanker (dus meer dan in dit factsheet genoemd zijn) en betreffen ziekenhuiszorg en medicatie. De toename in zorgkosten zit met name in de toename in huidkankergevallen en in de kosten van medicatie. Huidkanker staat op de vierde plek qua kosten van kankersoorten.

Omdat de verwachting is dat het aantal huidkankergevallen toe gaat nemen, en de impact van klimaatverandering nog niet eenduidig is wordt het eindrisico op de economie op middel geschat (€ 100 miljoen – 1 miljard euro).

### **Waarschijnlijkheid**

Het risico op gezondheidseffecten door UV-straling is in de huidige situatie al aanwezig. Afhankelijk van gedrag kan het risico op huidkanker aanzienlijk worden verlaagd. De omstandigheden waarbij huidverbranding kan optreden omdat de zonkracht hoog genoeg is komen nagenoeg het hele zomerhalfjaar voor.

### **Wildcards & kantelpunten**

Afbraak van de ozonlaag zorgt dat de UV-straling op het aardoppervlak hoger wordt. Er zijn afspraken gemaakt om de afbraak van de ozonlaag te stoppen en de ozonlaag herstelt zich. Echter kunnen ontwikkelen zich voordoos of stoffen vrijkomen waardoor de ozonlaag weer wordt aangetast waardoor de blootstelling aan UV-straling wordt verhoogd.

Ook dagen van extreem hoge zonkracht (vooral in het voorjaar wanneer mensen nog niet gewend zijn aan de zon), of meerdere dagen achter elkaar een hoge zonkracht zou als wildcard kunnen worden gezien.

### **Bestuurlijke situatie**

Omdat het aantal gevallen van huidkanker sneller toeneemt dan wordt verwacht is de urgentie om het probleem aan te pakken verhoogd door het ministerie van VWS. In 2019 is het Zonkrachtactieplan (Thoonen et al., 2022) opgezet wat heeft geresulteerd in het Zonkrachtactieplatform.

In dit platform werkt het RIVM met 15 maatschappelijke partners samen om huidkanker te voorkomen. Het platform heeft als doel het verminderen van het aantal gevallen van huidkanker in Nederland en oogandoeningen door UV-straling. Door kennis uit te wisselen en te bundelen zorgen de aangesloten partijen ervoor dat hun inzichten actueel zijn en ze met één mond spreken<sup>54</sup>.

### **Samenhang met andere transities en beleid**

Er is een samenhang tussen beleid dat zich richt op meer beweging (in de buitenlucht). Hier zitten ook specifieke initiatieven bij die gericht zijn op kinderen meer te laten buitenspelen. Daarnaast hangt het samen met klimaatadaptatiemaatregelen die gericht zijn op temperatuurverlaging. Maatregelen betreffende schaduw creëren, onder andere door meer bomen, hebben een positief effect op vermindering van UV-blootstelling. Mitigatiemaatregelen hebben over het algemeen een positief effect op de luchtkwaliteit waardoor de lucht schoner wordt en meer UV-straling het oppervlak bereikt.

### **Internationale aspecten**

De ozonlaag is in het verleden ernstig aangetast door onder andere CFK's en HCFK's. Het Montreal protocol (1987) is toen in werking gesteld om de ozonlaag te beschermen. Het protocol is een afspraak waar alle gecommitteerde landen zich aan zouden moeten houden. Zolang dit wordt nageleefd, zijn er geen gevoeligheden vanuit het buitenland op de UV-straling in Nederland.

### **Maladaptatie en/of 'lock-ins'**

Er bestaat rondom het gebruik van zonnebrand veel misinformatie op voornamelijk sociale media. Waarbij het wordt afgeraden om zonnebrand te gebruiken omdat zonnebrand zelf schadelijk zou zijn voor de gezondheid en er vitamine D tekorten zouden ontstaan. Dit soort berichtgeving helpt niet om de bewustwording van de gezondheidsrisico's van UV-straling te vergroten en werkt het juist tegen.

Daarnaast moet er dus tijdig onderzoek worden gedaan naar huidgewenning omdat het vermoeden bestaat dat dit een rol kan spelen in de bescherming van de huid tegen UV-straling.

### **Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid**

Het voorstel voor de voorlichtingscampagne zoals eerder besproken onder adaptatiecapaciteit biedt diverse aanknopingspunten.

Verder zijn er bij de inrichting van de openbare ruimte nog meekoppelkansen om schaduwplekken te creëren ten behoeve van koelte en minder UV-straling blootstelling. Ook is het verruimen van tappunten voor zonnebrand op plekken waar de blootstelling hoog is (strand, zwembaden, terrassen) is een goed initiatief.

<sup>54</sup> <https://www.rivm.nl/zonkracht/samenwerkingsverbanden>

## **Rechtvaardigheid**

Beroepsgroepen die buiten werken kunnen blootstelling aan UV-straling niet direct vermijden. Wel kunnen er maatregelen worden genomen waardoor de blootstelling van de huid aanzienlijk wordt verlaagd. Kleding en bedekking van het hoofd kan hierbij een rol spelen. Werktijdaanpassing kan hierbij ook van belang zijn, waardoor niet alleen de heetste momenten van de dag wordt vermeden, maar ook de tijdsperiode met de hoogste zonkracht. Deze maatregelen komen idealiter vanuit de werkgevers zodat werknemers goed worden geïnformeerd en beschermd.

Ook scholen kunnen rekening houden met buitenspeelmomenten en de dagindeling aanpassen. Juist omdat verbranden op jonge leeftijd de risico's op huidkanker op latere leeftijd verhoogd is het belangrijk deze doelgroep goed te beschermen en docenten bewust te maken.

Goede zonnebrand (zonder schadelijke stoffen voor het milieu) is vaak duur. Initiatieven voor gratis zonnebrand tappunten zijn daarom heel belangrijk voor mensen die het financieel niet kunnen opbrengen om zonnebrand te kopen. In landen als Australië is het heel gewoon om overal zonnebrand te kunnen krijgen en grote verpakkingen (van meerdere liters) zijn daar goed betaalbaar.

## **Transparantie, aggregatie en afbakening**

De gegevens voor het vaststellen van de klimaatdreiging zijn gebaseerd op kwantitatieve data, gemeten en gemodelleerd door het KNMI en het RIVM. Informatie over blootstelling is voornamelijk gebaseerd op kwantitatieve data. De informatie over gevoeligheid is gebaseerd op kwantitatieve data (bijvoorbeeld incidentie huidkanker per leeftijdsgroep). De informatie rondom adaptatiecapaciteit is voornamelijk kwalitatieve data en inschattingen. Gegevens over impact zijn gebaseerd op kwantitatieve data (incidentie).

De eindimpact is gebaseerd op kwantitatieve data (ziektelast en sterfte) en deels kwalitatief (schatting van het aandeel van klimaatverandering).

De waarschijnlijkheid is gebaseerd op kwantitatieve data.

## **Kennishiaten**

Er zijn veel kennishiaten op het gebied van UV-straling en gezondheidseffecten in relatie met klimaatverandering. Een groot deel van deze kennishiaten is beschreven in het rapport van Van der Ree et al. (2022).

Belangrijke kennishiaten die in dit factsheet zijn aangestipt focussen zich vooral rond de vraag hoe de toename van huidkanker van de afgelopen decennia kan worden verklaard en wat het aandeel van klimaatverandering is in de toename van huidkanker. Huidgewenning en gedrag zijn daarbij belangrijke factoren die nader moeten worden onderzocht om de te verwachte gezondheidseffecten van UV-straling beter in te kunnen schatten.

## **Onzekerheid en betrouwbaarheid**

Over de relatie tussen UV-straling, blootstelling en het risico op huidkanker is de betrouwbaarheid zeer hoog en de onzekerheid nagenoeg zeker. Over de relatie tussen de gezondheidseffecten van UV-straling en klimaatverandering is de bewijsvoering nog laag, dit heeft vooral te maken met het grote hiaat tussen blootstelling en het krijgen van huidkanker. Daarom is meer onderzoek nodig om hier goede uitspraken over te kunnen doen.

## **Expertbeoordeling**

De experts binnen het RIVM zijn betrokken bij onderzoeksvoorstellen en (rapport)publicaties op het thema en zijn op de hoogte van de nieuwste literatuur en onderzoeken. Zowel intern als extern zijn zij betrokken bij diverse werkgroepen en (internationale) samenwerkingen op het thema. Voor dit factsheet is er dan ook veel gebruik gemaakt van expert judgement.

Omdat er veel integraliteit bestaat bij de gezondheidseffecten tussen de thema's is gestreefd om tijdens de expertsessies alle themaexperts (of vervanging) aanwezig te hebben. Ook PBL is regelmatig bij deze sessies aanwezig geweest. Zoals bij de expertsessie om de onzekerheid en betrouwbaarheid vast te leggen.

## **Referenties factsheet UV-straling**

CBS (2021). Trendrapport toerisme, recreatie en vrije tijd 2021. Samenstelling: NRIT, Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Nederlands Bureau voor Toerisme & Congressen (NBTC) en Centre of Expertise Leisure, Tourism & Hospitality (CELTH). ISBN: 978-94-91625-15-2. Gebruikerslicentie: CBS.

EEAP (2019). Environmental Effects and Interactions of Stratospheric Ozone Depletion, UV Radiation, and Climate Change. 2018 Assessment Report. Nairobi: Environmental Effects Assessment Panel, United Nations Environment Programme (UNEP) 390 pp.

Hall, E.F., R.J.M. Maas, J. Limaheluw, C.D. Betgen (2021). Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering. RIVM-Rapport 2020-0200.

Noels, E., Hollestein L, Luijckx K, Louwman M, de Uyl-de Groot C, van den Bos R, van der Veldt A, Grünhagen D, Wakkee M. Increasing Costs of Skin Cancer due to Increasing Incidence and Introduction of Pharmaceuticals, 2007-2017. *Acta Derm Venereol.* 2020 May 28;100(10): adv00147. Doi: 10.2340/00015555-3463. PMID: 32189004; PMCID: PMC9137355.

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



Thoonen, K., A. van Dijk, W. Hagens (2022). Advies aan VWS over de inhoud van een voorlichtingscampagne over huidkanker. RIVM-rapport 2022-0063

Van der Ree, J., C. Betgen, C. Boomsma, A. van Dijk, L. Hall, D. Houweling, J. Limaheluw, K. Rijs (2022). Plan van aanpak Onderzoeksprogramma Klimaatverandering en gezondheidseffecten. RIVM-rapport 2022-0030

Van Dijk, A., W. Hagens, H. Slaper, M. Boekema (2019). Zonkrachtactieplan. RIVM-Briefrapport 2019-0078



## 7 Factsheet Pollenallergieën

RIVM expert: E.F. Hall, redactie: C.D. Betgen

*Het gezondheidsrisico voor pollenallergieën (hooikoorts) bestaat uit een langer pollenseizoen, een toename van pollenconcentraties en allergenere pollensoorten veroorzaakt door een toename in de temperatuur en stijging van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer.*

### Inleiding

Klimaatverandering heeft op verschillende manieren een negatieve invloed op allergische aandoeningen. Van allergische aandoeningen komen pollenallergieën (hooikoorts) het vaakst voor.

Hooikoorts is een seizoensgebonden aandoening die ontstaat door blootstelling aan allergene pollen van bomen, grassen en kruidachtige planten (zoals alsemambrosia). Een groot deel van de klachten wordt veroorzaakt door allergische rhinitis. Allergische rhinitis is een ontsteking van het neusslijmvlies door een overgevoeligheid voor allergenen van planten, huisstofmijt, schimmels en/of huisdieren. Daarnaast kan bij hooikoorts allergische conjunctivitis voorkomen, een ontsteking van het oogslimvlies.

Als gevolg van klimaatverandering zijn planten onderhevig aan veranderingen in temperatuur en vochtigheid en zullen daarom veranderen van leefgebied en gedrag. Hierdoor verandert de blootstelling aan de allergenen die deze planten produceren.

Binnenshuis zijn veel mensen allergisch voor allergenen van onder andere huisstofmijten en schimmels. De blootstelling aan deze allergenen hangt af van bijvoorbeeld temperatuur en vochtigheid binnenshuis. Ook deze factoren worden beïnvloed door klimaatverandering (Hall et al., 2021). In deze factsheet wordt gefocust op pollenallergieën omdat de gezondheidseffecten het grootst zijn en er een directe relatie is met klimaatverandering.

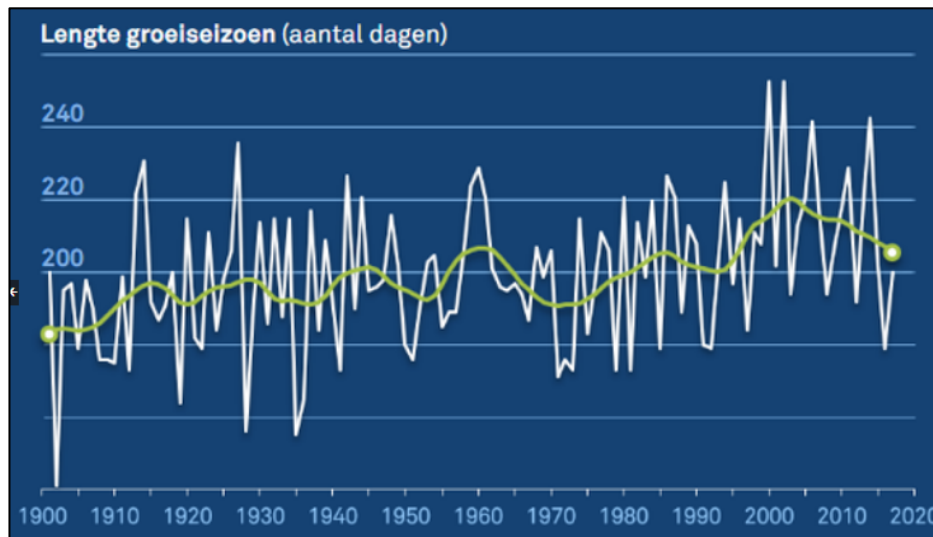
### Klimaatdreiging

De belangrijkste klimaatdreiging voor gezondheidseffecten door pollenallergieën zijn: het wordt warmer en het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer stijgt. In Nederland is de jaargemiddelde temperatuur met 2,3°C gestegen sinds het begin van de metingen in 1901. De huidige CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer is ca. 420 ppm. Dit is al 100 ppm meer dan in 1960 toen het ca. 320 ppm was<sup>55</sup>.

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

<sup>55</sup> <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html>

De temperatuurstijging door klimaatverandering veroorzaakt een vervroeging van het groei- en bloeiseizoen in Nederland en het groeiseizoen wordt langer. Het groeiseizoen begint gemiddeld drie weken eerder dan 120 jaar geleden<sup>56</sup> en het groeiseizoen duurt ook een aantal dagen langer (zie figuur 1).



Figuur 7.1 Lengte groeiseizoen in Nederland (bron: KNMI<sup>57</sup>)

De temperatuurstijging en de hogere concentraties van CO<sub>2</sub> in de lucht kunnen leiden tot een langer pollenseizoen, hogere pollenproductie door planten en kunnen mogelijk de allergeniciteit van de pollen versterken (Zhang et al., 2022; Barnes, 2018; Weger & Hiemstra, 2009). In een recent retrospectief onderzoek naar langetermijntrends in pollenconcentraties op het noordelijk halfrond werd een verband gevonden tussen veranderingen in de maximum- en minimumtemperaturen (geassocieerd met klimaatverandering) en toenemende pollenconcentraties en een langer pollenseizoen (Ziska et al., 2019). Een vergelijkbare studie in de Benelux-landen vond een toename in jaarlijkse en piek pollenconcentraties en een verschuiving van het pollenseizoen naar eerder in het jaar voor de onderzochte boomsoorten (Weger et al., 2021). Hierbij werd voor de berk, de boomsoort in Nederland met de meest sterke allergene pollen<sup>58</sup>, 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).

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 olijfbom

<sup>56</sup> <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/groeiseizoen-kent-steeds-langer-nachtvorst>

<sup>57</sup> <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/hooikoorts-beinvloed-door-klimaatverandering>

<sup>58</sup> <https://www.lumc.nl/siteassets/over-het-lumc/maatschappelijke-rol/bomenkompas/bestanden/bomenkompas-brochure-5-apr-2023.pdf>

of 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 allergene pollenseizoen verlengen (de Weger et al., 2009).

### **Secundaire effecten**

Extreme weersomstandigheden gaan vaak gepaard met een combinatie van factoren. Een hittegolf kan bijvoorbeeld gepaard gaan met weinig neerslag en wind waardoor de luchtkwaliteit slecht is, met hoge concentraties van ozon (zomersmog) en fijnstof in de lucht. Een slechte luchtkwaliteit, zoals bij hoge ozonconcentraties, zorgt dat een stresssituatie ontstaat bij planten waardoor de allergeniciteit van de pollen toeneemt. Dit is vastgesteld bij o.a. alsemambrosia en berk. Ook droogte kan zorgen voor stresssituaties waardoor de allergeniciteit van pollen toeneemt (El Kelish et al., 2014). Door warmte kunnen grassen flink gaan bloeien met een piek in graspollenconcentraties als gevolg, zoals in juni 2023. Deze combinatie van omstandigheden zorgt ervoor dat hooikoortspatiënten meer gezondheidsklachten zullen ervaren (Huynen et al., 2019).

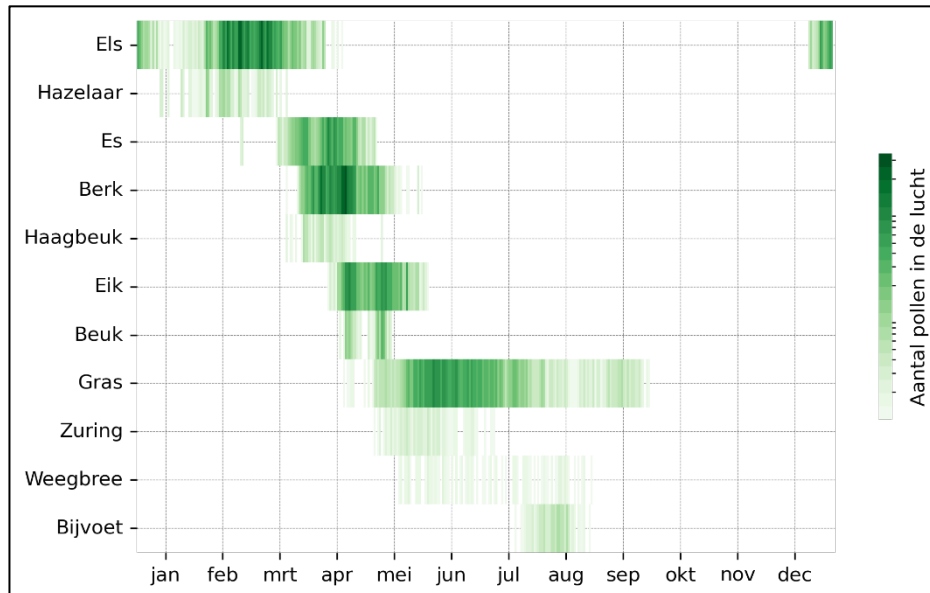
Naast ziekte zijn er aanwijzingen dat deze combinatie van factoren ook bijdraagt aan oversterfte tijdens een hittegolf. Fischer et al. (2004) verwachten dat een aanzienlijk deel van de sterfgevallen die nu wordt toegeschreven aan hitte in Nederland, veroorzaakt wordt door ozon en in mindere mate door fijnstof. Brunekreef et al. (2000) vonden een sterke associatie tussen dagelijkse pollenconcentraties en cardiovasculaire en respiratoire mortaliteit in Nederland. In Finland is onlangs ook een associatie tussen pollenconcentraties en mortaliteit gevonden (Jaakkola et al., 2021). Echter, Anenberg et al. (2020) concludeerde in een systematisch review dat er beperkt bewijs is voor synergetische effecten van gelijktijdige blootstelling aan a) luchtverontreiniging, pollen en hitte; en b) luchtverontreiniging en pollen. Met slechts één onderzoek konden ze het bewijs voor synergetische effecten van hitte en pollen niet beoordelen. Meer onderzoek is nodig naar mogelijke synergetische effecten van hitte, luchtverontreiniging en pollen.

### **Blootstelling**

De blootstelling aan de verschillende pollen is afhankelijk van het moment van bloeien van de bomen, grassen, en kruiden, wat afhankelijk is van het klimaat (zie hierboven). 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 lucht<sup>59</sup>. Grassen en kruiden bloeien ongeveer van eind april tot september. De pollenkalender in figuur 2 laat zien wanneer de verschillende allergene pollen in de lucht voorkomen in Nederland.

<sup>59</sup> <https://www.lumc.nl/patientenzorg/specialistische-centra/hart-long-centrum/voor-patienten/pollen-en-hooikoorts/>

De blootstelling hangt ook af van de weersomstandigheden. Bij regen is de blootstelling geringer omdat de pollen neerslaan. Bij wind kan de blootstelling groter zijn doordat de pollen zich meer verspreiden.



Figuur 7.2 Deze pollenkalender is gebaseerd op de pollentellingen van 10 jaar (2013-2023) van het Leids Universitair Medisch Centrum. Hoe donkerder de kleur des te meer pollen er in die periode in het jaar zijn waargenomen (bron: LUMC<sup>60</sup>).

De door de uitstoot van broeikasgassen veroorzaakte temperatuurstijging en hogere concentraties van CO<sub>2</sub> in de lucht, kunnen leiden tot een langer pollenseizoen, hogere pollenproductie door planten en kunnen mogelijk de allergeniciteit van de pollen versterken. Hierdoor worden de perioden dat de verschillende pollensoorten in de lucht voorkomen langer en kunnen klachten over een langere periode optreden en ook heviger zijn.

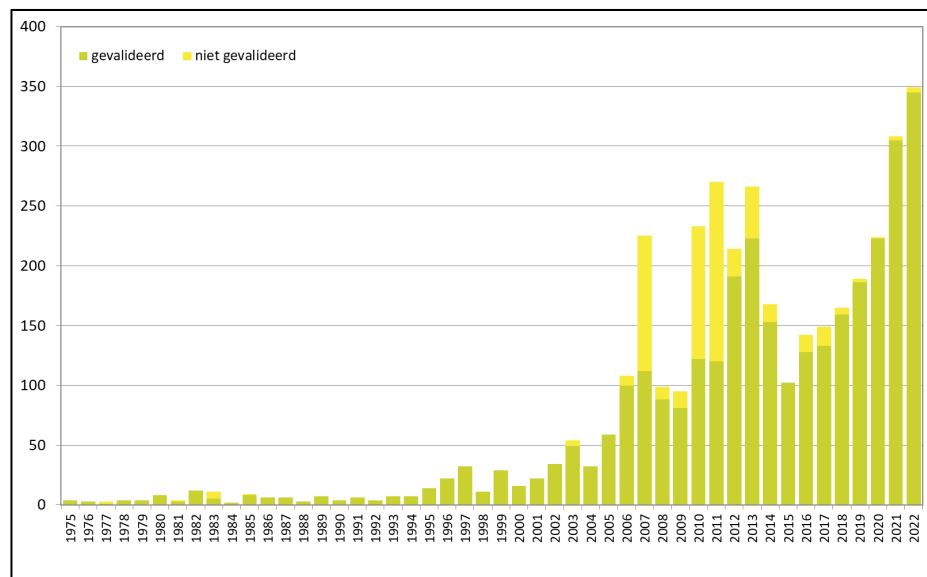
In de VS is onderzocht of er een verband is tussen het voorkomen van hooikoorts onder Amerikaanse volwassenen en een verandering in het groei- en bloeiseizoen die in verband wordt gebracht met klimaatverandering en klimaatvariabiliteit (Sapkota et al., 2019). Een associatie werd gevonden tussen een hogere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

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 afkomstig van o.a.

<sup>60</sup> <https://www.lumc.nl/patientenzorg/specialistische-centra/hart-long-centrum/voor-patienten/pollen-en-hooikoorts/>

de es, bijvoet, zuring en alsemambrosia zorgen voor hooikoortsklachten<sup>61</sup>. De soorten die voor hooikoortsklachten zorgen komen in heel Nederland voor. Ook verspreiden pollen zich via de wind waardoor de klachten zich kunnen uiten op plekken waar de allergene soort niet direct voorkomt. Direct aan de Noordzee, op het strand, zullen weinig pollen te vinden zijn bij de doorgaans zuidwestenwind.

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). Floron (2023) heeft een analyse gedaan naar de verspreiding en trend van alsemambrosia in de periode 1975 t/m 2022. Uit de analyse blijkt dat vanaf 2005 het aantal waarnemingen van alsemambrosia sterk toenam, zie figuur 3.



Figuur 7.3 Aantal kilometerhokken per jaar (y-as) waarin Alsemambrosia is waargenomen in de periode 1975 t/m 2022 (x-as) (bron: Floron, 2023).

Mensen die buiten recreëren of veel buiten sporten worden vaker blootgesteld aan pollen. Ook mensen die buiten werken, zoals bouwvakkers, worden meer blootgesteld aan pollen. Indien deze mensen hooikoorts hebben, zullen zij meer klachten ervaren door hun recreatie- en sportgedrag of werkomstandigheden.

Relevante indicatoren (bron):

- Aantal pollen in Nederland, 2 meetstations (LUMC (Leiden), Elkerliek Ziekenhuis (Helmond));
- Pollenverspreiding Europa (Polleninfo.org);
- Modelling Europese pollen verspreiding (SILAM; silam.fmi.fi/pollen.html).

<sup>61</sup> <https://www.lumc.nl/patientenzorg/specialistische-centra/hart-long-centrum/voor-patienten/pollen-en-hooikoorts/>

## **Gevoeligheid**

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 af met de leeftijd (NHG, 2018).

Door klimaatverandering is de verwachting dat het pollenseizoen langer en intenser wordt, dat pollen allergener worden, en dat niet inheemse allergene soorten, zoals alsemambrosia, zich vestigen in Nederland. Het is daarom aannemelijk dat hooikoortspatiënten over een langere periode klachten ervaren en dat die ook heviger zijn. Ook kunnen meer mensen gevoelig (gesensibiliseerd) worden voor allergene pollen waardoor het aantal hooikoortspatiënten toeneemt.

Mensen met een chronische luchtwegaandoening, zoals astma of een andere vorm van allergische rhinitis dan hooikoorts, zijn gevoeliger voor hooikoorts dan mensen zonder luchtwegaandoening. Zij kunnen extra kwetsbaar zijn als er extreme situaties optreden. Bij een slechtere luchtkwaliteit zijn hooikoortspatiënten ook gevoeliger voor blootstelling aan allergenen (Huynen et al., 2019).

## **Adaptatiecapaciteit**

Door minder in aanraking te komen met pollen verminderen de hooikoortsklachten. Hiervoor is belangrijk dat mensen weten voor welke pollen zij gevoelig zijn en welke pollen er op een bepaald moment aanwezig zijn in de lucht. Blootstelling aan pollen is haast onvermijdelijk en vaak is het wachten totdat de weersomstandigheden veranderen waardoor de hoeveelheid pollen vermindert. 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 de symptomen van hooikoorts worden verminderd door medicatie. Bij mensen met matige tot ernstige klachten werkt het type medicatie (corticosteroidneusspray) het best als het tot wel 10 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). Hiervoor is het dus belangrijk om te weten wanneer hoge pollenconcentraties van welke soort worden verwacht (Houweling et al., 2021).

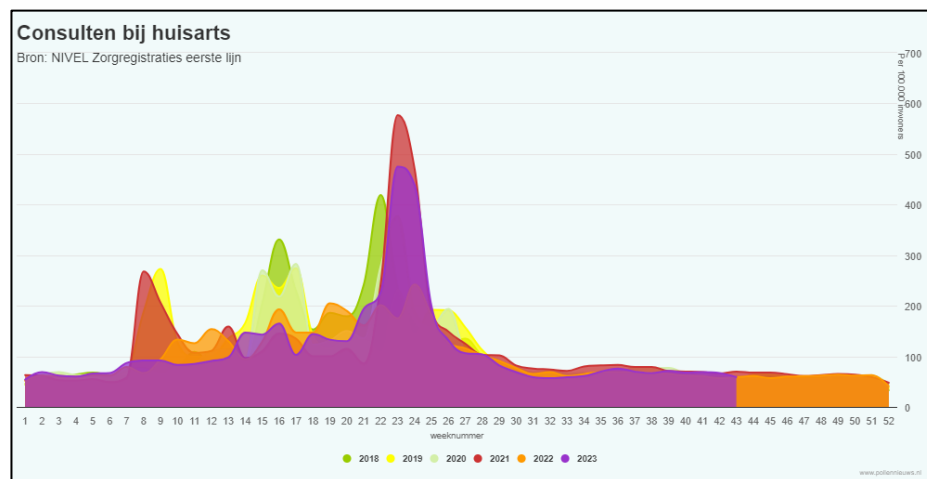
Voor het managen van hun klachten zouden hooikoortspatiënten dus veel baat hebben bij actuele polleninformatie voor heel Nederland. Nu zijn er maar twee meetpunten (in Leiden en in Helmond) waar pollen handmatig worden geteld en wekelijks (achteraf) wordt gerapporteerd (zie Bestuurlijke situatie). Met toegang tot data over actuele, pollenconcentraties in heel Nederland zullen hooikoortspatiënten beter in staat zijn hun klachten te controleren.



Adaptatiemaatregelen vanuit het beleid zouden rekening kunnen houden met het niet planten van zeer allergene planten (zie Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid).

## Impact

Ruim 20% van de Nederlanders heeft gedurende een periode van een aantal jaren in hun leven lichte tot ernstige hooikoortsklachten<sup>62</sup>. Deze klachten ontstaan als pollen waarvoor men gevoelig is in de lucht voorkomen. Hooikoortspatiënten kunnen allergisch zijn voor één soort pollen maar vaak zijn ze allergisch voor meerdere pollensoorten waardoor de klachten langere perioden kunnen aanhouden. Houweling et al. (2021) hebben een behoeftepeiling gedaan waaruit blijkt dat 38% van de respondenten per jaar één tot drie maanden klachten ervaart en 45% meer dan drie maanden.



*Figuur 7.4 Geregistreerde aantal mensen die met hooikoortsklachten naar de huisarts gaat. Het NIVEL houdt hierover cijfers bij. Het figuur laat zien hoeveel mensen per 100.000 inwoners in de afgelopen zes jaar zich hebben gemeld bij de huisarts met hooikoortsklachten. Te zien is dat in de afgelopen jaren al vroeg in het seizoen pieken zijn geweest (begin maart) en dat de hoogste piek in huisartsbezoeken half/eind juni is (Bron: NIVEL-cijfers via pollennieuws.nl).*

Hooikoortspatiënten gaan vaak niet naar de huisarts met hun klachten waardoor de ziekte onder-gediagnosticeerd is (Maurer et al., 2007) en de ziektelast in Nederland niet goed bekend is. Mensen die naar de huisarts gaan zijn geregistreerd en in figuur 4 is te zien hoeveel huisartsconsulten voor hooikoortsklachten er waren tussen 2018 en 2023. In 2021 gebruikten ca. 7,7% van de Nederlandse bevolking voorgeschreven medicatie tegen allergische rhinitis (antihistaminica en neussprays<sup>63</sup>). Omgerekend zijn dit rond de 1,35 miljoen mensen die voorgeschreven medicatie gebruiken voor deze klachten. Omdat hooikoortsmedicatie vrij verkrijgbaar is lopen er ook mensen rond met hooikoortsklachten die niet naar de huisarts gaan en zelf medicatie kopen. En sommige mensen weten niet dat hun verschijnselen hooikoorts zijn. Het daadwerkelijke aantal mensen dat dus hooikoorts heeft en medicatie neemt is niet met zekerheid te zeggen.

<sup>62</sup> <https://www.lumc.nl/patientenzorg/specialistische-centra/hart-long-centrum/voor-patienten/pollen-en-hooikoorts/>

<sup>63</sup> <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/81071ned/table?searchKeywords=r06a>

De belangrijkste verschijnselen bij hooikoorts zijn: jeukende of kriebelende neus en neus-keelholte, niezen, verstopte neus, tranende ogen (last van veel licht) en soms lichte benauwdheid<sup>64</sup>. 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 de behoeftepeiling van Houweling et al. (2021) is opgehaald dat hooikoortsklachten in 52% van de gevallen worden ervaren als redelijk beïnvloedend op het dagelijks leven, 20% geeft aan in hoge mate beïnvloedend en 5% in zeer hoge mate.

Er is 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 met gemiddeld 1,3 dagen per jaar toe gedurende de onderzoeksperiode. Ook was er een statistisch significant verband tussen de luchttemperatuur tussen februari en juli en de duur van de piekperiode.

De onderzoekers 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 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 veroorzaakt wordt door klimaatverandering (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).

De grootste gevolgen voor hooikoortspatiënten zijn te verwachten van de opkomst van alsemambrosia. Alsemambrosia is de belangrijkste bron van hooikoorts en geassocieerd astma in Noord-Amerika en verspreidt zich de laatste decennia ook door centraal Europa.

Relevante indicatoren (bron)

- Aantal geregistreerde hooikoortspatiënten bij de huisarts (NIVEL);

<sup>64</sup> <https://www.lumc.nl/patientenzorg/specialistische-centra/hart-long-centrum/voor-patienten/pollen-en-hooikoorts/>

- Aantal hooikoortsconsulten per patiënt per jaar;
- Hoeveelheid verkochte hooikoortsmedicatie (CBS; gegevens van de apotheken).

### **Cascade-effecten**

Zoals eerder al genoemd leidt hooikoorts vaak tot verminderde concentratie en slaapproblemen wat direct tot ziekteverzuim, verlies van arbeidsproductiviteit en verslechterde schoolprestaties kan leiden. Dit kan weer direct gevolgen hebben voor de mentale gezondheid, maar ook indirect vanwege inkomstenvermindering en financiële problemen.

### **Eindimpact: mens**

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

Veel mensen hebben hooikoorts, in Nederland wordt het geschat op 3,6 miljoen mensen. Het pollenseizoen start eerder en wordt langer. Cijfers uit de eerder genoemde studie (Schreurs et al., 2022) laten de effecten hiervan op hooikoorts zien met een toename in huisartsconsulten. Klimaatverandering speelt hier een rol in. Ook al is de grootte van de rol niet precies duidelijk, 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).

### **Eindriscico: 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 €1485 per jaar, waarvan €1036 indirecte kosten gerelateerd aan ziekteverzuim en verminderde arbeidsproductiviteit (Colas et al., 2017). In een Zweeds onderzoek zijn de kosten van ziekteverzuim en verminderde arbeidsproductiviteit geschat op €961 per persoon per jaar (Cardell et al., 2016).

Op basis van deze schattingen, worden de kosten van ziekteverzuim en verminderde arbeidsproductiviteit door hooikoorts in Nederland geschat op ca. €1000 per persoon per jaar. In 2023 behoorden 9,7 miljoen mensen in Nederland tot de werkzame beroepsbevolking<sup>65</sup>. Indien volgens schattingen 20% aan hooikoorts lijdt, met indirecte kosten van 1000 euro per persoon per jaar dan betekent dit een economisch verlies van bijna 2 miljard euro per jaar  $[(9.700.000 * 20/100) * 1000 = 1,94 \text{ miljard}]$ .

Het aandeel van klimaatverandering op het aantal hooikoortspatiënten is nog niet goed onderzocht. De schatting is dat het eindrisico op de economie middel is (€ 100 miljoen – 1 miljard euro), maar dat meer

<sup>65</sup> <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/dashboard-beroepsbevolking/werkzaam>

onderzoek zou kunnen leiden dat het op hoog uitkomt (> 1 miljard euro).

### **Waarschijnlijkheid**

Hooikoorts komt elk jaar voor. De verwachting is dat hooikoortspieken langer zullen aanhouden waarbij bovendien de eerste piek eerder in het jaar is en de laatste piek later in het jaar.

Uit onderzoek van Schreurs et al. (2022) blijkt dat het hooikoortsseizoen al vier weken eerder begon tussen 2015-2019 vergeleken met 1995-1999. Ook duurde de piekperioden tussen 2015-2019 gemiddeld 24 dagen langer dan tussen 2015-2019 (122 dagen vergeleken met 98 dagen).

### **Wildcards & kantelpunten**

Er zou van een wildcard kunnen worden gesproken als de omstandigheden voor hitte, droogte en hoge pollenconcentraties zodanig samenvallen dat een hete periode van langdurige slechte luchtkwaliteit optreedt (zie secundaire effecten). Dit effect lijkt al te zien in de data van de huisartsregistraties (zie impact), maar hier is nog geen onderzoeksdata van beschikbaar. Een groter aantal mensen zou gevoelig voor luchtwegklachten kunnen raken onder deze omstandigheden in de toekomst.

Het klimaat-, natuur- en landbouwbeleid kan zorgen voor verandering in soort en aantal van allergene planten in Nederland.

*Thunderstorm* astma is een fenomeen waar vooral in het Verenigd Koninkrijk en Australië onderzoek naar is gedaan (Thien et al., 2018). Het is ook beschreven in enkele andere landen (Italië, VS, Canada, China). Bij warm weer worden veel allergene graspollen gevormd. Als daar heftig onweer op volgt kan dat gepaard gaan met meer en heviger 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 3000 patiënten met astma-aanvallen op de spoedeisende hulp in Melbourne, Australië beland na een hevige onweersbui (Thien et al., 2018). Het is nog onduidelijk of *Thunderstorm* astma ook in Nederland voorkomt (Huynen et al., 2019).

Mogelijke indicator voor thunderstorm astma:

- Combinatie dagen met onweer (KNMI) met:
- Aantal patiënten met astma aanvallen op spoedeisende hulp (VEKTIS).

### **Bestuurlijke situatie**

De huisarts is verantwoordelijk voor de behandeling van hooikoortsklachten en het Nederlands Huisartsen Genootschap heeft een richtlijn voor het behandelen van allergische rhinitis (NHG, 2018). Echter veel patiënten behandelen de klachten zelf met vrij verkrijgbare geneesmiddelen en bezoeken de huisarts niet.

De GGD-en ondersteunen gemeenten en burgers bij vragen en beleid over een gezonde leefomgeving. Bij het adviseren over groene

maatregelen (o.a. in het kader van klimaatadaptatie) wordt rekening gehouden met pollenallergieën. Een factsheet is opgesteld voor medewerkers van GGD-en om hen hierin te ondersteunen<sup>66</sup>.

In Nederland zijn maar twee meetpunten waar pollen handmatig worden geteld, bij het Leids Universitair Medisch Centrum en Elkerliek Ziekenhuis in Helmond. Om meer inzicht te krijgen in pollenconcentraties zodat de juiste maatregelen op het juiste moment kunnen worden genomen is het belangrijk dat pollenconcentraties goed gemeten en voorspeld (door te modeleren) worden. Automatisering en uitbreiding van dit netwerk zou meer en actuelere data opleveren en maakt het mogelijk beter te monitoren op pollen. Daarom ligt er nu een voorstel voor een pollenmeetnet (Houweling et al., 2021).

Op Europese schaal werken in het AutoPollen Programme<sup>67</sup> 31 Europese nationale meteorologische diensten (EUMETNET) samen om pollen te meten. Nederland doet hier niet aan mee. Naast het ontwikkelen van een automatisch pollenmeetnet voor Europa heeft het project het doel om actuele pollenmetingen en voorspellingen beschikbaar te maken voor het algemene publiek, artsen en gezondheidsorganisaties.

Er zijn geen wettelijke normen die voorschrijven welke bomen, kruiden of grassen waar mogen worden geplant.

### **Samenhang met andere transities en beleid**

Er is een direct verband met groene klimaatadaptatie maatregelen (zie maladaptatie).

### **Internationale aspecten**

Pollen verplaatsen door de lucht en die verplaatsing stopt niet bij de landsgrens. Pollen kunnen door de lucht wel honderden kilometers worden getransporteerd. Zelfs pollen afkomstig uit Oekraïne zijn in Nederland aangetroffen (Huynen et al., 2019).

### **Maladaptatie en/of 'lock-ins'**

Vergroening van de leefomgeving om het meer klimaatadaptief en gezond te maken kan gepaard gaan met een toename van allergene planten. Het is daarom belangrijk om de juiste bomen, kruiden en grassen toe te passen om (extra) gezondheidsproblemen te voorkomen.

Vanuit biodiversiteitsoogpunt is de wens om grassen en planten langer te laten groeien en minder te maaien, wat juist kan leiden tot meer pollenproducerende planten/grassen.

### **Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid**

Informatie over allergene planten, zoals het bomenkompas<sup>68</sup>, dienen wijdverspreid te worden onder organisaties die zich bezighouden met vergroening van de leefomgeving. Groenbeheerders kunnen dan zorgen dat allergene planten zoveel mogelijk vermeden worden bij nieuwe

<sup>66</sup> <https://www.rivm.nl/media/240131>

<sup>67</sup> <https://autopollen.net/>

<sup>68</sup> <https://www.lumc.nl/siteassets/over-het-lumc/maatschappelijke-rol/bomenkompas/bestanden/bomenkompas-brochure-5-apr-2023.pdf>

aanplant in de openbare ruimte. Het is een snelle winst om groenbeheerders en hoveniers bewust te maken van de negatieve gezondheidseffecten van bepaalde bomen, kruiden en grassen.

De factsheet<sup>69</sup> van de GGD helpt daar ook aan mee. De factsheet beschrijft hoe bij de aanleg van groen het ontstaan van meer allergische klachten zoveel mogelijk voorkomen kan worden. Op basis van een 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.

### **Rechtvaardigheid**

Mensen die buiten werken, zoals bouwvakkers, worden meer blootgesteld aan pollen. Indien deze mensen hooikoorts hebben, zullen ze meer klachten ervaren door hun werkomstandigheden. Deze mensen zouden extra gebaat zijn bij tijdige hooikoortsvoorspellingen om preventief medicatie te kunnen toedienen. Zij kunnen hooikoorts niet vermijden vanwege hun werk.

### **Transparantie, aggregatie en afbakening**

De gegevens voor het vaststellen van de klimaatdreiging zijn gebaseerd op kwantitatieve data, gemeten door het KNMI. De gegevens over de pollenconcentraties zijn gebaseerd op kwantitatieve data uit diverse pollenonderzoeken. De gegevens over blootstelling zijn gebaseerd op kwantitatieve gegevens opgehaald door pollenmetingen en het kwantitatief meten van de lengte van groeiseizoenen. Informatie over de gevoeligheid is gebaseerd op kwantitatieve gegevens van huisartsen. De informatie over adaptatiecapaciteit is vooral gebaseerd op kwantitatieve data (medicijnwerking/ maatregelen om pollen te verminderen/ voortplantcyclus planten).

De (eind)impact is gebaseerd op kwantitatieve huisartsbezoek informatie en indirecte en directe ziektekosten.

De waarschijnlijkheid van het optreden van de impacts is gebaseerd op eerdere kwantitatieve weerdata van het KNMI, de pollendata en huisartsbezoeken.

<sup>69</sup> <https://www.rivm.nl/media/240131>

## **Kennishiaten**

Er zijn veel kennishiaten op het gebied van de gezondheidseffecten van hooikoorts in relatie met klimaatverandering. Een groot deel van deze kennishiaten is beschreven in het rapport van Van der Ree et al. (2022).

Een belangrijk kennishiaat is het ontbreken van onderzoek naar de bijdrage van hitte, luchtverontreiniging en pollen aan de sterfte en ziektelast in warme perioden, juiste omdat verwacht wordt dat klimaatverandering deze blootstellingen gaat verergeren.

## **Onzekerheid en betrouwbaarheid**

Het meeste onderzoek wordt gedaan naar de duur en intensiteit van het pollenseizoen. Dit onderzoek laat zien dat het pollenseizoen vroeger begint, langer wordt en de pollenproductie toeneemt. Dit is wereldwijd geobserveerd en er is consensus dat deze trend zich voortzet. De betrouwbaarheid hierop is zeer hoog en de zekerheid is nagenoeg zeker.

Er is weinig onderzoek gedaan naar de gezondheidsimpacts van deze trends in pollenblootstelling, en de huidige ziektelast en maatschappelijke kosten door hooikoorts in Nederland zijn niet bekend. Veel patiënten behandelen hun klachten zelf waardoor de data uit huisartsenregistraties worden beschouwd als een onderschatting. De mate waarin de trends in duur en intensiteit van het pollenseizoen invloed hebben op de ziektelast en de maatschappelijk kosten is daarom niet met zekerheid te kwantificeren. Het is wel zeer waarschijnlijk dat de ziektelast en maatschappelijk kosten toenemen. De betrouwbaarheid is echter nog laag.

## **Expertbeoordeling**

De experts binnen het RIVM zijn betrokken bij onderzoeksvorstellen en (rapport)publicaties op het thema en zijn op de hoogte van de nieuwste literatuur en onderzoeken.. Zowel intern als extern zijn zij betrokken bij diverse werkgroepen en (internationale) samenwerkingen op het thema. Voor dit factsheet is er dan ook veel gebruik gemaakt van expert judgement.

Omdat er veel integraliteit bestaat bij de gezondheidseffecten tussen de thema's is gestreefd om tijdens de expertsessies alle themaexperts (of vervanging) aanwezig te hebben. Ook PBL is regelmatig bij deze sessies aanwezig geweest. Zoals bij de expertsessie om de onzekerheid en betrouwbaarheid vast te leggen.

## **Referenties factsheet pollenallergieën**

Anenberg, S.C., Haines, S., Wang, E. *et al.* (2020). Synergistic health effects of air pollution, temperature, and pollen exposure: a systematic review of epidemiological evidence. *Environ Health* 19, 130 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00681-z>.

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. Clin Exp Allergy 2007;37(5):772-9.  
DOI: 10.1111/j.1365-2222.2007.02706.x.

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

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

Brunekreef, Bert, Gerard Hoek, Paul Fischer, Frits Th M Spieksma (2000). Relation between airborne pollen concentrations and daily cardiovascular and respiratory-disease mortality. The Lancet Research letters. Vol 355. April 29, 2000

Cardell, LO., 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>

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

El Kelish, A, Zhao F, Heller W, et al.. (2014). Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen allergenicity: superSAGE transcriptomic analysis upon elevated CO<sub>2</sub> and drought stress. BMC Plant Biol. 2014;14:176.  
<https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-176>.

Fischer, Paul H., Bert Brunekreef, Erik Lebret (2004). Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands, Atmospheric Environment, Volume 38, Issue 8, 2004, Pages 1083-1085, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.11.010>.

Floron (2023). Analyse trend en hotspots Alsemambrosia.

Hall, E.F., R.J.M. Maas, J. Limaheluw, C.D. Betgen (2021). Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering. RIVM-Rapport 2020-0200.

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



Houweling, D., J. van der Helm, A. Versteeg-de Jong, J. Wesseling, C. Boomsma, S. van Wijk (2021). Advies over nut en noodzaak van een pollenmeetnetwerk. RIVM-briefrapport 2021-0221.

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

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.

Jaakkola, Jouni J K, Simo-Pekka Kiihamäki, Simo Näyhä, Niilo R I Ryti, Timo T Hugg, Maritta S Jaakkola (2021). Airborne pollen concentrations and daily mortality from respiratory and cardiovascular causes, *European Journal of Public Health*, Volume 31, Issue 4, August 2021, Pages 722–724, <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckab034>.

Maurer, M. & Zuberbier, T. (2007). Undertreatment of rhinitis symptoms in Europe: findings from a cross-sectional questionnaire survey. *Allergy*. 2007;62(9):1057-63.

Meltzer, Eli O. (2001). Quality of life in adults and children with allergic rhinitis, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, Volume 108, Issue 1, Supplement, 2001, Pages S45-S53, ISSN 0091-6749, <https://doi.org/10.1067/mai.2001.115566>.

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>.

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

Schreurs, W., Schermer, T.R.J., Akkermans, R.P. et al. (2022). 25-year retrospective longitudinal study on seasonal allergic rhinitis associations with air temperature in general practice. *Npj Prim. Care Respir. Med.* 32, 54 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41533-022-00319-2>.

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

Thien, F., Beggs, P.J., Csutoros, D., Darvall, J., Hew, M. et al. (2018). The Melbourne epidemic thunderstorm asthma event 2016: an investigation of environmental triggers, effect on health services, and patient risk factors. *Lancet Planet Health* 2018; 2: e255–63.

Van der Ree, J., C. Betgen, C. Boomsma, A. van Dijk, L. Hall, D. Houweling, J. Limaheluw, K. Rijs (2022) Plan van aanpak Onderzoeksprogramma Klimaatverandering en gezondheidseffecten. RIVM-rapport 2022-0030.

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: casecontrol study. *J Allergy Clin Immunol* 2007; 120(2):381-7  
DOI:10.1016/j.jaci.2007.03.034.

Weger, L.A. de, Bruffaerts, N., Koenders, M.M.J.F., Verstraeten, W.W., Delcloo, A.W., Hentges, P. and Hentges, F. (2021). Long-Term Pollen Monitoring in the Benelux: Evaluation of Allergenic Pollen Levels and Temporal Variations of Pollen Seasons. *Front. Allergy* 2:676176.  
Doi:10.3389/falgy.2021.676176.

Weger, Letty A. de, Abraham C. van der Linden, Ingrid Terreehorst, Wout J. van der Slikke, Arnold J.H. van Vliet, Pieter S. Hiemstra (2009). Ambrosia in Nederland; Allergische sensibilisatie en verspreiding van planten en pollen. *Ned Tijdschr Geneeskd.* 2009;153:B340.

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

Zhang, Y., Steiner, A.L. (2022). Projected climate-driven changes in pollen emission season length and magnitude over the continental United States. *Nat Commun* 13, 1234 (2022).  
<https://doi.org/10.1038/s41467-022-28764-0>.

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

## 8 Factsheet Infectieziekten

RIVM expert: J. Limaheluw, redactie: C.D. Betgen

*Het gezondheidsrisico voor infectieziekten wordt beïnvloed door stijgende temperatuur, veranderingen in neerslag, evaporatie en UV-straling, en toename in overstromingskans en vectoren. Dit leidt tot een gunstiger klimaat voor bepaalde (nieuwe) infectieziekten. De ziekteverwekkers die deze infectieziekten veroorzaken kunnen worden overgedragen door water, lucht, bodem of voedsel en via vectoren.*

### **Inleiding**

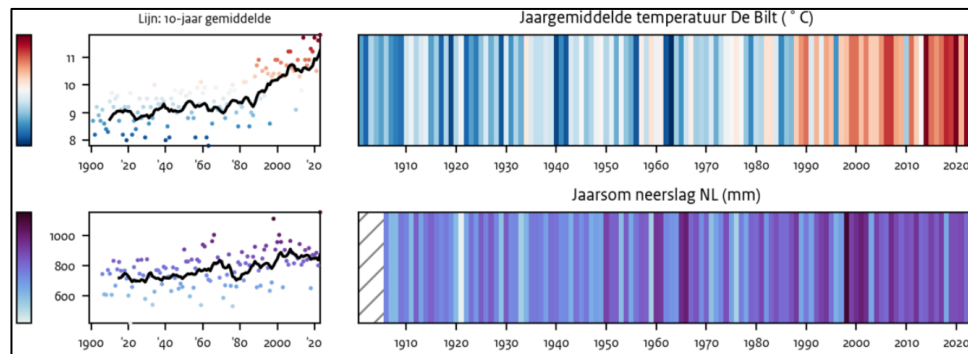
Veel ziekteverwekkers (bacteriën, virussen, parasieten, schimmels, amoeben, wormen) zijn klimaatgevoelig. Ziekteverwekkers kunnen worden overgedragen via het milieu (water, lucht, bodem), voedsel (voorbeelden zijn *Campylobacter* en *Vibrio*) en via vectoren (muggen en teken). Het voorkomen van ziekteverwekkers en de overdracht naar en blootstelling van de mens worden beïnvloed door klimaatfactoren zoals temperatuur en luchtvochtigheid. Naast klimaatverandering beïnvloeden ook andere factoren, zoals internationalisering (transport en reizen), gedwongen en vrijwillige migratie, verstedelijking en vergrijzing, klimaatadaptatiemaatregelen en andere (toekomstige) ontwikkelingen in de leefomgeving de infectieziektelast.

Om de invloed van klimaatverandering op infectieziekten beter in beeld te krijgen inventariseert het RIVM bestaande kennis, genereert nieuwe kennis en worden modellen (door)ontwikkeld om het effect van klimaatverandering te kwantificeren. Deze factsheet gaat in op vectoren (muggen, teken), wateroverdraagbare infectieziekten en legionellose.

De ziektelast door klimaatverandering op andere infectieziekten moet nog worden vastgesteld zoals bijvoorbeeld door blootstelling aan blauwalgen. Zo ook die ten gevolge van mogelijke nieuwe zogenaamde emergentia infectieziekten zoals bijvoorbeeld resistente schimmels.

### **Klimaatdreiging**

De nu bekende belangrijkste klimaatdreigingen voor gezondheidsrisico's gerelateerd aan infectieziekten zijn: het wordt warmer en het wordt natter (verhoogde kans op overstromingen). In figuur 1 is de trend vanaf 1901 te zien.



Figuur 8.1 Jaargemiddelde temperatuur en jaarsom neerslag nemen toe (bron: KNMI, 2023).

Voor zover nu bekend is uit gerapporteerde studies zou de ziektelast van meer dan de helft van alle humane infectieziekten wereldwijd kunnen toenemen door klimaatverandering (Mora et al., 2022). Dit komt zowel door effecten op infectieziekten die al in een land voorkomen, als door mogelijke effecten op de opkomst en vestiging van nieuwe infectieziekten zoals ziekten die worden overgedragen door muggen (Braks, De Roda Husman, 2013). De precieze omvang van deze effecten voor Nederland is nog onduidelijk (Hall et al., 2021).

### Muggen

Klimaatverandering kan ertoe leiden dat het Nederlandse klimaat geschikt(er) wordt voor vestiging van nieuwe muggensoorten en het uitbreken van nieuwe infectieziekten. Voor sommige soorten, zoals de Aziatische tijgermug (*Aedes albopictus*), die het Dengue-, Zika- en Chikungunyavirus kan overbrengen, is het klimaat in Nederland al geschikt voor vestiging (Hall et al., 2021). De afgelopen jaren is Nederland geconfronteerd met verschillende nieuwe muggenoverdraagbare infectieziekten. In 2016 vond er voor het eerst een uitbraak van een door muggen overgedragen virus onder vogels plaats (Rijks et al., 2016). De inheemse huissteekmug *Culex pipiens* is verantwoordelijk voor de circulatie van zowel dit Usutuvirus als het Westnijlvirus. Het Westnijlvirus dook in 2020 voor het eerst op in Nederland in zowel vogels, als muggen en trof acht mensen<sup>70</sup>.

Monitoring van muggen en vogels en toenemende bewustwording van het klachtenpatroon van Westnijlkoorts<sup>71</sup> onder artsen en burgers zijn cruciaal om dit risico verder in kaart te brengen. De Aziatische tijgermug heeft zich nog niet in Nederland gevestigd, maar komt wel regelmatig het land binnen via internationaal transport van goederen. In andere delen van Europa heeft de mug zich wel gevestigd. Met name in landen rond de Middellandse Zee en de Zwarte zee. Maar inmiddels ook in gebieden dichterbij Nederland zoals delen van Zwitserland, Duitsland en Noord-Frankrijk (ECDC & EFSA<sup>72</sup>). Deze ontwikkeling, in combinatie met klimaatverandering vergroot de vestigingsdruk op Nederland. In dezelfde tijd heeft het internationale vliegverkeer een vlucht genomen

<sup>70</sup> <https://www.rivm.nl/westnijlkoorts>

<sup>71</sup> <https://www.rivm.nl/westnijlkoorts>

<sup>72</sup> European Centre for Disease Prevention and Control and European Food Safety Authority. Mosquito maps [internet]. Stockholm: ECDC; 2023. Available from: <https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps>

en daarmee de introductie van ziekteverwekkers zoals het denguevirus door geïnfecteerde toeristen. Hierdoor ontstaat (bij vestiging van een geschikte vector) het risico op lokale uitbraken van bijvoorbeeld dengue, zoals nu al wordt gezien in Frankrijk, Spanje en Italië (ECDC<sup>73</sup>). Met de verwachte hogere zomertemperaturen vergroot dit het toekomstige risico op lokale overdracht van mug-overdraagbare infectieziekten in Nederland. Echter zal het Nederlandse klimaat volgens de onderzochte scenario's en tijdslijnen niet warm genoeg worden voor grootschalige overdracht van deze ziekten (Kraemer et al., 2019; Liu-Helmerson et al., 2016; Messina et al., 2019).

### Teken

Gemiddeld is 20% van de teken besmet met de bacterie die de ziekte van Lyme<sup>74</sup> kan veroorzaken. Een tekenbeet kan tot overdracht van deze ziekteverwekker leiden. Onderzoek naar het effect van klimaatverandering op de tekenpopulatie in Nederland over de afgelopen 20 jaar laat zien het tekenseizoen nu ongeveer een maand eerder begint ten opzichte van de jaren vijftig van de vorige eeuw, maar dat de tekenpopulatie zelf niet toeneemt (Hartemink et al., 2019).

Sinds 2016 worden jaarlijks ook enkele humane infecties met het tekenencefalitisvirus<sup>75</sup> (TBE-virus) gemeld. Hogere temperaturen lijken de overdracht van dit virus te bevorderen (Daniel et al., 2018). Meer kennis over de ziekte van Lyme bij zowel recreanten en artsen zou een reden kunnen zijn voor de stabilisatie van incidentie.

### Water

*Vibrio*-bacteriën komen voor in kustwateren en kunnen via de mond (bijvoorbeeld door eten van besmette schelpdieren of inname van besmet water tijdens het zwemmen) of huid voor gezondheidsklachten zorgen zoals maag- en darmklachten of wondinfecties. In de extreem warme zomer van 2006 werden in verschillende Europese landen waaronder Nederland een opvallend aantal wond- en oorinfecties gezien (Schets et al., 2006). Deze werden veroorzaakt door blootstelling aan *V. alginolyticus*. Door klimaatverandering warmt het zeewater langs de Noordzeekust op en is de verwachting dat de aanwezigheid van *Vibrio*-bacteriën in het zeewater zal toenemen. Het risico op infectie met *Vibrio*-soorten door recreatie wordt hierdoor groter (Sterk et al., 2015).

Extreme neerslag in korte tijd kan ervoor zorgen dat water op straat komt te staan. Afspoeling van vieze straten en eventuele overstort van riolering zorgt voor infectierisico's (maag-, darm- en luchtweginfecties) bij aanraking met het water (Mulder et al., 2019). Dit betreft bijvoorbeeld *Campylobacter* en *Cryptosporidium* (Sterk et al., 2016).

Tijdens warmere zomers worden gemiddeld meer zwemwatergerelateerde klachten gerapporteerd (Limaheluw et al., 2020). Gezondheidsklachten kunnen ontstaan door blootstelling aan microbiologisch verontreinigd zwemwater (dierlijke) ontlasting, ongezuiverd afvalwater, te veel natuurlijke micro-organismen zoals

<sup>73</sup> <https://www.ecdc.europa.eu/en/all-topics-z/dengue/surveillance-and-disease-data/autochthonous-transmission-dengue-virus-eueea>

<sup>74</sup> <https://www.rivm.nl/ziekte-van-lyme>

<sup>75</sup> <https://www.rivm.nl/tekenencefalitis>

blauwalg). Doordat zomers steeds warmer worden, gaan mensen mogelijk vaker recreëren in oppervlaktewater, waaronder op niet-officiële zwemlocaties, waar de waterkwaliteit niet wordt gecontroleerd (Schets et al., 2022; Wegwijzer Wildzwemmen, 2023). Ook het voorkomen van blauwalg op een locatie kan hieraan bijdragen. Hierdoor kan de ziektelast gerelateerd aan recreatie in water ook toenemen.

### *Legionellose*

Legionellose is een luchtverdraagbare infectieziekte die wordt veroorzaakt door de legionellabacterie. Legionella<sup>76</sup> groeit in water met een temperatuur tussen de 20 en 50 graden Celsius en kan via nevel worden ingeademd. Er zijn duidelijke associaties gevonden tussen de incidentie van legionellose en bepaalde weersomstandigheden, zoals periodes met droog en warm weer gevolgd door regen (Pampaka et al., 2022; Brandsema et al., 2014). Door toename in temperatuur en neerslag zijn omstandigheden voor groei van Legionellabacteriën in het milieu en gerelateerde infectierisico's mogelijk al toegenomen (Han, 2021). Opwarming van drinkwater in het distributienet kan leiden tot hogere infectierisico's van bepaalde opportunistische ziekteverwekkers, waaronder legionellabacteriën. In het geval van *L. pneumophila*, dat de meeste gevallen van legionellose veroorzaakt, kan groei optreden in het drinkwaterdistributiesysteem als de watertemperatuur meerdere dagen boven de 28 graden Celsius is (KWR, 2020). Bij andere ziekteverwekkers zoals *Pseudomonas aeruginosa* ligt deze grenswaarde lager. De huidige maximum norm voor de drinkwatertemperatuur is 25 graden Celsius. Door klimaatverandering komen overschrijdingen van deze norm in de toekomst in het stedelijk gebied mogelijk vaker voor (Agudelo-Vera et al., 2017).

Naast deze ziekteverwekkers zijn er dus nog meer ziekteverwekkers die mogelijk een rol kunnen gaan spelen door klimaatverandering.

### *Frequentie*

Teken komen het hele jaar voor en worden actief boven de 7 graden Celsius. In juni en juli is het aantal tekenbeetmeldingen het hoogst<sup>77</sup>. In de winter worden daarom maar weinig mensen gebeten. Door toenemende temperaturen in de winter kan het echter voorkomen dat teken al vroeg in het jaar actief worden. De periode dat mensen kunnen worden gebeten wordt dus langer.

De meeste muggenoverlast vindt plaats in de zomermaanden. Onder hoge temperaturen planten muggen zich sneller voort. Maar ook in de winter blijven sommige muggensoorten actief en worden mensen gestoken. Er wordt onderzocht welke muggen dit zijn en of zij ziekteverwekkers meedragen<sup>78</sup>.

Veel wateroverdraagbare ziekteverwekkers zijn afhankelijk van neerslag en (water)temperatuur (De Roda Husman, A.M., F.M. Schets, 2010). Daarnaast is waterrecreatie een belangrijke blootstellingsroute. Daarom zijn ze vaak seizoensgebonden. In de (na)zomer zijn de

<sup>76</sup> <https://www.rivm.nl/legionella>

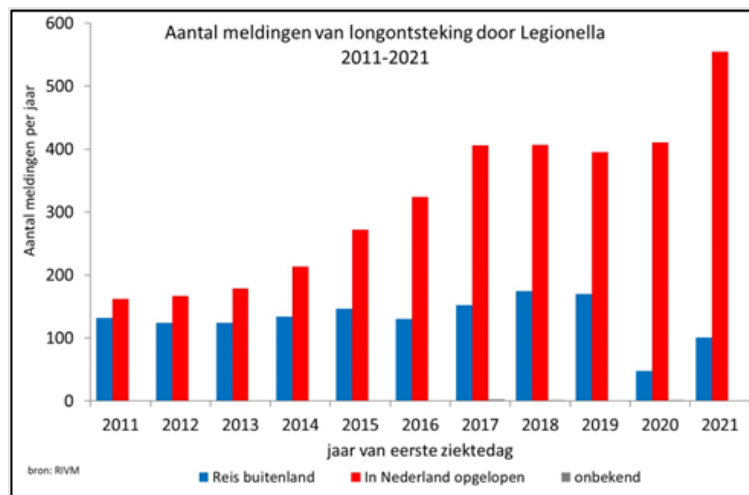
<sup>77</sup> <https://www.rivm.nl/nieuws/tien-jaar-tekenradar-80000-tekenbeetmeldingen-kans-op-tekenbeet-in-drenthe-grootst>

<sup>78</sup> <https://www.naturetoday.com/intl/nl/observations/mosquito-radar>

watertemperaturen van de zee en andere waterlichamen het hoogst en wordt het meest gerecreëerd. Een risico van infectie door een *Vibrio*-soort zal dus voornamelijk aanwezig zijn gedurende de zomermaanden (juli-september). Er is een duidelijk verband tussen zomerse dagen en klachtenincidentie. De verwachting is ook dat meer mensen gezondheidsklachten gaan krijgen door recreatie in (niet-gecontroleerd) oppervlaktewater door klimaatverandering (Limaheluw et al., 2020; Schets et al., 2022; Wezenberg-Hoenderkamp en Floor, 2020).

Dat Nederland vaker te maken krijgt met extreme regenbuien met als gevolg water op straat of overstromingen is zeer waarschijnlijk. Hoe vaak deze omstandigheden optreden is echter nog onzeker. Daarom is het ook moeilijk te voorspellen of er uitbraken van infectieziekten hierop volgen.

Het aantal meldingen van longontsteking door Legionella is gestegen in de afgelopen 10 jaar<sup>79</sup> (figuur 2). De toename werd gezien in meerdere regio's van het land en hangt waarschijnlijk samen met bepaalde weersomstandigheden die gunstig zijn voor groei en verspreiding van Legionella uit omgevingsbronnen (Klous et al., 2022). Deze weeromstandigheden zouden zich door klimaatverandering vaker kunnen voordoen en dus voor meer infecties zorgen.



Figuur 8.2 Aantal meldingen van longontsteking door Legionella (bron: RIVM).

### Secundaire effecten

Na de overstromingen in Limburg/Duitsland/België van 2021 zijn mogelijke infectierisico's in kaart gebracht door het Europees Centrum voor ziektepreventie en -controle (ECDC, 2021). Dit wees op mogelijk verhoogde risico's voor bijvoorbeeld leptospirose<sup>80</sup>. Door beschadiging aan infrastructuur, onregelde gezondheidszorg en minder mogelijkheden tot afstand houden door evacuaties etc., kunnen er ook verhoogde risico's op infectieziekten(uitbraken) optreden.

<sup>79</sup> <https://www.rivm.nl/legionella>

<sup>80</sup> <https://www.rivm.nl/leptospirose>

## Blootstelling

Infectieziekten worden veroorzaakt door een combinatie van factoren: (1) aanwezigheid van de ziekteverwekker, (2) de juiste (combinatie van) omstandigheden voor vermenigvuldiging en (3) blootstelling van mens of dier.

Potentiële blootstelling aan de hier genoemde vectoroverdraagbare infectieziekten is nagenoeg gelijk voor iedereen. Muggen en teken zijn overal te vinden. Of daadwerkelijk blootstelling plaatsvindt hangt ervan af of mensen tijd doorbrengen in het groen of bijvoorbeeld een tuin hebben. Muggen leggen eitjes in stilstaand water. Ook teken komen overal voor en zitten vooral in hoog gras of tussen dode bladeren, het liefst bij bomen of struiken. Elk jaar worden ruim 1,5 miljoen mensen door een teek gebeten<sup>81</sup>. Het risico om een tekenbeet op te lopen is iets groter in gebieden met veel groen, zoals een bos of een park. Door klimaatverandering is het aantal warme dagen toegenomen waardoor het kan zijn dat mensen meer naar buiten gaan en wellicht meer worden blootgesteld aan teken.

Blootstelling aan wateroverdraagbare infectieziekten kan plaatsvinden door het zwemmen/recreëren in (zee)water met ziekteverwekkers. Ook hier geldt dat blootstelling dus alleen plaats kan vinden als iemand daadwerkelijk in aanraking komt met (zee)water. Blootstelling aan water op straat na een heftige regenbui of overstroomd gebied kan natuurlijk alleen plaatsvinden na deze extremen. Kinderen zijn vaak geneigd om in dit water te spelen, wat het risico van blootstelling aan wateroverdraagbare infectieziekten doet stijgen. Dit dient dus vermeden te worden.

Blootstelling aan legionella is vaak afkomstig van een afgebakende bron. Bij een uitbraak wordt potentieel maar een beperkt aantal mensen blootgesteld. Sommige bronnen van Legionellabacteriën, zoals AWZIs of koeltorens kunnen echter wel over grote afstanden (tot zeker 10km van de bron) blootstelling veroorzaken.

### Geografie

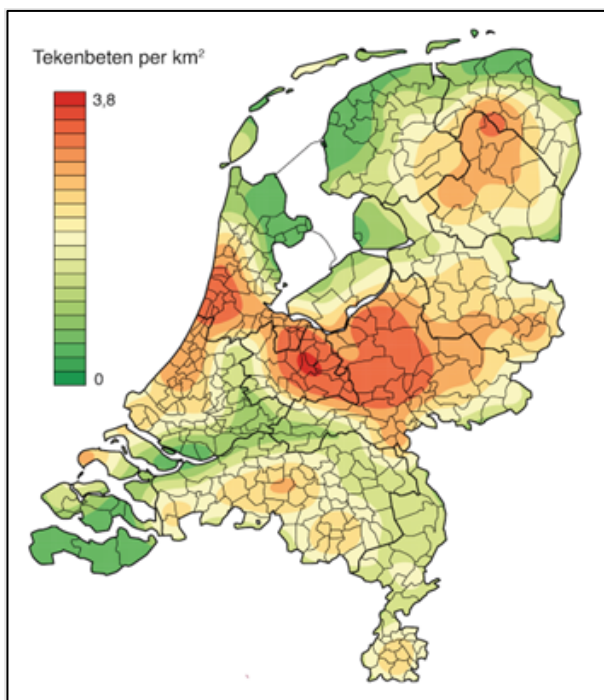
Muggen en teken komen overal in Nederland voor. De dichtheid van de aanwezigheid van teken is wel verschillend<sup>82</sup>. De meeste tekenbeetmeldingen komen uit Gelderland gevolgd door Noord-Brabant en Noord-Holland (figuur 3). Relatief worden de meeste tekenbeten per inwoner gemeld in Drenthe, en de minste in Zuid-Holland<sup>83</sup>. Monitoring van invasieve exotische muggen vindt plaats op plekken waar zij via import van goederen of reizigers Nederland binnen kunnen komen.

<sup>81</sup> <https://www.rivm.nl/vragen-en-antwoorden-tekenbeten-en-lyme>

<sup>82</sup> <https://www.utwente.nl/en/news/2019/10/63588/university-of-twente-maps-out-ticks-in-the-netherlands>

<sup>83</sup> <https://www.rivm.nl/nieuws/tien-jaar-tekenradar-80000-tekenbeetmeldingen-kans-op-tekenbeet-in-drenthe-grootst>





*Figuur 8.3 Op deze kaart is te zien waar de meeste tekenbeten via Tekenradar gemeld worden. In deze gebieden zitten niet alleen veel teken, maar komen ook veel mensen (bron: Tekenradar.nl).*

Waar meer mensen wonen en/of recreëren is waarschijnlijk ook een hogere kans op een tekenbeet. De geografische verschillen in tekenbeten hebben dus vooral te maken met de gedragingen of aanwezigheid van mensen. Ook geldt voor tekenbeten dat kinderen, (vanwege buitenspelen), groenwerkers en kampeeders/groenrecreanten een hoger risico hebben om door een teek gebeten te worden vanwege hogere blootstelling aan groen. Onderzoek naar teken, tekenbeten en het voorkomen van de ziekte van Lyme wordt nog volop gedaan.

Wateroverdraagbare infectieziekten zijn gebonden aan kustwateren, oppervlaktewateren en overstromde gebieden. Mensen die wonen in gebieden die gevoelig zijn voor overstromingen door rivieren of water op straat zijn kwetsbaarder voor water overdraagbare infectieziekten. Ook schoonmakers na overstromingen zijn extra kwetsbaar voor blootstelling.

Het risico op een luchtoverdraagbare infectieziekte kan verhoogd zijn in de buurt van bepaalde bronnen. Vanwege het verhogen van de duurzaamheid wordt bijvoorbeeld biogas gewonnen uit afvalwater. Het risico op een legionella-infectie is hoger in de buurt van dergelijke afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZIs) (Vermeulen et al., 2019).

Relevante indicatoren:

- *Vibrio* in schelpdieren (beperkte monitoring door RIVM in opdracht van NVWA);
- Tekenbeten (tekenradar.nl);
- Tekenverspreiding (Tick maps (europa.eu)).

## Gevoeligheid

Over het algemeen geldt dat kinderen, ouderen en chronisch zieken vatbaarder zijn voor infectieziekten. De hoogste incidentie van de ziekte van Lyme wordt gerapporteerd bij kinderen (5-14 jaar). Het is niet wetenschappelijk aangetoond dat mensen met een verminderde weerstand een grotere kans hebben op de ziekte van Lyme<sup>84</sup>. Een ernstige longontsteking na legionellose komt vaker voor bij ouderen, mensen een verminderde afweer door bijvoorbeeld een chronische ziekte, mensen die afweerremmende medicijnen gebruiken en rokers<sup>85</sup>.

## Adaptatiecapaciteit

Gedrag is een belangrijke factor in het risico op het krijgen van een infectieziekte. Voor muggen en teken is het belangrijk om je huid te bedekken zodat de kans op een beet wordt verkleind. Bij teken is het belangrijk om jezelf te controleren op tekenbeten, met name na blootstelling aan het groen.

Om overlast van muggen rondom het huis te verminderen is het belangrijk om te zorgen dat er geen stilstaand water rondom het huis is waar muggen hun eitjes in leggen. Daarnaast zijn er insectwerende maatregelen zoals horren of het gebruik van een insectwerend middel op de huid.

De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) bestrijdt exotische muggen en ziet erop toe dat bedrijven zich aan de regels houden<sup>86</sup>. Door te monitoren waar de exotische muggen zich bevinden en vervolgens te bestrijden wordt vestiging in Nederland tegengegaan.

Waterlichamen of waterbergingsplekken worden vaak gebruikt in de openbare ruimte als klimaatadaptatiemaatregel. Hierbij moet rekening worden gehouden dat dit water in beweging blijft om te voorkomen dat muggen eitjes leggen op het wateroppervlak.

Om veilig te kunnen zwemmen zijn er aangewezen zwemplekken die tijdens het zwemseizoen regelmatig gecontroleerd worden op ziekteverwekkers. Zwemmen in gecontroleerde wateren verkleint het risico op infectieziekten. Communicatie over kwaliteit en gebruik van zwemwater en eventuele geldende waarschuwingen, negatieve zwemadviezen of zwemverboden is een taak van de provincies. Hiervoor wordt onder andere gebruik gemaakt van zwemwater.nl en informatieborden op de zwemlocaties. Bij het implementeren van nieuwe waterconcepten kan met de Waterkwaliteitscheck<sup>87</sup> worden nagegaan wat mogelijke infectierisico's zijn, en welke maatregelen genomen kunnen worden om deze risico's te beperken.

Voor de legionellabacterie zijn er adviezen en wettelijke richtlijnen (in het geval van bijvoorbeeld koeltorens en bepaalde collectieve leidingwaterinstallaties zoals die van ziekenhuizen) die zijn opgesteld om infectierisico's te verkleinen. De maximumnorm voor

<sup>84</sup> <https://ici.rivm.nl/richtlijnen/lymeziekte>

<sup>85</sup> <https://www.rivm.nl/legionella>

<sup>86</sup> <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/muggen-knutten-en-teken>

<sup>87</sup> <https://waterkwaliteitscheck.nl/home>

drinkwatertemperatuur is 25 graden Celsius, en het aanhouden van deze norm zal de infectierisico's van drinkwater onder klimaatverandering kunnen beperken (KWR, 2020).

Vanuit de praktijk is steeds meer vraag naar hoe klimaatadaptatiemaatregelen op een goede manier kunnen worden ingezet. Zo wordt ook ingezet op het verminderen van mogelijke risico's die kunnen ontstaan door bijvoorbeeld groene en blauwe adaptatiemaatregelen op ziekteverwekkers. Meer inzicht in de omstandigheden die hieraan bijdragen, en de gerelateerde risico's zijn te vinden in de Waterkwaliteitscheck<sup>88</sup> en op het Kennisportaal Klimaatadaptatie<sup>89</sup>.

### Impact

De ziektelast van in Nederland voorkomende infectieziekten varieert per jaar. In 2018 was de ziektelast van (onderzochte) infectieziekten iets minder dan 10% van de totale ziektelast in Nederland. Influenza (griep) is doorgaans de belangrijkste oorzaak van ziektelast veroorzaakt door infectieziekten (10.200 DALY's<sup>90</sup> in 2021).

Ter vergelijking, de ziektelast van COVID-19 in 2021 is geschat op 218.900 DALY's (RIVM, 2022). In 2021 stierven 2981 mensen aan infectieuze en parasitaire ziekten (indicatie voor infectieziekten). Aan COVID-19 stierven bijna 20.000<sup>91</sup> mensen.

Overall het algemeen geldt dat ouderen en chronisch zieken vatbaarder zijn voor infectieziekten.

De ziektelast van de hier besproken infectieziekten is niet altijd bekend. Er zijn infectieziekten die klimaatgevoelig zijn, en die in de huidige situatie al veel mensen besmetten/doden veroorzaken. Maar er zijn geen cijfers over de rol van klimaatverandering daarin.

### *Muggenoverdraagbare infectieziekten*

In 2020 is voor het eerst in Nederland een opgelopen westnijlvirusinfectie bij mensen is vastgesteld. Westnijlkoorts, veroorzaakt door het Westnijlvirus, verloopt bij 80% van de mensen klachtenvrij. In 20% van de gevallen treden er milde griepachtige symptomen op, 1% kan een ernstig verloop krijgen, zoals hersen(vlies)ontsteking<sup>92</sup>. Van ernstige klachten overlijden 1 op de 7 tot 1 op 25 mensen (4%-14%)<sup>93</sup>. Sinds 2020 zijn er geen nieuwe lokale gevallen van deze of andere muggenoverdraagbare infectieziekten gemeld, hoewel het westnijlvirus incidenteel nog bij vogels is aangetroffen. In het kader van klimaatverandering gaat er vooral aandacht uit naar de muggen van het geslacht *Aedes*. Deze muggen kunnen, afhankelijk van de soort, als vector optreden van bijvoorbeeld het Dengue-, Chikungunya-, of Zikavirus.

<sup>88</sup> <https://waterkwaliteitscheck.nl/home>

<sup>89</sup> <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/stedelijke-waterkwaliteit/>

<sup>90</sup> DALY: Disability Adjusted Life Years. Maat voor ziektelast ('burden of disease') in een populatie; opgebouwd uit het aantal verloren levensjaren (door vroegtijdige sterfte), en het aantal jaren geleefd met gezondheidsproblemen (bijvoorbeeld een ziekte), gewogen voor de ernst hiervan.

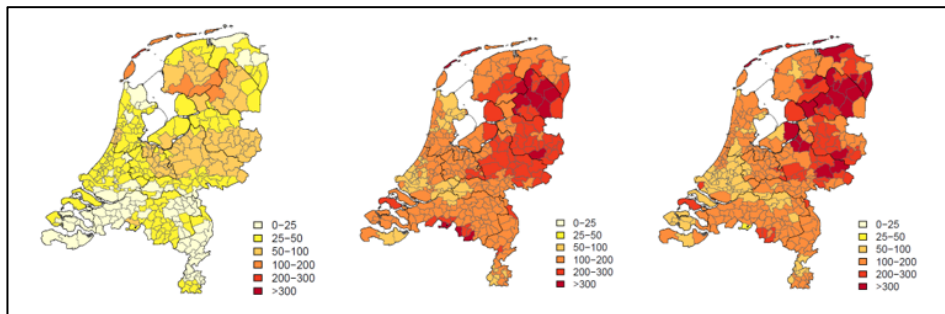
<sup>91</sup> <https://www.vzinfo.nl/infectieziekten/sterftcijfers>

<sup>92</sup> <https://www.rivm.nl/westnijlkoorts>

<sup>93</sup> Cijfers op <https://www.rivm.nl/westnijlkoorts>

### Lyme en tekenencefalitisvirus

Ongeveer 27.000 mensen krijgen jaarlijks de ziekte van Lyme, die door teken wordt overgedragen. De incidentie van de ziekte van Lyme is tussen 1993 en 2009 sterk toegenomen (van 39 naar 134 per 100.000 mensen) maar lijkt de laatste jaren te stabiliseren (figuur 4). Echter is er ondanks voorlichtingscampagnes en toegenomen bewustzijn over de risico's van teken(beten) nog geen daling ingezet. Het ziektebeeld van Lyme is wisselend (van koorts tot gewrichtspijn) en kan in een vroeg stadium worden behandeld met antibiotica. Indien onopgemerkt en niet behandeld met antibiotica kan de ziekte van Lyme tot langdurige klachten leiden (gewrichts-, huid-, zenuw- of hartklachten)<sup>94</sup>. De ziektelast van vectoroverdraagbare infectieziekten is bijna volledig toe te schrijven aan Lyme borreliose en bedroeg in 2017 ongeveer 2.200 DALY's (de Gier et al., 2018).



Figuur 8.4 Aantal lymediagnoses met rode vlek/ring in 1994, 2017 en 2021 per 100.000 inwoners (bron: <https://www.tekenradar.nl/>).

Tekenencefalitisvirus<sup>95</sup> is een hersen(vlies)ontsteking en kan in zeldzame gevallen een ernstig verloop hebben. Mensen met deze ernstige klachten overlijden heel zelden aan deze ziekte: ongeveer 1-2% van de patiënten met een hersen(vlies)ontsteking overlijdt. Een deel van deze patiënten houdt na de infectie nog neurologische restverschijnselen. Maar 1 op de 1500 teken zijn besmet met dit virus, in 2020 zijn 5 mensen ziek geworden door het TBE-virus<sup>96</sup>. Er zijn geen specifieke medicijnen tegen tekenencefalitis. Er is wel een vaccin dat voor 95% bescherming geeft. Mensen die lange tijd verblijven in gebieden waar tekenencefalitis veel voorkomt, kunnen zich laten vaccineren.

### Vibrio en wateroverdraagbare infectieziekten

Contact met water op straat levert verhoogde risico's op voor maag-darm en luchtweginfecties (Mulder, 2021). Een besmetting met *Vibrio*-bacteriën kan voor gezondheidsklachten zorgen zoals maag- en darmklachten of wondinfecties. In totaal zijn er in 2017, 2018 en 2019, 323 meldingen gemaakt van gezondheidsklachten na zwemmen die samen betrekking hadden op 1093 patiënten (Limaheluw et al., 2020). De soorten gezondheidsklachten (en verdeling) die worden gemeld als gevolg van waterrecreatie zijn sinds deze worden bijgehouden (door middel van de Zwemwaterenquête) ongeveer hetzelfde gebleven. De meest gemelde gezondheidsklachten na waterrecreatie zijn huidklachten (65%), gevolgd door maag-darmklachten (19%). Nog eens 6% had

<sup>94</sup> <https://www.rivm.nl/ziekte-van-lyme>

<sup>95</sup> <https://www.rivm.nl/tekenencefalitis>

<sup>96</sup> <https://www.rivm.nl/tekenencefalitis>

huidklachten én maag-darmklachten. De overige 10% had andere klachten. Bij andere klachten gaat het bijvoorbeeld om hoofdpijn of koorts (Limaheluw et al., 2020).

### *Legionella*

In 2021 werden 556 meldingen gemaakt van Legionella longontsteking opgelopen in Nederland. In 2011 waren dit er rond de 170. Er is dus sprake van een stijgende trend. In 2021 zijn 29 mensen overleden aan de infectie. Symptomen van een Legionella besmetting zijn griepachtige klachten. Soms veroorzaakt een besmetting een ernstige longontsteking waar mensen aan kunnen overlijden. In 2021 was de ziektelast van legionellose 9.300 DALY's.

Relevante indicatoren (bron):

- Gezondheidsklachten na waterrecreatie (RIVM);
- Legionellose: incidentie, sterfte en ziekte (RIVM);
- Westnijlkoorts: incidentie, sterfte (RIVM, of climatic suitability (volgens Lancet Countdown);
- Tekenencefalitisvirus: incidentie, sterfte en ziekte (NIVEL, RIVM);
- Ziekte van Lyme: incidentie, sterfte en ziekte (NIVEL, RIVM).
- Non-cholera *Vibrio*: geschiktheid kustlijn (Lancet Countdown)

### **Cascade-effecten**

Een uitbraak van een infectieziekte kan grote gevolgen hebben voor de samenleving (zie Wildcards).

### **Eindimpact: mens**

Een getroffen mens wordt hier gedefinieerd als geïnfecteerd met de infectieziekte. De klachten kunnen afwezig, mild tot ernstig zijn. Voor de meeste infectieziekten, waaronder de meeste klimaatgevoelige infectieziekten, is de bijdrage van klimaatverandering niet bekend en kan er geen inschatting worden gemaakt van de eindimpact.

### *Muggenoverdraagbare infectieziekten*

In 2020 zijn voor het eerst in Nederland opgelopen infecties met het westnijlvirus vastgesteld (zeven besmettingen). Sindsdien zijn er geen nieuwe lokaal opgelopen gevallen van een mugoverdraagbare infectieziekte gerapporteerd. Voor tenminste één sterfgeval van westnijlkoorts is er een uitbraak nodig waarbij ongeveer 700 tot 2500 mensen ernstig ziek zijn. Hiervoor zouden dan 7000 tot 25.000 mensen in totaal besmet moet zijn. In Nederland zijn deze getallen nog niet in zicht. Ook voor andere muggenoverdraagbare infectieziekten (Dengue-, Chikungunya-, of Zikavirus) worden dit soort besmettingsgetallen niet gehaald. De eindimpact is daarom laag (<10.000 getroffen mensen).

### *Lyme en tekenencefalitisvirus*

Klimaatverandering zorgt voor een langer tekenseizoen en waarschijnlijk meer buitenrecreatie. Elk jaar krijgen 27.000 mensen die ziekte van Lyme. Het is niet bekend welk aandeel hiervan een bijdrage is van klimaatverandering. De eindimpact is geschat op middel (10.000-100.000 getroffen mensen).

Tekencefalitis maakte in 2020 vijf mensen ziek, in de jaren daarvoor (2016-2019) ging het om één tot twee patiënten per jaar. De eindimpact is daarom laag (<10.000 getroffen mensen).

#### *Vibrio en wateroverdraagbare infectieziekten*

In Nederland is er geen meldplicht voor non-cholera *Vibrio*-infecties, waardoor er geen goed zicht is op eventuele trends in ziektegevallen. En dus ook geen inschatting van de bijdrage van klimaatverandering in de periode 1991-2020. Over de eindimpact kan dan ook geen uitspraak worden gedaan.

Het aantal doorgegeven gezondheidsklachten na zwemmen is relatief laag voor het aantal mensen dat zwemt in open water. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de relatieve milde symptomen die mensen niet melden. De verwachting is dat het daadwerkelijke aantal getroffen mensen hoger ligt. Er is een duidelijk verband tussen zomerse dagen en klachtenincidentie. Zomerse dagen zijn toegenomen door klimaatverandering, dus zal ook voor meer getroffen mensen hebben gezorgd. De eindimpact ligt volgens de geregistreerde cijfers op laag (<10.000 getroffen mensen), maar zou heel goed op middel kunnen liggen (10.000-100.000 getroffen mensen).

#### *Legionella*

Op basis van de aangiften was de incidentie van Legionella pneumonie in Nederland in de periode 1987-1998 0,27 per 100.000 inwoners. In de periode 1999-2000 steeg de incidentie (zonder de gevallen van Bovenkarspel) naar 0,91 per 100.000 inwoners (Schets en De Roda Husman, 2004). In de periode 2007 – 2014 schommelt de incidentie rond de twee per 100.000 om daarna verder te stijgen tot boven de drie per 100.000<sup>97</sup>. De stijging van de incidentie van Legionella zou goed verklaard kunnen worden door klimaatverandering. De omstandigheden waarbij de legionellabacterie voorkomt zijn gunstiger geworden (warmer en natter). Op basis van het aantal sterfgevallen is de eindimpact middel (10-100 doden).

#### **Eindrisico: economie**

Jaarlijks zorgen infectieziekten voor zorgkosten. De zorguitgaven voor infectieziekten in 2019 zijn geraamd op ruim 1,4 miljard euro. Dit komt neer op 1,5% van de totale uitgaven aan de gezondheidszorg in Nederland<sup>98</sup>. Naast zorgkosten zijn er ook kosten op verlies van arbeidsuren. Dit werkt vervolgens weer verder door in de sectoren waar deze mensen werken. De totale economische schade veroorzaakt door infectieziekten is onbekend.

De economische gevolgen van nieuwe infectieziekten kunnen groot zijn. Maar het is moeilijk om daarvoor een schatting te maken. Voor de COVID-19-pandemie waren de bedragen heel hoog (82,9 miljard euro volgens de Algemene Rekenkamer, 2023). Een beperkt aantal besmettingen van bijvoorbeeld het westnijlvirus waarbij de symptomen mild zijn zullen niet tot veel kosten leiden. In 2017 (van den Wijngaard et al., 2017) zijn de maatschappelijke kosten voor de ziekte van Lyme

<sup>97</sup> <https://www.vzinfo.nl/infecties-van-de-onderste-luchtwegen/leeftijd-en-geslacht/legionella>

<sup>98</sup> <https://www.vzinfo.nl/infectieziekten/sterftecijfers>

voor het eerst bepaald. De ziekte kost 20 miljoen euro per jaar. Buiten beschouwing van pandemische uitbraken is de schatting voor het eindrisico voor de economie voor infectieziekten, met het aandeel van klimaatverandering in gedachte, laag (< €100 miljoen per jaar).

### **Waarschijnlijkheid**

Door klimaatverandering kunnen bestaande infectieziekten verergeren en nieuwe infectieziekten opkomen. Voor verschillende infectieziekten is al een effect van klimaatverandering vastgesteld, zoals infecties veroorzaakt door *Vibrio*. Hoe vaak en op welke verspreidingschaal nieuwe infectieziekten opkomen is moeilijk vast te stellen. De verwachting is dat de waarschijnlijkheid toe gaat nemen, maar de frequentie is per infectieziekte weer anders.

### **Wildcards & kantelpunten**

Wildcards en kantelpunten zijn mogelijk relevant voor nieuwe infectieziekten en vectoren. Als een nieuw invasieve vectorsoort vestigt in Nederland kan er worden gesproken van een kantelpunt. Een duidelijk voorbeeld van een wildcard is het ontstaan en uitbreken van een nieuwe infectieziekte. De opkomst van bepaalde nieuwe zoönosen (infectieziekten die van dier op mensen kunnen worden overgedragen) wordt waarschijnlijk bevorderd door klimaatverandering (zie Internationale aspecten).

### *Pandemie*

Een pandemie kan geschaard worden onder het onderdeel wildcard omdat de gevolgen erg groot zijn. De afgelopen 30 jaar zijn er diverse pandemieën geweest, waarvan de impact niet groot is geweest in Nederland. Bijvoorbeeld SARS, Mexicaanse griep en Ebola. COVID-19 was daar een uitzondering op. De COVID-19 pandemie geeft inzicht op de impact van een pandemische infectieziekte. Klimaatverandering kan het risico op een pandemie zoals COVID-19 groter maken. Bijvoorbeeld vanwege migratiestromen van mensen doordat woongebieden onleefbaar worden. Maar ook dieren verplaatsen zich naar andere leefgebieden vanwege klimaatverandering (zoals vleermuizen in China) waardoor overdracht van virussen op de mens ineens mogelijk wordt door toegenomen blootstelling<sup>99</sup>. Het World Economic Forum schat dat een pandemie zoals COVID-19 eens in de 50 jaar kan voorkomen<sup>100</sup>.

De druk op de zorg was erg hoog. Er golden strenge maatregelen om verspreiding te voorkomen en nagenoeg alle sectoren in het land worden geraakt. De beschermmiddelen die gebruikt werden tijdens de COVID-19 pandemie (o.a. mondkapjes) hebben een grote milieu impact (RIVM, 2023).

### **Bestuurlijke situatie**

Klimaatadaptatiemaatregelen kunnen infectierisico's beïnvloeden maar zijn daar meestal niet specifiek op gericht. Meer groen en blauw in de leefomgeving kunnen invloed hebben op infectierisico's (o.a. Schets et al., 2022). Gemeenten zijn doorgaans verantwoordelijk voor deze

<sup>99</sup> <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/covid-19-epidemie-veroorzaakt-door-klimaatverandering>

<sup>100</sup> <https://www.weforum.org/agenda/2021/09/pandemics-epidemics-disease-covid-likelyhood/>

maatregelen. Waterschappen kunnen ook betrokken zijn bij maatregelen in het watersysteem. Onder andere GGD'en en RIVM adviseren over (omgaan met) infectierisico's, zie bijvoorbeeld de Waterkwaliteitscheck<sup>101</sup>. De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) is verantwoordelijk voor bestrijding van invasieve muggensoorten. Landelijke coördinatie bij (grootschalige) bestrijding van uitbraken ligt bij het RIVM in samenwerking met GGD'en en GGD GHOR.

### **Samenhang met andere transitie en beleid**

Bij het RIVM loopt onderzoek naar de mogelijke invloed van mitigatiemaatregelen in het kader van de energietransitie op infectieziekten.

### **Internationale aspecten**

Vestiging van invasieve vectorsoorten in omliggende landen/gebieden vergroot de vestigingsdruk van deze soorten in Nederland. Het Westnijlvirus komt al geruime tijd voor in het zuidoosten van Europa en het Middellandse zeegebied. In 2018 zijn een recordaantal mensen in Europa besmet geraakt met Westnijlkoorts. Deze uitbraak kwam waarschijnlijk door de zeer hoge temperaturen en de aanwezigheid van veel muggen en vogels die het virus verspreidde<sup>102</sup>.

Binnen Europa registreert de ECDC<sup>103</sup>, middels een meldingssysteem door lidstaten (TESSy), nieuwe gevallen van algemene infectieziekten. VectorNet<sup>104</sup>, ook van het ECDC, richt zich direct op het monitoren van de verspreiding van vectoren.

Klimaatverandering kan ook van invloed zijn op het ontstaan van nieuwe infectieziekten. De meeste nieuwe infectieziekten in mensen hebben een dierlijke oorsprong (zoönose). Door klimaatverandering, in combinatie met andere ontwikkelingen zoals verstedelijking, moeten dieren steeds vaker op zoek naar nieuwe geschikte leefgebieden. Tijdens deze migraties kunnen diersoorten elkaar voor het eerst tegenkomen, en vinden er mogelijk nieuwe uitwisselingen van ziekteverwekkers plaats (spillover) (Carlson et al., 2022). Hierbij neemt ook de kans toe dat er een nieuwe zoönose ontstaat. Belangrijke hotspots voor deze ontwikkeling, zoals Centraal Afrika of Zuidoost-Azië zijn regio's waar ook veel mensen wonen en de bevolking snel groeit. Dit vergroot de kans op interacties tussen mensen en dieren, en de verspreiding van een nieuwe infectieziekte (Carlson et al., 2022). De COVID-19 pandemie heeft laten zien dat ook Nederland kwetsbaar is voor nieuwe infectieziekten.

De gevolgen van een nieuwe infectieziekte (die buiten Nederland is ontstaan) kunnen ook in Nederland groot zijn (zie o.a. COVID-19). Klimaatverandering heeft invloed op het ontstaan van nieuwe infectieziekten. Wanneer een invasieve muggensoort zich vestigt in

<sup>101</sup> <https://waterkwaliteitscheck.nl/home>

<sup>102</sup> <https://www.rivm.nl/westnijlkoorts>

<sup>103</sup> European Centre for Disease Prevention and Control <https://www.ecdc.europa.eu/en>

<sup>104</sup> <https://www.ecdc.europa.eu/en/about-us/partnerships-and-networks/disease-and-laboratory-networks/vector-net>



omliggende gebieden wordt bestrijding en het tegengaan van vestiging van Nederland moeilijker.

Door internationaal transport kunnen vectoren zich internationaal verspreiden. Zo zijn de eitjes van de Tijgermug bijvoorbeeld wijdverspreid over grote delen van de wereld en uitgekomen bij contact met water<sup>105</sup>.

Relevante indicatoren (bron):

- Verspreiding muggen (ECDC<sup>106</sup>) of climatic suitability voor specifieke muggensoorten (e.g., Ae. Albopictus).

### **Maladaptatie en/of 'lock-ins'**

Groene adaptatiemaatregelen kunnen bijvoorbeeld van invloed zijn op risico's van tekenoverdraagbare infectieziekten. Bij vergroening in steden en groene verbindingen, waaronder in het kader van klimaatadaptatie, moet ook zeker rekening worden gehouden met het vóórkomen van teken (van Acker et al., 2019). Bij blauwe adaptatiemaatregelen (waterberging of waterlichamen) bestaan risico's op wateroverdraagbare infectieziekten.

### **Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid**

RIVM en GGD'en adviseren over mogelijke infectierisico's gerelateerd aan adaptatiemaatregelen en hoe deze te beperken. De algemene positieve effecten van adaptatiemaatregelen op gezondheid (wanneer ontworpen en geïmplementeerd met in achtname van infectierisico's) zijn ook positief in het kader van infectieziekten. Deze positieve effecten zijn mogelijk het grootst voor kwetsbare groepen (Limaheluw et al., 2023).

### **Rechtvaardigheid**

Kwetsbare groepen zoals beschreven in onderdeel 'Gevoeligheid' zijn doorgaans gevoeliger voor (ernstige) ziekte na infectie. Kwetsbaarheid kan ook optreden door hogere (kans op) blootstelling, zoals bij mensen die veel recreëren in water/groen of schoonmaakwerkzaamheden uitvoeren na een overstroming. In bepaalde beroepsgroepen zal de mogelijke blootstelling aan vectoren of bepaalde ziekteverwekkers ook hoger liggen, zoals groenbeheer, de landbouwsector, of afvalwaterzuivering.

Klimaatadaptatiemaatregelen (groen en blauw) kunnen de algemene gezondheid verbeteren en daarmee ook het risico op infectieziekten verminderen. Enerzijds door kwetsbaarheid voor de gevolgen van klimaatverandering zoals hitte en wateroverlast te verkleinen. En anderzijds door de positieve gezondheidseffecten van groen en blauw op fysieke en mentale gezondheid. Relatief zullen deze positieve effecten het grootst zijn voor mensen met een lagere toegang tot andere gezondheidsbevorderende voorzieningen.

<sup>105</sup> <https://www.rivm.nl/veelgestelde-vragen-over-aziatische-tijgermug>

<sup>106</sup> European Centre for Disease Prevention and Control and European Food Safety Authority. Mosquito maps [internet]. Stockholm: ECDC; 2023. Available from: <https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps>

Naast positieve effecten kunnen klimaatadaptatiemaatregelen ook infectierisico's met zich meebrengen. Meer groen en blauw in de leefomgeving kan leiden tot meer blootstelling aan bijvoorbeeld teken of wateroverdraagbare ziekteverwekkers. Deze risico's zijn te beperken (zie Adaptatiecapaciteit).

### **Transparantie, aggregatie en afbakening**

De gegevens voor het vaststellen van de klimaatdreiging zijn gebaseerd op kwantitatieve data, gemeten en gemodelleerd door het KNMI. De gegevens over het vóórkomen en de frequentie van de infectieziekten zijn kwantitatief. De gegevens over blootstelling zijn deels kwantitatief (bijvoorbeeld hoeveelheid teken en tekenbeten) en er wordt nog veel onderzoek gedaan (kwantitatief en kwalitatief). Gegevens over gevoeligheid zijn gebaseerd op kwantitatief onderzoek (incidentie gegevens). Informatie over adaptatiecapaciteit is voornamelijk kwalitatieve data. Gegevens over impact zijn gebaseerd op kwantitatieve data (type gezondheidsklachten, diagnoses etc.). De eindimpact is gebaseerd op ziektelastschattingen waar kwantitatieve data als bron voor is gebruikt.

### **Kennishiaten**

Een groot deel van deze kennishiaten is beschreven in het rapport van Van der Ree et al. (2022). Hier is gesignaleerd dat beter in beeld moet komen hoe klimaatgevoeligheid van ziekteverwekkers en infectieziekten tot stand komt (direct en indirect), wat de huidige en toekomstige risico's en ziektelast van klimaatgevoelige infectieziekten is, en wat de invloed van klimaatverandering is op deze risico's/ziektelast (kwantitatief).

### **Onzekerheid en betrouwbaarheid**

Er is geen compleet beeld van de huidige ziektelast van infectieziekten. Dit komt onder andere omdat de meeste infectieziekten niet meldingsplichtig zijn, en omdat veel infectieziekten vaak mild verlopen en geen aanleiding geven tot vervolgonderzoek. Beschikbare ziektelastschattingen zijn gedaan op basis van internationaal geaccepteerde methoden (zeer hoge betrouwbaarheid en nagenoeg zeker). Sommige effecten van klimaatverandering op infectieziekten die ook in Nederland relevant zijn (e.g., legionellose) worden nu al in andere landen geobserveerd. Specifiek voor Nederland is, behalve voor teken, nog geen retrospectief onderzoek naar het effect van klimaatverandering (lange termijn) op deze ziekten is gedaan. Betrouwbaarheid en onzekerheid over relevante blootstellingsroutes en kwetsbare groepen is zeer hoog en in de meeste gevallen zeer waarschijnlijk.

Zoals eerder ook bepaald in onder andere Hall et al. (2021) is de klimaatgevoeligheid van ziekten en ziekteverwekkers zoals hier beschreven meestal vrij zeker (zeer waarschijnlijk en zeer hoge betrouwbaarheid). Hiermee zijn ook de verwachtingen over de richting van een verandering zeker (e.g., toename van risico bij opwarming). De omvang van toekomstige risico's (en of een nieuw risico zich zal gaan voordoen) is vaak echter onzeker, onder andere vanwege onvoldoende inzicht in huidige ziektelast, de complexe mechanismen die leiden tot

klimateitgevoeligheid, en de samenhang met en invloed van andere ontwikkelingen.

### **Expertbeoordeling**

De experts binnen het RIVM zijn betrokken bij onderzoeksvoorstellen en (rapport)publicaties op het thema en zijn op de hoogte van de nieuwste literatuur en onderzoeken. Zowel intern als extern zijn zij betrokken bij diverse werkgroepen en (internationale) samenwerkingen op het thema. Voor dit factsheet is er dan ook veel gebruik gemaakt van expert judgement.

Omdat er veel integraliteit bestaat bij de gezondheidseffecten tussen de thema's is gestreefd om tijdens de expertsessies alle themaexperts (of vervanging) aanwezig te hebben. Ook PBL is regelmatig bij deze sessies aanwezig geweest. Zoals bij de expertsessie om de onzekerheid en betrouwbaarheid vast te leggen.

### **Referenties factsheet infectieziekten**

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

Algemene Rekenkamer (2023), Coronarekening – mei 2023 (editie 8)

Bekedam H., Arjan Stegeman, Fred de Boer, Ron Fouchier, Jan Kluytmans, Sander Koenraadt, Thijs Kuiken, Wim van der Poel, Ria Reis, Gerdien van Schaik, Leo Visser (2021). Zoönosen in het vizier. Rapport van de expertgroep zoönosen, 2021.

Braks, M.A.H., de Roda Husman A.M. (2013). Dimensions of Effects of Climate Change on Water-Transmitted Infectious Diseases. *Air Water Borne Diseases 2*: 109. doi:10.4172/2167-7719.1000109

Brandsema, PS, Euser SM, Karagiannis I, Den Boer JW, Van Der Hoek W. (2014). Summer increase of Legionnaires' disease 2010 in The Netherlands associated with weather conditions and implications for source finding. *Epidemiology and Infection*. 2014;142(11):2360-71

Carlson, CJ, Albery GF, Merow C, Trisos CH, Zipfel CM, Eskew EA, et al. (2022). Climate change increases cross-species viral transmission risk. *Nature*. 2022;607(7919):555-62.

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

De Gier, B., Mooij, S.H., Hahné, S.J.M. (2018). Staat van infectieziekten in Nederland, 2017. RIVM Rapport 2018-0032

De Roda Husman, A.M., F.M. Schets (2010). Climate change and recreational waterrelated infectious diseases. Report 330400002/2010

ECDC (2021). Extreme rainfall and catastrophic floods in western Europe. Rapid risk assessment.

Hall, E.F., R.J.M. Maas, J. Limaheluw, C.D. Betgen (2021). Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering. RIVM Rapport 2020-0200

Han, XY (2021). Effects of climate changes and road exposure on the rapidly rising legionellosis incidence rates in the United States. *PloS ONE* 16(4): e0250364. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250364>

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

Klous, G., Mcdonald, S., Boer, P. de, Hoek, A.J. van, Franz, E., Rooijen, M. van (2022). Staat van Infectieziekten in Nederland 2021. RIVM rapport 2022-0141

Kraemer, MUG, Reiner RC, Brady OJ, Messina JP, Gilbert M, Pigott DM, et al. (2019). Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Nature Microbiology*. 2019;4(5):854-63.

KWR (2020). Invloed van temperatuur op groei van opportunistische ziekteverwekkers in drinkwater. BTO 2020.036 | Juli 2020

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

Limaheluw, J., AJ Versteeg-de Jong, JV Zwartkruis, JA de Kraker (2023). Lessen uit de COVID-19-pandemie voor het Nederlandse klimaatbeleid. RIVM-rapport 2022-0136

Liu-Helmersson J, Quam M, Wilder-Smith A, Stenlund H, Ebi K, Massad E, et al. (2016). Climate Change and *Aedes* Vectors: 21<sup>st</sup> Century Projections for Dengue Transmission in Europe. *EbioMedicine*. 2016;7:267-77.

Messina, JP, Brady OJ, Golding N, Kraemer MUG, Wint GRW, Ray SE, et al. (2019). The current and future global distribution and population at risk of dengue. *Nature Microbiology*. 2019;4(9):1508-15.

Mora, C., Tristan McKenzie, Isabella M. Gaw, Jacqueline M. Dean, Hannah von Hammerstein, Tabatha A. Knudson, Renee O. Setter, Charlotte Z. Smith, Kira M. Webster, Jonathan A. Patz & Erik C. Franklin (2022). Over half of known human pathogenic diseases can be aggravated by climate change. *Nat Clim Chang*: 12: 869-875 <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01426-1>

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

Pampaka D, Gómez-Barroso D, López-Perea N, Carmona R, Portero RC. (2022). Meteorological conditions and Legionnaires' disease sporadic cases: a systematic review. *Environmental Research*. 2022 2022/11/01/;214:114080.

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

RIVM (2022). Staat van Infectieziekten in Nederland 2021.

RIVM (2023). Het effect van persoonlijke beschermingsmiddelen op het milieu. Casus mondkapjes.

Schets, F.M. en de Roda Husman, A.M. (2004). Gezondheidsaspecten van Legionella in water. RIVM-rapport 330000004/2004.

Schets, F.M., A. van der Wal, K. van Zoonen, A. Tholen, A.M. de Roda Husman (2022). Veranderingen in de inrichting van de leefomgeving maken aandacht voor infectieziekten urgent. RIVM-rapport 2021-0025.

Schets, F. M., van den Berg, H. H., Demeulmeester, A. A., van Dijk, E., Rutjes, S. A., van Hooijdonk, H. J., & de Roda Husman, A. M. (2006). *Vibrio alginolyticus* infections in the Netherlands after swimming in the North Sea. *Euro surveillance*, 11(11), E061109.3.  
<https://doi.org/10.2807/esw.11.45.03077-en>

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

Sterk, A, Schijven J, de Roda Husman AM, de Nijs T. (2016). Effect of climate change on runoff of *Campylobacter* and *Cryptosporidium* from land to surface water. *Water Res*. May 15;95:90-102. Doi: 10.1016/j.watres.2016.03.005. Epub 2016 Mar 2. PMID: 26986498.

VanAcker, M.C., Little, E.A.H., Molaei, G., Bajwa, W.I., Diuk-Wasser, M.A. (2019). "Enhancement of risk for lyme disease by landscape connectivity, New York, New York, USA (United States of America)." *Emerging Infectious Diseases* 25(6): 1136-1143.

Van den Wijngaard, Cees. C., Agnetha Hofhuis, Albert Wong, Margriet G. Harms, G. Ardine de Wit, Anna K. Lugnér, Anita W. M. Suijkerbuijk, Marie-Josée J. Mangen, Wilfrid van Pelt (2017). The cost of Lyme borreliosis, *European Journal of Public Health*, Volume 27, Issue 3, June 2017, Pages 538–547, <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckw269>

Van der Ree, J., C. Betgen, C. Boomsma, A. van Dijk, L. Hall, D. Houweling, J. Limaheluw, K. Rijs (2022). Plan van aanpak Onderzoeksprogramma Klimaatverandering en gezondheidseffecten. RIVM-rapport 2022-0030

Vermeulen, LC, Brandsema, PS, van de Kassteede, J, Bom, BCJ, Sterk, HAM, Sauter, FJ, van den Berg HHJL, de Roda Husman, AM. (2019). Atmospheric dispersion and transmission of Legionella from wastewater treatment plants: A 6-year case-control study. *Int J Hyg Environ Health*. 2021 Aug;237:113811. Doi: 10.1016/j.ijheh.2021.113811. Epub 2021 Jul 23. PMID: 34311418.

Wegwijzer wildzwemmen (2023). Testversie extern. Via Helpdesk water <https://www.helpdeskwater.nl/@280100/wegwijzer-wildzwemmen/>

Wezenberg-Hoenderkamp, K., Floor C. (2020). Buitenzwemwater in de gemeente Utrecht. Utrecht: Mulier Instituut; 2020.

## 9 Overzicht eindimpacts

Dit rapport omschrijft de huidige klimaatrisico's en -impacts op de gezondheid conform de methodiek en uitwerking van PBL. Door de informatie uit te werken in factsheets is de informatie uitwisselbaar tussen sectoren.

De eindimpact op de mens voor gezondheidseffecten door klimaatverandering is op de klimaatgerelateerde thema's hitte, luchtkwaliteit, mentale gezondheid, UV-straling en pollenallergieën hoog. Op deze thema's worden veel mensen getroffen en/of vallen er doden. Voor infectieziekten varieert de impact tussen laag en middel of is het onbekend (zie tabel 9.1). Klimaatverandering heeft over de afgelopen periode van 1991-2020 al een aandeel gehad in gezondheidseffecten van de klimaatgerelateerde thema's. Vaak is het nog onvoldoende onderzocht hoe groot het aandeel is.

Tabel 9.1 Samenvatting eindbeoordeling risico's voor eindimpact mens en eindrisico economie.

Thema	Impact	
	Mens	Economie
<i>Hitte (Hittesterfte en ziektelast)</i>	Hoog (>100.000 getroffen mensen en > 100 doden)	Geen uitspraak
<i>Hitte (Warmtesterfte)</i>	Hoog (>100 doden per jaar)	
<i>Luchtkwaliteit</i>	Hoog (>100.000 getroffen mensen en >100 doden)	Hoog (> 1 miljard euro)
<i>Mentale gezondheid</i>	Hoog (>100.000 getroffen mensen)	Middel (€ 100 miljoen – 1 miljard euro)
<i>UV-straling</i>	Hoog (>100.000 getroffen mensen en >100 doden per jaar)	Middel (€ 100 miljoen – 1 miljard euro)
<i>Pollenallergieën</i>	Hoog (>100.000 getroffen mensen)	Middel (€ 100 miljoen – 1 miljard euro)
<i>Infectieziekten (muggen)</i>	Laag (<10.000 getroffen mensen)	Laag (< €100 miljoen per jaar)
<i>Infectieziekten (Lyme)</i>	Middel (10.000-100.000 getroffen mensen)	
<i>Infectieziekten (Tekenencefalitis)</i>	Laag (<10.000 getroffen mensen)	
<i>Infectieziekten (Vibrio)</i>	Geen uitspraak	
<i>Infectieziekten (wateroverdraagbaar)</i>	Laag (<10.000 getroffen mensen)	
<i>Infectieziekten (Legionella)</i>	Middel (10-100 doden)	

Het eindrisico voor economie varieert en is vaak een schatting. Voor hitte is nog geen onderzoek in Nederland gedaan om hier een uitspraak over te doen. Luchtkwaliteit heeft als milieugezondheidsthema al een behoorlijke impact op de economie. De bijdrage van klimaatverandering is nog niet genoeg onderzocht, maar de kosten zijn sowieso al groot. Voor mentale gezondheid, UV-straling en pollenallergieën wordt het eindrisico op middel geschat mede doordat de grootte van de bijdrage van klimaatverandering over de afgelopen 30 jaar niet altijd kan worden vastgesteld. Voor de onderzochte infectieziekten is het eindrisico voor de economie laag.

Niet alle mensen worden even zwaar getroffen. Per thema zijn er verschillende groepen die extra kwetsbaar zijn voor de gezondheidseffecten van klimaatverandering.

Op alle thema's zijn nog veel kennishiaten. Dit maakt het inschatten van sommige huidige gezondheidseffecten al moeilijk en het inschatten van het effect van klimaatverandering nog moeilijker. Dit rapport benadrukt daarom ook het advies voor meer kennisontwikkeling op de gezondheidseffecten van klimaatverandering.

Om de daadwerkelijke impact van klimaatverandering op de gezondheid te gaan onderzoeken is het belangrijk om de genoemde indicatoren goed te monitoren en mogelijk nieuwe indicatoren te ontwikkelen. Extra aandacht dient te gaan naar meer kennis ontwikkelen over de cumulatieve effecten die kunnen optreden bij omstandigheden waar zowel hitte, luchtkwaliteit als pollen een rol spelen.

Ook dient bij het nemen van adaptatiemaatregelen rekening te worden gehouden met de mogelijke negatieve gezondheidseffecten op het gebied van pollenallergieën en infectieziekten.

De factsheets dienen als opmaat voor de volgende fase waarin gaat worden gekeken naar de toekomstige gezondheidseffecten door klimaatverandering.



## Referenties hoofdrapport

ANV (2022a). Leidraad risicobeoordeling Rijksbrede Risicoanalyse Nationale Veiligheid, Analistennetwerk Nationale Veiligheid.

Corvalán, C., Kjellstrom, T., Smith K.R. (1999). Health, environment and sustainable development: identifying links and indicators to promote action', *Epidemiology*, 10: 656–60.

Hall, E.F., R.J.M. Maas, J. Limaheluw, C.D. Betgen (2021). Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering. RIVM-Rapport 2020-0200.

Hambling, T., Weinstein, P., Slaney, D. (2011). A review of frameworks for developing environmental health indicators for climate change and health. *Int J Environ Res Public Health* 8:2854–2875

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.

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

KNMI (2021). Klimaatsignaal '21. Hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 pp.

Leerdam, R.C. van, J.H. Rook, L. Riemer, N.G.F.M. van der Aa (2023). Waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater tot 2030 – knelpunten en oplossingsrichtingen. RIVM-rapport 2023-0005.

Morris, G.P., Beck, S.A., Hanlon, P., Robertson, R. (2006). Getting strategic about the environment and health. *Public health*. 2006 Oct 31;120(10):889-903

PBL (2015). Wereldwijde klimaateffecten: risico's en kansen voor Nederland, Den Haag.

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

Van der Ree, J., C. Betgen, C. Boomsma, A. van Dijk, L. Hall, D. Houweling, J. Limaheluw, K. Rijs (2022). Plan van aanpak Onderzoeksprogramma Klimaatverandering en gezondheidseffecten. RIVM-rapport 2022-0030.

Witmer, M.C.H. et al. (2023), Nationale klimatrisicoanalyse 2022 – 2026; Uitwerking analysemethodiek. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

World Health Organization, (2004). Environment and Health Indicators for Europe: a pilot indicator-based report. World Health Organization Regional Office for Europe; 2004

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

## Bijlage 1 Classificatie onzekerheid en betrouwbaarheid

De volgende terminologie wordt gehanteerd in de factsheets onder onzekerheid en betrouwbaarheid (Witmer et al., 2023).

<b>Onzekerheidsterm</b>	<b>Kans (procent)</b>	<b>Kans (fractie)</b>	<b>Engels synoniem</b>
Nagenoeg zeker	Meer dan 99% kans dat uitkomst/conclusie waar is	$\geq 99$ op 100	Virtually certain
Zeer waarschijnlijk	90-99% kans dat ...	$\geq 9$ op 10 en $\leq 99$ op 100	Very likely
Waarschijnlijk	66-90% kans dat ...	$\geq 2$ op 3 en $\leq 9$ op 10	Likely
Mogelijk	33-66% kans dat ...	tussen 1 en 2 op 3	Medium likelihood
Onwaarschijnlijk	10-33% kans dat ...	$\leq 1$ op 3 en $\geq 1$ op 10	Unlikely
Zeer onwaarschijnlijk	1-10% kans dat ...	$\leq 1$ op 10 en $\geq 1$ op 100	Very unlikely
Nagenoeg uitgesloten	Minder dan 1% kans dat ...	$\leq 1$ op 100	Exceptionally unlikely

<b>Betrouwbaarheidsklasse</b>	<b>Omschrijving</b>
<i>Zeer hoog</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Veel informatie beschikbaar, (bijna) alle onderdelen zijn o.b.v. data, modellen, observaties etc. ingevuld</li> <li>- Uitkomst(en) is/zijn gebaseerd op betrouwbare methoden, technieken en analyses</li> <li>- Geen of nauwelijks spreiding in uitkomsten van studies en experts (grote consensus)</li> <li>- Geen of nauwelijks onzekerheden die geen consequenties hebben op de uitkomsten</li> </ul>
<i>Hoog</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Veel informatie beschikbaar, veel onderdelen zijn o.b.v. data, modellen, observaties etc. ingevuld</li> <li>- Nauwelijks spreiding in uitkomsten van studies en experts</li> <li>- Nauwelijks onzekerheden die geen significante consequenties hebben op de uitkomsten</li> </ul>
<i>Gemiddeld</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voldoende hoeveelheid informatie beschikbaar, afwisselend o.b.v. data, modellen, observaties etc. en expertbeoordeling</li> <li>- Beperkte spreiding in uitkomsten van studies en experts</li> </ul>

<b>Betrouwbaarheidsklasse</b>	<b>Omschrijving</b>
	- Beperkte onzekerheden die beperkte consequenties hebben op de uitkomsten
<i>Laag</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beperkte hoeveelheid informatie beschikbaar, slechts een paar onderdelen zijn o.b.v. van data, modellen, observaties etc. ingevuld</li> <li>- Gematigde spreiding in uitkomsten van studies en experts</li> <li>- Onzekerheden zijn aanwezig die van invloed kunnen zijn op de uitkomsten</li> </ul>
<i>Zeer laag</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen of nauwelijks informatie beschikbaar, alle onderdelen zijn m.b.v. expertbeoordeling ingevuld</li> <li>- Grote spreiding in uitkomsten (lage consensus)</li> <li>- Grote onzekerheden die van grote invloed kunnen zijn op de uitkomsten</li> </ul>

## Bijlage 2 Klimaatbestendigheid van de zorgsector bij extreem weer

Het PBL heeft het RIVM gevraagd om kort na te gaan welke informatie bekend is over klimaatbestendigheid van de zorgsector bij extreem weer. Hier worden een aantal gevonden relevante rapporten beschreven. Dit is een kleine selectie en geen resultaat van een uitvoerige literatuurstudie.

Extreem weersituaties zoals langdurige droogte en hitte, overstromingen vanuit de rivier of zee, extreme neerslag, valwinden of stormen komen in Nederland voor. Door klimaatverandering kunnen extremen worden versterkt en zullen ze frequenter optreden (KNMI, 2021). Bij dit soort extreme weersomstandigheden kan er schade optreden en in sommige gevallen zelfs maatschappelijke ontwrichting. Het Analistennetwerk Nationale Veiligheid heeft hiervoor een themarapportage klimaat- en natuurrampen ontwikkeld. In dit rapport wordt omschreven wat de impacts op Nederland zijn bij extreme klimaat- en natuurgerelateerde rampen (ANV, 2022b).

In het geval van slachtoffers wordt er tijdens of na extreem weer een beroep gedaan op de zorgsector. De zorgsector moet zich voorbereiden op klimaatverandering door het versterken van de klimaatbestendigheid van de gezondheidszorg zelf en van gerelateerde essentiële diensten (Huynen et al, 2020). Klimaatverandering vormt een bedreiging voor de kwaliteit en de continuïteit van de zorg. Extreme weersomstandigheden kunnen leiden tot noodtoestanden met uitdagingen zoals toename van aantal patiënten, beschadiging van infrastructuur, voorzieningen zoals elektriciteit of water of afvalverwerking die niet meer werken, en verstoring van bevoorradings (Huynen et al, 2020).

Tijdens aanhoudende hitte zorgt het Nationaal hitteplan<sup>107</sup> ervoor dat ziekenhuizen worden geïnformeerd over aanhoudende warmte en zijn zij hiermee voorbereid op mogelijke extra toestroom van patiënten. Tevens geldt dat patiënten die in het ziekenhuis opgenomen liggen extra in de gaten kunnen worden gehouden.

TNO (2015) heeft de waterrobuustheid van Nederlandse ziekenhuizen onderzocht. Overstromingen en extreme neerslag kunnen direct een bedreiging vormen voor gebouwen, waaronder ziekenhuizen. Dit onderzoek laat onder andere zien dat veel spoedeisende hulpdiensten op de begane grond liggen en dat noodstroomvoorzieningen veelal in de kelder of op de begane grond zijn geplaatst. Hierdoor zijn ziekenhuizen kwetsbaar voor overstromingen en kan het leveren van zorg in problemen komen. Het Meander Medisch Centrum in Amersfoort is een voorbeeld van een waterrobuust ziekenhuis met vitale functies 2,6 meter boven NAP.

<sup>107</sup> <https://www.rivm.nl/hitte/nationaal-hitteplan>

## **Referenties bijlage 2**

ANV (2022b). Themarapportage klimaat- en natuurrampen, Analistennetwerk Nationale Veiligheid.

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.

KNMI (2021). Klimaatsignaal '21. Hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 pp.

TNO (2015). Waterrobuustheid Nederlandse ziekenhuizen. TNO 2015 R11234



Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

april 2024

De zorg voor morgen  
begint vandaag