

Klimaatverandering en wateroverdraagbare infectieziekten in Nederland

Jesse Limaheluw, Ciska Schets, Lucie Vermeulen-Henstra, Ana Maria de Roda Husman

Samenvatting

Het klimaat verandert en dit kan infectierisico's van wateroverdraagbare infectieziekten op verschillende manieren beïnvloeden. Dit artikel geeft een overzicht van de huidige wetenschappelijke kennis over deze effecten in Nederland en de mogelijke rol van klimaatadaptatie. Sommige effecten van klimaatverandering zijn nu al zichtbaar. Infectierisico's van ziekteverwekkers *Vibrio* en *Legionella* zijn waarschijnlijk toegenomen onder invloed van klimaatverandering. Projecties van toekomstige risico's laten een gevarieerd beeld zien. Voor *Vibrio* nemen infectierisico's door recreatie mogelijk toe. De effecten op de microbiologische kwaliteit van oppervlaktewater zouden beperkt kunnen zijn in het geval van *Campylobacter*, *Cryptosporidium* en norovirus. Klimaatadaptatiemaatregelen die worden genomen om de effecten van klimaatverandering te beperken, kunnen de risico's van wateroverdraagbare infectieziekten ook beïnvloeden. Bijvoorbeeld door wateroverlast tegen te gaan. Bij de implementatie van deze maatregelen moet echter ook rekening worden gehouden met eventuele negatieve effecten; waterbergende maatregelen zoals wadi's worden soms ook gebruikt voor recreatie, terwijl het water dat zij opvangen microbiologisch verontreinigd kan zijn. Veel wateroverdraagbare infectieziekten kunnen ook door klimaatverandering beïnvloed worden, maar zijn nog nooit in die context onderzocht. Ons beeld van de gevolgen van klimaatverandering op deze infectieziekten is dus onvolledig.

Abstract

Climate change can impact waterborne infectious disease risks in different ways. This article presents an overview of the current scientific evidence on these impacts in the Netherlands, and the possible effects of climate change adaptation measures. Some impacts of climate change are already visible. It is likely infection risks of *Vibrio* and *Legionella* bacteria have increased

because of climate change. Projections of future impacts show variable outcomes. For *Vibrio*, infection risks due to recreation could increase. Effects on microbial quality of surface water may be limited in case of *Campylobacter*, *Cryptosporidium*, and norovirus. Climate change adaptation measures, taken to reduce the impacts of climate change, could also affect waterborne disease risk, for example by preventing urban flooding. When implementing these measures it is also important to consider potential negative effects. For example, measures such as wadi's, designed to store excess rainwater, are sometimes used for recreation, even though the microbial quality of this stored water may be poor. There are many other waterborne diseases which could be affected by climate change but have never been studied in this context. Our knowledge about the impacts of climate change on these diseases is thus incomplete.

Inleiding

Blootstelling aan microbiologisch verontreinigd water kan gezondheidsklachten en ziekte of sterfte veroorzaken. Er zijn veel verschillende ziekteverwekkende bacteriën, virussen, parasieten en schimmels die via

Centrum voor Infectieziektebestrijding, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, Nederland. J. Limaheluw Msc, wetenschappelijk medewerker, dr. ing. F.M. Schets, senior wetenschappelijk medewerker, dr. ing. L.C. Vermeulen-Henstra, senior wetenschappelijk medewerker, prof. dr. A.M. de Roda Husman, afdelingshoofd. J. Limaheluw Msc. en prof. dr. A.M. de Roda Husman zijn tevens verbonden aan het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Utrecht University, Utrecht, respectievelijk als PhD-kandidaat en hoogleraar Wereldwijde veranderingen en milieu-overdraagbare infectieziekten. Correspondentieadres: J. Limaheluw (jesse.limaheluw@rivm.nl).

water overgedragen kunnen worden [1]. Sommige van deze ziekteverwekkers, zoals *Vibrio* spp. bacteriën, komen van nature voor in het milieu. Andere ziekteverwekkers kunnen vanuit verschillende bronnen, zoals mest van vee, feces van wilde dieren, of (gezuiverd) afvalwater, in het oppervlaktewater terecht komen. Veel wateroverdraagbare ziekteverwekkers en de infectieziekten die zij veroorzaken zijn klimaatgevoelig [2]. Dit kan betekenen dat de incidentie van deze infectieziekten wordt beïnvloed door het weer. Klimaatgevoeligheid uit zich bijvoorbeeld in seizoensgebonden patronen in de incidentie van verschillende ziekten. Zo worden de meeste gevallen van legionellose in de zomer gemeld [3]. Vanwege deze klimaatgevoeligheid is er veel aandacht voor het effect van klimaatverandering op wateroverdraagbare infectieziekten. De gemiddelde temperatuur stijgt, zomers worden droger terwijl er in de winter juist meer neerslag valt, en weersextremen zoals hittegolven of extreme regenbuien komen steeds vaker voor [4]. Al deze ontwikkelingen zullen ertoe leiden dat infectierisico's gaan veranderen. In dit artikel geven wij een overzicht van de actuele kennis over de mogelijke effecten van klimaatverandering op wateroverdraagbare infectieziekten in Nederland. Dit omvat infectieziekten veroorzaakt door inslikken, contact met of inademen van water verontreinigd met bacteriën, virussen, parasieten en blauwalgen. Ook bespreken we de mogelijke rol van klimaatadaptatiemaatregelen.

Huidige situatie en de link met klimaatverandering

De huidige ziektelast veroorzaakt door wateroverdraagbare infectieziekten in Nederland is niet bekend. Een van de bekendste blootstellingsroutes van deze ziekten in Nederland is direct contact met of inname van oppervlaktewater tijdens waterrecreatie. Daarnaast zijn ook contact met overstromingswater en het inademen van besmette aerosolen (waterdruppeltjes die in de lucht zweven) mogelijke blootstellingsroutes. Gezondheidsklachten door waterrecreatie in Nederland worden sinds 1990 geïnventariseerd door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) door middel van de Zwemwaterenquête. Uitkomsten van deze enquête laten zien dat huidklachten de meest gerapporteerde klachten zijn, gevolgd door maag-darmklachten [5]. De meest gemelde huidklacht is zwemmersjeuk, veroor-

zaakt door de cercariën (larven) van *Trichobilharzia*, een parasitaire worm. De uitstoot van deze cercariën door de tussengastheer, een waterslak, neemt toe bij hogere watertemperaturen (tot ongeveer 25 graden) [6]. In het kader van klimaatverandering is een belangrijke bevinding van de Zwemwaterenquête dat er in warme zomers meestal meer klachten worden gerapporteerd [5]. Omdat zomers in de toekomst steeds warmer worden door klimaatverandering, kan de ziektelast gerelateerd aan waterrecreatie toenemen. Mogelijk gaan mensen vaker in water recreëren, waaronder op niet-officiële zwemlocaties [7,8]. Op deze plekken wordt de waterkwaliteit niet gecontroleerd, waardoor er geen goed zicht is op mogelijke gezondheidsrisico's.

Wateroverlast kan ook leiden tot blootstelling aan wateroverdraagbare ziekteverwekkers. In Nederland zijn de infectierisico's gerelateerd aan wateroverlast in het stedelijk gebied (water op straat) veroorzaakt door zware regenval onderzocht. Bemonstering van dit water heeft aangetoond dat het ziekteverwekkers kan bevatten, waaronder *Campylobacter*, *Cryptosporidium* en enterovirussen met bijbehorende infectierisico's door blootstelling aan het water [9]. Deze ziekteverwekkers kunnen afkomstig zijn uit de nabije omgeving, en meegevoerd worden door regenwater dat afstroomt over oppervlakken vervuild met bijvoorbeeld vogel- of hondenpoep. Ze kunnen ook afkomstig zijn uit het rioolstelsel wanneer dit overbelast raakt door hevige regenval. Personen die blootgesteld worden aan water op straat, bijvoorbeeld tijdens schoonmaakwerkzaamheden, hebben een verhoogd risico op maag-darm- en luchtweginfecties [10]. In ernstige gevallen kan extreme regenval leiden tot zware overstromingen met schade aan infrastructuur en langdurig verhoogde infectierisico's tot gevolg. In 2021 vonden dergelijke overstromingen plaats in Limburg en delen van Duitsland, België en Luxemburg. Een inventarisatie van risico's naar aanleiding van deze overstromingen door het Europees Centrum voor ziektepreventie- en bestrijding wees uit dat er in de zwaarst getroffen gebieden mogelijk verhoogde risico's waren van verschillende infectieziekten, waaronder leptospirose, met name voor kwetsbare bevolkingsgroepen zoals ouderen [11]. Door klimaatverandering zullen extreme regenbuien steeds vaker in Nederland voorkomen en nemen de risico's op wateroverlast en overstromingen toe.

Geobserveerde effecten van klimaatverandering

Onderzoek naar de effecten van klimaatverandering op infectieziekten richt zich vooral op de toekomst (prospectief onderzoek). Er worden echter ook nu al effecten geobserveerd (retrospectief onderzoek) (zie tabel 1). Naar ziekteverwekkers uit mens en dier die niet in het milieu kunnen groeien, zoals *Campylobacter* of *Cryptosporidium*, is nog geen retrospectief onderzoek gedaan. We zien wel dat het klimaat in Nederland gunstiger is geworden voor groei en verspreiding van bepaalde ziekteverwekkers die van nature in het milieu voorkomen en daar ook kunnen groeien. De bacterie *Vibrio* komt in verschillende kustwateren op het noordelijk halfrond (waaronder het Noordzeegebied) in steeds grotere aantallen voor, en heeft ook een groter verspreidingsgebied gekregen [14,18]. Een van de oorzaken van deze ontwikkeling is de door klimaatverandering veroorzaakte opwarming van het zeewater. Tegelijkertijd met deze ontwikkeling is in verschillende landen ook een stijging in de incidentie van *Vibrio*-infecties geobserveerd die hier mogelijk mee samenhangt [17]. Op basis van deze onderzoeken lijkt het waarschijnlijk dat de infectierisico's van *Vibrio* spp. ook in Nederland zijn toegenomen onder invloed van klimaatverandering. In een vergelijking tussen de aantallen *Vibrio*-bacteriën in Nederlands kustwater in de perioden 2009 tot 2012 en 2019 tot 2021 werden geen significante verschillen gevonden [26]. Over korte perioden is er dus (nog) geen effect van klimaatverandering zichtbaar. In Nederland is er geen meldplicht voor non-cholera *Vibrio*-infecties, waardoor er geen goed zicht is op eventuele trends in ziektegevallen.

Een andere ziekte die vaak in verband wordt gebracht met klimaat(verandering) is legionellose. Een infectie veroorzaakt door *Legionella*-bacteriën kan leiden tot longontsteking (veteranenziekte) of een milder, griepachtig ziektebeeld geven (Pontiac fever). *Legionella*-bacteriën komen van nature voor in het milieu, waaronder in oppervlaktewater, en kunnen ziekte veroorzaken na inademen van besmette aerosolen. In 2021 werden er ruim 500 in Nederland opgelopen gevallen van longontsteking veroorzaakt door *Legionella* gemeld, en het aantal meldingen laat al langere tijd een stijgende trend zien [27]. De meeste gevallen van legionellose worden gemeld in de zomerperiode. Wereldwijd literatuuronderzoek laat

zien dat warme perioden gevolgd door perioden met bovengemiddelde regenval gerelateerd zijn aan een toename van het aantal gevallen van legionellose [28]. Ook in Nederland is een dergelijke dynamiek vastgesteld [3]. In de Verenigde Staten lijkt het toenemende aantal gerapporteerde gevallen van legionellose over de afgelopen twintig jaar gerelateerd te zijn aan klimaatverandering. Geobserveerde stijgingen in gemiddelde temperatuur en regenval hebben waarschijnlijk geleid tot verhoogde dichtheden van *Legionella* spp. in het milieu, en tot verhoogde blootstelling [25].

Toekomstige effecten van klimaatverandering

Het is ingewikkeld om te bepalen hoe risico's van wateroverdraagbare infectieziekten zich in de toekomst zullen ontwikkelen. Klimaatverandering beïnvloedt deze risico's en de uiteindelijke ziektelast via allerlei mechanismen. Een direct mechanisme is de invloed op de ziekteverwekker zelf. Hogere temperaturen kunnen bijvoorbeeld de afsterving van een bepaalde ziekteverwekker versnellen. Indirect zal de mate waarin bepaalde ziekteverwekkers in het water terechtkomen, of welke bronnen het meest bepalend zijn voor de microbiologische waterkwaliteit, ook kunnen veranderen. Daarnaast beïnvloedt klimaatverandering ons gebruik van water, en daardoor de blootstelling. Voor infectieziekten die afhankelijk zijn van een tussengastheer (zoals een waterslak voor *Trichobilharzia*) spelen aanvullend de effecten op deze tussengastheren een rol.

Voor verschillende ziekteverwekkers en infectieziekten is een indicatie te geven over de verwachte effecten van klimaatverandering (zie tabel 1). Zo zijn er onderzoeken uitgevoerd naar de effecten van klimaatverandering op toekomstige microbiologische waterkwaliteit en gerelateerde gezondheidsrisico's in Nederland. Twee modelstudies van Sterk et al. [13,14] laten zien dat klimaatverandering de concentraties van ziekteverwekkers in het oppervlaktewater op verschillende manieren kan beïnvloeden, en dat klimaatverandering niet per definitie leidt tot hogere gezondheidsrisico's. Voor de concentraties van *Cryptosporidium* en *Campylobacter* afkomstig uit mest is het netto-effect van klimaatverandering mogelijk beperkt. Enerzijds kan het totale aantal ziekteverwekkers dat het oppervlaktewater bereikt, toenemen door een toename in regenval en daardoor in afspoeling.

Tabel 1. Overzicht van wetenschappelijke onderzoeken die kwantitatief effecten van klimaatverandering op wateroverdraagbare ziekteverwekkers en infectierisico's beschrijven voor Nederland, Europa, of gebieden die klimatologisch vergelijkbaar zijn met Nederland.

Ziekteverwekker	Jaar	Type onderzoek	Meegenomen klimaatfactoren	Effect klimaatverandering	Ref.
Nederland					
<i>Campylobacter</i> , <i>Cryptosporidium</i>	2016	Prospectief	Temperatuur, neerslag, UV-straling	Beperkte verandering van risico's door waterrecreatie.	[13]
<i>Campylobacter</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>norovirus</i>	2016	Prospectief	Temperatuur, neerslag, UV-straling	Beperkte variabele effecten op risico's door waterrecreatie, afhankelijk van locatie, ziekteverwekker, klimaatscenario.	[14]
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	2016	Prospectief	Temperatuur	Toename van risico door waterrecreatie aan de Nederlandse kust.	[15]
Europese studies inclusief Nederland					
<i>Fasciola hepatica</i>	2015	Prospectief	Temperatuur, neerslag	Gemiddelde toename van risico op fasciolyse onder alle klimaatscenario's.	[16]
<i>Vibrio spp.</i>	2016	Retrospectief	Temperatuur	Toename in de aanwezigheid van <i>Vibrio spp.</i> in kustgebieden.	[17]
Vergelijkbare landen					
<i>Francisella tularensis</i>	2007	Retrospectief en prospectief	Temperatuur, neerslag, UV-straling, evapotranspiratie	Verenigde Staten: geobserveerde noordwaartse verschuiving in ziektegevallen waarschijnlijk door klimaatverandering, trend zet door in de toekomst.	[18]
<i>Francisella tularensis</i> *	2009	Prospectief	Temperatuur, neerslag	Zweden: langer durende uitbraken in endemische gebieden.	[19]
<i>Francisella tularensis</i> *	2020	Prospectief	Temperatuur, neerslag	Zweden: toename of afname in incidentie afhankelijk van locatie, grote variatie in uitkomsten tussen klimaatmodellen.	[20]
<i>Vibrio spp.</i>	2013	Retrospectief	Temperatuur	Baltische zeegebied: toename in de aanwezigheid van <i>Vibrio spp.</i> in kustgebieden.	[21]
<i>Vibrio spp.</i>	2017	Prospectief	Temperatuur	Baltische zeegebied: uitbreiding geschikt gebied, verlenging periode waarin transmissie kan plaatsvinden.	[22]
<i>Cryptosporidium</i> , <i>Giardia</i>	2019	Prospectief	Neerslag	Canada: toename in incidentie (gerelateerd aan regenval).	[23]
<i>Campylobacter</i>	2020	Prospectief	Temperatuur, neerslag	Scandinavië: toename in incidentie.	[24]
<i>Legionella</i>	2021	Retrospectief	Temperatuur, neerslag, UV-straling	Verenigde Staten: toename gevallen van legionellose, waarschijnlijk mede door klimaatverandering.	[25]

* In de onderzochte gebieden wordt *Francisella tularensis* hoofdzakelijk overgedragen door muggen. Uitkomsten zeggen dus niet per definitie iets over watergerelateerde risico's.

Retrospectief onderzoek bekijkt hoe klimaatverandering de infectieziekte al heeft beïnvloed. Prospectief onderzoek presenteert projecties van toekomstige risico's of ziektebelasting. Rode cellen geven een toename aan, blauwe cellen een variabel of beperkt effect. Literatuur werd verzameld door middel van een systematisch literatuuronderzoek naar de gezondheidseffecten van klimaatverandering [12]. Onderzoeken naar ziekteverwekkers die enkel door muggen worden overgedragen zijn buiten beschouwing gelaten.

Anderzijds is om dezelfde reden de verdunning hoger [13]. Daardoor zou de concentratie ziekteverwekkers per volume lager of gelijk blijven.

Infectierisico's gerelateerd aan *Cryptosporidium* en norovirus stroomafwaarts van een riooloverstort zouden kunnen toenemen door klimaatverandering [14]. Omdat riooloverstorten slechts enkele keren per jaar in werking treden, en de verontreiniging van tijdelijke aard is, zijn deze gezondheidsrisico's makkelijker te beperken. De persistentie van ziekteverwekkers in het oppervlaktewater is sterk afhankelijk van klimaatfactoren, en deze klimaatgevoeligheid verschilt tussen ziekteverwekkers. *Campylobacter* is bijvoorbeeld gevoeliger voor hoge temperaturen dan *Cryptosporidium* [14]. Concentraties van *Campylobacter* in het water zouden door klimaatverandering sneller kunnen afnemen, ook tijdens perioden met verminderde afvoer. Concentraties van *Campylobacter* in oppervlaktewater gedurende het jaar zijn het laagst in de zomer en het hoogst in de herfst en winter. Waarschijnlijk komt dit mede door lagere afsterving in de winter gerelateerd aan een lagere temperatuur en minder UV-straling [29].

Het infectierisico veroorzaakt door de *Vibrio*-soort *V. parahaemolyticus* zou onder invloed van klimaatverandering kunnen toenemen [15,26]. Een eerste kwantificering van de gevolgen van deze ontwikkeling voor de ziektelast van *V. parahaemolyticus* laat zien dat klimaatverandering zou kunnen leiden tot een relatieve toename in ziektelast van 49 tot 97 procent in 2050 en 66 tot 193 procent in 2085 ten opzichte van 2020, afhankelijk van het klimaatscenario [30]. De huidige ziektelast van *Vibrio* spp.-infecties in Nederland is onbekend. Daarom kunnen er geen uitspraken worden gedaan over absolute veranderingen als gevolg van klimaatverandering.

Naast deze infectieziekten is er ook veel aandacht voor de effecten van klimaatverandering op schadelijke blauwalgen (cyanobacteriën). Toxinen die door deze blauwalgen worden geproduceerd kunnen bijvoorbeeld huid- of maagdarmklachten veroorzaken. Door de combinatie van toegenomen afspoeling, waardoor meer nutriënten in het oppervlaktewater terecht komen, en hogere watertemperaturen creëert klimaatverandering gunstige omstandigheden voor de schadelijke bloei van bepaalde soorten blauwalgen,

vooral in kleine en ondiepe wateren [31,32]. Klimaatverandering heeft zo niet alleen effect op de gezondheidsrisico's van blauwalgen, maar kan er toe leiden dat zwemlocaties vaker gesloten moeten worden. Hierdoor neemt de druk op overige zwemlocaties toe. In Nederland is de huidige ziektelast veroorzaakt door blauwalgen laag. Gezondheidsrisico's op officiële zwemlocaties worden beperkt met behulp van het Blauwalgenprotocol [33].

Klimaatadaptatie en handelingsperspectief

Om de effecten van klimaatverandering te beperken worden klimaatadaptatiemaatregelen genomen. Deze maatregelen kunnen ook van invloed zijn op de infectierisico's van wateroverdraagbare infectieziekten. Er zijn veel 'blauwe' adaptatiemaatregelen waarmee extra waterberging ten tijde van hoge neerslag wordt gerealiseerd, zoals het aanleggen van nieuwe waterlichamen of waterconcepten zoals wadi's (een beplante greppel waar regenwater tijdelijk kan worden opgevangen en vervolgens infiltreert) en waterpleinen. Mede door de implementatie van deze maatregelen is er steeds meer water aanwezig in de leefomgeving. Hierdoor zullen ook meer mensen met water in aanraking komen [7,34].

Veel klimaatadaptatiemaatregelen in het stedelijke gebied zijn gericht op het tegengaan of verminderen van wateroverlast [34]. Hiermee kunnen de infectierisico's die samenhangen met wateroverlast beperkt worden. Deze maatregelen hebben vaak ook een effect op de microbiologische waterkwaliteit. Maatregelen zoals het aanleggen van groene daken of het vervangen van verhardingen door groen (beplanting) kunnen ervoor zorgen dat een groter deel van het regenwater in de bodem infiltreert of vertraagd kan worden afgevoerd. Dit leidt ertoe dat riooloverstorten minder vaak in werking treden, en dat er minder verontreinigingen met het regenwater afspoelen naar het oppervlaktewater. Hierdoor nemen de risico's op zwemwatergerelateerde infecties af. Klimaatadaptatiemaatregelen kunnen echter ook onbedoelde risico's veroorzaken. Groen (in de buurt van water) kan bijvoorbeeld dienen als leefruimte voor vogels of knaagdieren, waardoor er mogelijk meer ziekteverwekkers zoals *Campylobacter* (afkomstig uit ontlasting van onder andere vogels) of *Leptospira* (urine van knaagdieren) in het aquatische milieu terecht komen [35]. Waterbergende maatregelen

worden soms zo ingericht dat ze ook gebruikt kunnen worden voor recreatie. Voorbeelden zijn waterpleinen of wadi's. Het water dat in deze waterconcepten terecht komt is vrijwel altijd microbiologisch verontreinigd en niet geschikt voor recreatie, hoewel dit vaak toch gebeurt [9,36]. Wanneer wadi's worden gebruikt voor het uitlaten van honden, of als er vanwege fout-aansluitingen huishoudelijk afvalwater in het opgevangen water terecht komt, nemen infectierisico's verder toe [36].

Om de microbiologische risico's van verschillende waterconcepten in kaart te brengen heeft het RIVM de Waterkwaliteitscheck ontwikkeld [37]. Hiermee kan ook worden doorgerekend hoe bepaalde aanpassingen aan het waterconcept, zoals de keuze in het type vulwater, van invloed zijn op infectierisico's van verschillende ziekteverwekkers. Vaak zijn er simpele aanpassingen mogelijk om de microbiologische risico's van klimaatadaptatiemaatregelen te beperken. Zo kunnen wadi's minder uitnodigend worden ingericht zodat watercontact wordt beperkt. En kunnen groene daken beplant worden met planten die geen bemesting nodig hebben, waardoor zij geen nieuwe bron worden van nutriënten in het oppervlaktewater [38].

Discussie/conclusie

Klimaatverandering zal de infectierisico's van wateroverdraagbare infectieziekten beïnvloeden. Naar het effect van klimaatverandering op risico's veroorzaakt door bijvoorbeeld *Legionella* en *Vibrio* is onderzoek gedaan, en er zijn al effecten gevonden. In deze gevallen gaat het om een toename van gezondheidsrisico's. Studies die kijken naar toekomstige effecten laten zien dat klimaatverandering niet altijd hoeft te leiden tot een toename in risico. Voor *Vibrio* zouden de geobserveerde trends door kunnen zetten, waardoor de ziektelast van *Vibrio*-infecties toeneemt onder invloed van klimaatverandering. Netto-effecten op de microbiologische kwaliteit van oppervlaktewater zouden in de toekomst juist beperkt kunnen zijn. Dit hangt af van het klimaatscenario of de ziekteverwekker. Mogelijk kan de blootstelling aan ziekteverwekkers in water onder invloed van klimaatverandering wel toenemen, bijvoorbeeld omdat er vaker gezwommen wordt. De invloed van klimaatverandering op recreatiegedrag is nog onvoldoende in beeld gebracht.

Mogelijk zijn er veel meer water- of anderszins

overdraagbare infectieziekten in Nederland die ook effecten (gaan) ondervinden van klimaatverandering. Uit recent onderzoek blijkt dat ruim de helft van alle humane infectieziekten aantoonbaar zal verergeren onder invloed van bepaalde klimaatfactoren [2]. De epidemiologie van deze infectieziekten kan dus veranderen als gevolg van klimaatverandering. Hoewel er steeds meer onderzoek wordt gedaan naar de gezondheidseffecten van klimaatverandering, zijn wateroverdraagbare infectieziekten relatief onderbelicht in de internationale wetenschappelijke literatuur. Onze kennis over de invloed van klimaatverandering op deze ziekten is dus onvolledig.

Referenties

1. LCI. LCI-draaiboek Waterrecreatie en infectieziekten. Bilthoven: RIVM; 2018 [28-11-2022].
2. Mora C, McKenzie T, Gaw IM, et al. Over half of known human pathogenic diseases can be aggravated by climate change. *Nature Climate Change*. 2022 2022/09/01;12(9):869-75.
3. Brandsema PS, Euser SM, Karagiannis I, Den Boer JW, Van Der Hoek W. 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.
4. KNMI. KNMI Klimaatsignaal '21. De Bilt: KNMI, 2021.
5. Limaheluw J, de Roda Husman AM, Schets FM. Gezondheidsklachten door waterrecreatie in de zomers van 2017, 2018 en 2019. *Infectieziekten Bulletin*. 2020;31(1).
6. Poulin R. Global warming and temperature-mediated increases in cercarial emergence in trematode parasites. *Parasitology*. 2006 Jan;132(Pt 1):143-51.
7. Schets FM, van der Wal A, van Zoonen K, Tholen A, de Roda Husman AM. Veranderingen in de inrichting van de leefomgeving maken aandacht voor infectieziekten urgent. Bilthoven: RIVM, 2022 2021-0025.
8. Wezenberg-Hoenderkamp K, Floor C. Buitenzwemwater in de gemeente Utrecht. Utrecht: Mulier Instituut, 2020.
9. de Man H, van den Berg HHJL, Leenen EJTM, et al. Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban floodwater. *Water Research*. 2014 2014/01/01;48:90-9.
10. Mulder AC, Pijnacker R, de Man H, et al. "Sickenin' in the rain" – increased risk of gastrointestinal and respiratory infections after urban pluvial flooding in a population-based cross-sectional study in the Netherlands. *BMC Infectious Diseases*. 2019 2019/05/02;19(1):377.
11. ECDC. Extreme rainfall and catastrophic floods in western Europe – 29 July 2021. Stockholm: ECDC, 2021.
12. Limaheluw J, Niese R, Hall EF, de Kraker J, Vermeulen L, de Roda Husman AM. Human health impacts of climate change: a global scoping review. 2023. [Publication in preparation].
13. Sterk A, Schijven J, de Roda Husman AM, de Nijs T. Effect of climate change on runoff of *Campylobacter* and *Cryptosporidium* from land to surface water. *Water research*. 2016 May 15;95:90-102.
14. Sterk A, de Man H, Schijven JF, de Nijs T, de Roda Husman AM. Climate change impact on infection risks during bathing downstream of sewage emissions from CSOs or WWTPs. *Water Research*. 2016;105:11-21.

15. Sterk A, Schets FM, de Roda Husman AM, de Nijs T, Schijven JF. Effect of Climate Change on the Concentration and Associated Risks of *Vibrio* Spp. in Dutch Recreational Waters. Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis. 2015;35(9):1717-29.
16. Caminade C, van Dijk J, Baylis M, Williams D. Modelling recent and future climatic suitability for fasciolosis in Europe. Geospatial health. 2015;9(2):301-8.
17. Vezzulli L, Grande C, Reid PC, et al. Climate influence on *Vibrio* and associated human diseases during the past half-century in the coastal North Atlantic. Proc Natl Acad Sci U S A. 2016 Aug 23;113(34):E5062-71.
18. Nakazawa Y, Williams R, Peterson AT, Mead P, Staples E, Gage KL. Climate change effects on plague and tularemia in the United States. Vector-Borne and Zoonotic Diseases. 2007;7(4):529-40.
19. Ryden P, Sjostedt A, Johansson A. Effects of climate change on tularemia disease activity in Sweden. Global health action. 2009 Nov 11;2.
20. Ma Y, Vigouroux G, Kalantari Z, Goldenberg R, Destouni G. Implications of projected hydroclimatic change for tularemia outbreaks in high-risk areas across Sweden. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(18):1-13.
21. Baker-Austin C, Trinanés JA, Taylor NGH, Hartnell R, Siitonen A, Martínez-Urtaza J. Emerging *Vibrio* risk at high latitudes in response to ocean warming. Nature Climate Change. 2013;3(1):73-7.
22. Semenza JC, Trinanés J, Lohr W, et al. Environmental suitability of *Vibrio* infections in a warming climate: An early warning system. Environmental Health Perspectives. 2017;125(10).
23. Chhetri BK, Galanis E, Sobie S, et al. Projected local rain events due to climate change and the impacts on waterborne diseases in Vancouver, British Columbia, Canada. Environmental Health: A Global Access Science Source. 2019;18(1).
24. Kuhn KG, Nygård KM, Guzman-Herrador B, et al. *Campylobacter* infections expected to increase due to climate change in Northern Europe. Scientific reports. 2020;10(1):13874.
25. Han XY. Effects of climate changes and road exposure on the rapidly rising legionellosis incidence rates in the United States. PLoS ONE. 2021;16(4 April 2021).
26. Schets FM, Pol-Hofstad IE, van den Berg HHJL, et al. Risico's van *Vibrio*-besmetting in zwenwater, schelpdierproductiewater en schelpdieren. Bilthoven: RIVM, 2023 2022-0081.
27. RIVM. Legionella. RIVM; [updated 23-11-202228-11-2022]; Available from: <https://www.rivm.nl/legionella>.
28. Pampaka D, Gómez-Barroso D, López-Perea N, Carmona R, Portero RC. Meteorological conditions and Legionnaires' disease sporadic cases—a systematic review. Environmental Research. 2022 2022/11/01;214:114080.
29. Mulder AC, Franz E, de Rijk S, et al. Tracing the animal sources of surface water contamination with *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*. Water Research. 2020 2020/12/15;187:116421.
30. Hall EF, Maas RJM, Limaheluw J, Betgen CD. Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering. Bilthoven: RIVM, 2021.
31. Kosten S, Huszar VLM, Bécares E, et al. Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. Global Change Biology. 2012 2012/01/01;18(1):118-26.
32. Jeppesen E, Kronvang B, Meerhoff M, et al. Climate Change Effects on Runoff, Catchment Phosphorus Loading and Lake Ecological State, and Potential Adaptations. Journal of Environmental Quality. 2009 2009/09/01;38(5):1930-41.
33. Schets FM, van der Oost R, van de Waal DB, Lammertink M, Slot D, van Druten GHTM. Blauwalgenprotocol 2020. Bilthoven: RIVM briefrapport 2020-0107.
34. Schets FM, de Man H, van Leuken JPG, de Roda Husman AM. De 'waterkwaliteitscheck' voor nieuwe en bestaande stedelijk waterconcepten: Het belang van aandacht voor de microbiologische kwaliteit van water in de stad. Bilthoven: RIVM, 2017 2017-0012.
35. Löhmus M, Balbus J. Making green infrastructure healthier infrastructure. Infect Ecol Epidemiol. 2015;5:30082.
36. de Man H, Leenen I. Water in de openbare ruimte heeft risico's voor de gezondheid. STOWA en Stichting RIONED, 2014.
37. RIVM. Waterkwaliteitscheck voor stedelijk waterconcepten. 2022 [28-11-2022]; Available from: www.waterkwaliteitscheck.nl.
38. Kuoppamäki K, Lehvävirta S. Mitigating nutrient leaching from green roofs with biochar. Landscape and Urban Planning. 2016 2016/08/01;152:39-48.