

Karakterisering van onzekerheid in effecten van klimaatverandering in Nederland



J.A. Wardekker, J.P. van der Sluijs

Department of Science, Technology and Society
Copernicus Institute
Utrecht University, Utrecht, The Netherlands

2011

Report commissioned by: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
Notitie ter bijdrage aan 'Klimaatbestendig Nederland'

Report NWS-E-2011-79

Inhoudsopgave

1. <i>Introductie</i>	3
1.1. Achtergrond en opzet	3
1.2. Leeswijzer	3
2. <i>Effecten op fysieke klimaat</i>	4
3. <i>Watermanagement</i>	6
3.1. Zeespiegelstijging	6
3.2. Hoge rivierafvoer	8
3.3. Lage rivierafvoer en droogte	10
3.4. Wateroverlast door extreme buien	11
3.5. Samenvattende tabel	12
4. <i>Gezondheid</i>	14
4.1. Temperatuur en luchtkwaliteit	14
4.2. Infectieziekten (vectorgebonden)	15
4.3. Allergieën	15
4.4. Water- en voedseloverdraagbare infecties	16
4.5. Samenvattende tabel	17
5. <i>Natuur</i>	18
5.1. Onzekerheden	18
5.2. Samenvattende tabel	19
<i>Referenties</i>	21
<i>Dankwoord</i>	22

1. Introductie

1.1. Achtergrond en opzet

Begin 2009 heeft PBL de studie *Wegen naar klimaatbestendig Nederland* gepubliceerd. VROM heeft PBL verzocht te onderzoeken of en welke klimaatrobuuste strategieën voor de ruimtelijke inrichting van Nederland mogelijk zijn. Om deze taak te ondersteunen is het project *Klimaatbestendig Nederland* gestart waarin in een reeks van deelstudies bouwstenen worden geleverd voor de genoemde rapportage. In het deelproject *Klimaat effecten* wordt een up-to-date verkenning gemaakt van de mogelijke effecten en worst case scenario's voor Nederland.

Een goed begrip van de aard en omvang van onzekerheid rond de effecten is cruciaal om tot verantwoorde strategieën te komen om Nederland klimaatbestendiger maken.

Bij het omgaan met onzekerheden over de toekomstige staat van het klimaat spelen drie onzekerheidsniveaus een rol (Walker et al., 2003):

- statistische onzekerheid (mogelijke uitkomsten en bijbehorende kansen bekend),
- scenario onzekerheid (range van mogelijke uitkomsten bekend, kansen onbekend), en
- onwetendheid (uitkomsten onbekend, incompleet begrip van causale mechanismen).

Met deze drie niveaus hebben we altijd tegelijkertijd te maken, maar per geval verschillen ze in onderling belang. Het goed begrijpen van het onderlinge belang van de drie niveaus van onzekerheid in een specifiek adaptatievraagstuk is cruciaal voor de keuze van een passende en verantwoorde strategie voor omgang met onzekerheid. Een strategie als de klassieke risicobenadering, bijvoorbeeld, is met name geschikt wanneer kansen en gevolgen goed bekend zijn, terwijl een strategie als veerkracht goed om kan gaan met onwetendheid. De UU heeft deze kwesties eerder in kaart gebracht in de studie “*Uncertainty and climate change adaptation*” (Dessai en van der Sluijs, 2007). Het onderlinge belang van de drie niveaus van onzekerheid en de afweging tussen verschillende strategieën kan voor elke adaptatieopgave anders zijn.

In deze notitie worden de onzekerheden rond de effecten van klimaatverandering gekarakteriseerd aan de hand van de drie bovengenoemde onzekerheidsniveaus: welke onzekerheden spelen op elk van deze niveaus en hoe verhouden ze zich tot elkaar? Dit gebeurt op drie thema's: water, gezondheid en natuur.

De analyse is vooral gebaseerd op de achtergronddocumenten die voor het deelproject *Klimaat effecten* zijn aangeleverd en enkele andere studies die al op dit terrein gedaan zijn voor Nederland. Deze notitie herschikt en analyseert de onzekerheidsinformatie in deze relatief beperkte hoeveelheid materiaal: de analyse is daarom indicatief en moet niet gezien worden als een uitgebreide literatuuranalyse.

1.2. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt (ter achtergrond) kort ingegaan op onzekerheden in veranderingen in het fysieke klimaat. In de hoofdstukken 3-5, worden de onzekerheden rond water, gezondheid en natuur besproken. Aan het eind van elk hoofdstuk wordt in een tabel een kwalitatief overzicht geboden van de totale grootte van de onzekerheden op elk niveau (statistisch, scenario, onwetendheid) voor een aantal subthema's.

2. Effecten op fysieke klimaat

Aan de basis van de impacts van klimaatverandering op thema's als watermanagement, gezondheid en natuur, liggen veranderingen in het fysieke klimaat ten grondslag. Onzekerheden hierin werken door in de onzekerheid in impacts op de diverse thema's. Ter achtergrond worden in deze sectie onzekerheden in het fysieke klimaat kort besproken (gebaseerd op: Dessai en Van der Sluijs, 2007, 2011; Wardekker, 2011).

Op wereldschaal begint de modelmatige verkenning van huidige en toekomstige klimaatverandering bij de veranderingen in emissies en atmosferische concentraties van broeikasgassen en andere stoffen en factoren (bijv. aerosolen, landgebruik) die het klimaat beïnvloeden. Voor verleden en heden spelen hierbij vooral onzekerheden in de monitoring en het schatten van emissies. Dit zijn deels statistische onzekerheden (foutmarges e.d.), maar ook scenario onzekerheden (verschillende meet- en rekenmethoden) en onwetendheid (incomplete begrip van bronnen en -veranderingen, incomplete rapportages uit diverse landen). De onzekerheden zijn echter groter en dieper bij het verkennen van mogelijke toekomstige emissies van broeikasgassen (Dessai en Van der Sluijs, 2011). Deze zijn afhankelijk van diverse factoren, zoals demografische, sociale, economische en technologische veranderingen. Dit zijn grotendeels scenario-onzekerheden. Bekend zijn bijvoorbeeld de SRES emissiescenario's waarbij consistentie binnen elk scenario is nagestreefd aan de hand van story-lines (IPCC, 2000). De factoren die binnen elk scenario spelen, hebben echter ook statistische onzekerheden. Soms worden deze meegenomen, wat leidt tot bijvoorbeeld 'conditionele probabilistische scenario's', waarbij elk scenario een (probabilistische) onzekerheidsband heeft. De nieuwste generatie IPCC scenario's werkt aan de hand van representatieve concentratie-paden (Representative Concentration Pathways, RCPs) die geënt zijn op verschillende denkbare eindwaarden voor de toekomstige stralingsforcering van het klimaatsysteem, uitgedrukt in Watt/m^2 en corresponderende emissiepaden daar naartoe (Moss et al., 2010).

Voor het analyseren van de impact van de emissies op het wereldwijde klimaat worden diverse klimaatmodellen gebruikt. Deze verschillen in hun benadering en details zoals de wijze waarop feedback via wolken becijferd wordt, wat zich ondermeer uit in verschillende klimaatgevoeligheid. Dit zijn grotendeels scenario onzekerheden en deels statistische onzekerheden: het is een spectrum van opties, maar soms kunnen modellen onderling gewogen worden of kunnen expert panels probabilistische schattingen geven (bijv. van klimaatgevoeligheid). Onwetendheid gaat echter ook een relevante rol spelen: sommige processen en feedbacks in het klimaatsysteem worden niet, of niet adequaat, meegenomen in de modellen. Dit kan komen door bijvoorbeeld een beperkte kennisbasis over dit onderwerp, beperkte lengte van de observaties of grote onzekerheden hierin, of beperkte rekenkracht. Met name rond complexe processen (bijv. koolstofkringloop, wolken), niet-lineaire effecten (bijv. versnelde afsmelting ijskappen) en plotselinge systeemveranderingen (bijv. regime-shifts in de thermohaline circulatie) is de onwetendheid vaak groot. Dergelijke effecten en veranderingen worden soms als 'imaginable surprises', extreme scenario's of kanttekeningen gepresenteerd. Voor het uiteindelijke verloop van klimaatverandering is ook natuurlijke klimaatvariabiliteit en -verandering van belang. Bij de factoren die hierbij van invloed zijn spelen alle drie de onzekerheidsniveaus; de nadruk verschilt per factor en per tijdschaal.

De consequenties van de wereldwijde projecties voor regionale, nationale en lokale schalen kunnen vervolgens op meerder manieren bepaald worden. Hoofdbenaderingen voor 'downscaling' zijn: dynamisch en statistisch. Bij dynamische downscaling worden de resultaten van mondiale klimaatmodellen als input gebruikt voor regionale modellen. Bij statistische downscaling (bijv. regressiemodellen, weertypeschema's en weergenerators) wordt een statistische relatie tussen mondiale en regionale/lokale klimaatvariabelen bepaald. Die relatie wordt vervolgens gebruikt om mogelijke lokale veranderingen te analyseren. De

verschillen tussen deze benaderingen (en de methoden daarbinnen) zijn een vorm van scenario onzekerheid. Zowel bij dynamische als statistische methoden speelt ook enige onwetendheid: bij dynamische downscaling is het de vraag of de parameterisatie van processen op kleinere schaal (sub-grid) in de analyse van toekomstige klimaten wel altijd toepasbaar is en voor statistische downscaling is het de vraag of de statistische relatie wel gelijk blijft in een veranderend klimaat (cf. Dessai en Van der Sluijs, 2011).

De uiteindelijke fysieke klimaatvariabelen hebben daarnaast te maken met diverse vormen van variabiliteit (statistische onzekerheden): bijv. natuurlijke klimaatvariaties, jaar-tot-jaar (weers)variabiliteit en geografische variabiliteit. Bij extreme gebeurtenissen als hittegolven, koudegolven en extreme neerslag, speelt nog meer. Doordat dergelijke gebeurtenissen zeldzaam zijn, zijn er weinig gegevens over beschikbaar. De relevante processen zijn daarom nog niet geheel begrepen (onzekerheid). Wel kunnen soms, onder aanname van een kansverdeling, schattingen gemaakt worden van de kans op het optreden van extremen, inclusief extremen die in de meetreeksen nog niet zijn voorgekomen. Dit resulteert echter vaak wel in forse statistische onzekerheidsmarges.

3. Watermanagement

Deze opsomming is opgesteld aan de hand van met name Te Linde (2009), “Aanvullende scenario’s tbv ‘Wegen naar klimaatbestendig Nederland’”, Deltares (draft intern memo, 2 november 2009).

Merk op dat in dit stuk ook onzekerheden als de jaarlijkse variabiliteit, meetfouten en andere onzekerheden rond het huidige klimaat zijn meegenomen. Dit zijn weliswaar vaak geen onzekerheden rond de effecten van klimaatverandering, maar ze vormen wel een onzekerheid voor de toekomstige situatie. Voor de te kiezen beleidsmaatregelen zijn ze daarom relevant.

3.1. Zeespiegelstijging

Statistische onzekerheden

- Jaar-op-jaar variabiliteit van de gemiddelde zeespiegelstand langs de Nederlandse kust.
- Geografische variabiliteit in bodemdaling (en daarmee in de relatieve zeespiegelstijging). Voor 2050 verschilt dit lokaal van +2 tot –60 cm en is daarmee op sommige plaatsen zelfs groter dan de absolute zeespiegelstijging. (Te Linde, 2009).
- Onzekerheden in meetgegevens (bijv. van zeespiegel, bodemdaling, ijsmassa en – uitstroom, etc.), vanwege meetfouten of gebrekkige waarnemingen.
- Onzekerheidsmarges binnen emissie- of temperatuurscenario’s door interne variabiliteit.

Scenario onzekerheden

- Klimaatscenario’s; de luchttemperatuur en het effect daarvan op de zeespiegel (met name op langere termijn; na 2050). Deze spelen een belangrijke rol bij diverse contributies van zeespiegelstijging een rol (bijv. uitzetting van de oceaan, smelten van gletsjers, etc.). Uitzetting van de oceaan is op dit moment de grootste contributie aan zeespiegelstijging en heeft een aanzienlijke onzekerheidsmarge.
- Scenario’s voor economische, ruimtelijke en overige maatschappelijke ontwikkelingen. Wereldwijde scenario’s zijn relevant voor het schatten van de emissies (emissiescenario’s), die weer meespelen in klimaatscenario’s. Regionale/landelijke scenario’s zijn relevant voor het schatten van de impacts van zeespiegelstijging (bijv. potentiële schade door overstromingen, houdbaarheid van gebieden op de lange termijn).
- Onzekerheidsbanden rond emissie- of temperatuurscenario’s door verschillende uitkomsten van diverse modellen (modelleeronzekerheid). I.e. verschillende modellen met verschillende plausibele (aannamen voor) modelstructuren, parameters, etc. kunnen tot andere uitkomsten leiden. Vellinga et al. (2008) geven aan dat dit o.a. speelt bij het berekenen van de uitzetting van de oceaan, i.v.m. verschillen in parameterisatie van kleinschalige menging, grootschalige oceaanstromingen en warmteopname uit de atmosfeer.

Onwetendheid

- Eventueel versneld afsmelten van de ijskappen op Groenland en Antarctica en daarmee gepaard gaande zeespiegelstijging. Recente waarnemingen laten een versnelde ijsuitstroming zien, maar deze processen zijn grotendeels onbegrepen. Vellinga et al. (2008) geven aan dat de onzekerheden komen door onvolledige conceptuele kaders en deels ook door gebrek aan waarnemingen. Mochten de ijskappen inderdaad versneld afsmelten, dan kan dit een van de belangrijkste

- Het 'gravitatie-effect' van het landijs (met name de ijskappen op Groenland en Antarctica) en de consequenties daarvan voor de regionale zeespiegel via smelten van dit ijs. Er is geen wetenschappelijke overeenstemming over hoe het gravitatieeffect het beste kan worden becijferd (zie boxtekst 1).
- Onvoorspelbaarheid van(wege) niet-fysische factoren, bijvoorbeeld politieke besluitvorming. Vellinga et al. (2008) geven aan dat dit een rol speelt bij bijvoorbeeld veranderingen van terrestrische wateropslag¹.

Boxtekst 1: onzekerheden rond het zwaartekrachteffect bij zeespiegelprojecties

Mondiale projecties van toekomstige zeespiegelstijging houden rekening met thermische uitzetting van het zeewater (warmer water neemt meer volume in), het afsmelten van landijs en het afbrokkelen van ijskappen. Regionaal kan de zeespiegelstijging hoger of lager zijn dan het wereld gemiddelde door ondermeer oceaanstromingen en regionale verschillen in opwarming. Een effect waar wetenschappers nog niet goed weten hoe het moet worden meegenomen, zijn de zwaartekrachteffecten. In de zeespiegelprojecties van AR4 zijn ze dan ook buiten beschouwing gelaten. Wereldgemiddeld maakt het niets uit, maar voor regionale zeespiegelstijging leidt het tot grote verschillen.

Grote ijsmassa's zoals de Groenlandse ijskap en de ijsmassa van Antarctica steken ver boven het zeeniveau uit en oefenen door hun enorme massa via zwaartekracht een substantiële aantrekking uit op het water in de omringende oceaan. Hierdoor staat het zeeniveau dicht bij een grote ijskap hoger dan als de zwaartekracht van die ijsmassa daar niet was. Bij het smelten van de ijskap vermindert de massa ervan en daarmee het zwaartekrachtveld op het omringende water: het zeeniveau ter plaatse wordt dan minder omhoog getrokken. Op zeer grote afstand stijgt het zeeniveau door dit effect juist meer. Het Kantelpunt van afremming naar versterking van de stijging, ligt op ongeveer 2200 km van de ijsmassa (Katsman et al., 2008). Voor Nederland geldt dat bij afsmelten van de Groenlandse ijskap het zwaartekrachteffect de lokale zeespiegelstijging afremt terwijl bij afsmelten van West Antarctica, dat veel verder weg ligt van Nederland, het zwaartekrachteffect van de plaatselijke stijging juist hoger is dan het wereldgemiddelde.

Daarnaast speelt nog het effect dat de vorm van de aardkorst wijzigt als de enorme druk die de ijsmassa er op uitoefent wegvalt. Ook daardoor verandert het zwaartekrachtveld substantieel en daarmee de ruimtelijke verdeling van oceanwater.

Op grond van een van de studies op dit gebied (Mitrovica et al., 2001), zou de bijdrage van wegsmelten van de Groenlandse ijskap op de lokale zeespiegelstijging in Nederland met ongeveer 75% worden afgeremd ten opzichte van de bijdrage van die ijskap aan de wereldgemiddelde zeespiegelstijging. De lokale stijging door afsmelten van Antarctica is volgens deze studie door zijn zwaartekracht effect, in Nederland circa 10% hoger dan de wereldgemiddelde bijdrage van die afsmelting. Omdat in de komende eeuw de bijdrage van de smeltende ijskappen nog beperkt is ten opzichte van andere factoren zoals thermische uitzetting van het zeewater, zal het zwaartekrachteffect naar verwachting niet zo'n grote rol spelen.

Er bestaan echter verschillende manieren voor het bepalen van het zwaartekrachteffect en die geven verschillende uitkomsten. Naast de eerder genoemde studie van Mitrovica, is er de methode van de Duitse wetenschapper Hans-Peter Plag die het KNMI bijstaat in het

¹ Vellinga et al. (2008) geeft dit ook aan voor uitzetting van de oceaan en smelten van gletsjers, maar daar lijkt het vooral te gaan om wereldwijde politieke besluitvorming zoals reeds is opgenomen in emissiescenario's. Al kunnen lokale politieke besluiten wellicht ook enig effect hebben op gletsjers (bijv. afdekken om smelten tegen te gaan).

becijferen van het zwaartekrachteffect. De ene manier baseert zich op de datareeks van zeeniveau en ijsmassa's in de periode 1961-2003 (Dyurgerov en Meier, 2005). De andere methode gebruikt een model van zwaartekrachteffecten en elastische effecten (veranderingen in het zwaartekrachtveld door vervorming van de aardkorst bij wegvallen van de ijsmassa), geijkt op de historische glaciële smelting tussen 1900 en 1961. In een achtergrondstudie (Vellinga et al., 2008) voor het rapport van de Deltacommissie zijn beide methodes naast elkaar gezet. Voor de afzonderlijke bijdragen van respectievelijk Groenland en Antarctica zijn de verschillen voor beide rekenmethoden aanzienlijk. Met name de versterking van de lokale zeespiegelstijging door wegvallend zwaartekrachteffect bij wegsmelting van West Antarctica komt in de methode van Plag veel hoger uit dan in de methode van Mitrova. Opgeteld komen de bijdragen van Groenland en West Antarctica netto echter ongeveer op dezelfde bovengrens uit voor de totale regionale zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust in 2100. Nader onderzoek is nodig om te bepalen welke methode het meest adequaat is.

Volgens de Delftse onderzoeker Bert Vermeersen zijn er nog zoveel onzekerheden over hoe het zwaartekrachteffect precies gaat uitpakken, dat het feitelijk onmogelijk is om regionale zeespiegelstijging betrouwbaar te kunnen voorspellen. In zowel de IPCC scenario's als in de KNMI 2006 scenario's is het zwaartekrachteffect daarom nog niet meegenomen. Ook in de uiteindelijke scenario's van de Deltacommissie is het zwaartekrachteffect weggelaten.

In de komende 100 jaar lijkt de rol van het zwaartekrachteffect nog beperkt. Op termijn van enkele eeuwen – als een groter deel van de ijskappen zou gaan smelten - gaat het zwaartekrachteffect wel een steeds grotere rol spelen.

3.2. Hoge rivierafvoer

Statistische onzekerheden

- Statistische onzekerheidsmarge rond de theoretische piekafvoeren (bijv. met 1/1250 herhalingstijd – de ‘maatgevende afvoer’) (Te Linde, 2009, p.12; zie ook Vellinga et al., 2008). Dergelijke afvoeren zijn door de korte lengte van de meetreeksen nog nooit waargenomen en worden geëxtrapoleerd (onder aanname van een bepaalde kansfunctie) vanuit de beschikbare waarnemingen (met gebeurtenissen met kleinere herhalingstijden). Dit een grote onzekerheid (de grootste in de gevoeligheidsanalyse in Te Linde, 2008, p.26-34) voor zowel Rijn als Maas, zowel voor 2050 als 2100. De huidige 1/1250 afvoer van de Rijn bijvoorbeeld, is 16,000 m³/s met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 13,000-18,500 m³/s (Vellinga et al., 2008) – ruwweg +/- 18%.
- Variabiliteit in de piekafvoer van jaar-tot-jaar. Dit heeft als consequentie dat de jaarlijkse piekafvoer als distributie met mogelijke afvoeren en de herhalingstijd daarvan moet worden weergegeven (i.e. frequentieverdeling/kansverdeling).
- Meetfouten in de afvoer. Dit is een kleine onzekerheid voor zowel Rijn als Maas, zowel voor 2050 als 2100.

Scenario onzekerheden

- Klimaatscenario's; o.a. temperatuur, neerslag en verdamping. Hierbij zijn van belang: (a) de mondiale emissiescenario's van broeikasgassen, (b) het effect hiervan op de wereldgemiddelde temperatuur zoals berekend door verschillende klimaatmodellen (globale klimaatresponse; modelleeronzekerheden) en (c) regionale klimaatveranderingen (meer dan temperatuur alleen) inclusief lokale effecten als veranderingen van luchtstromingspatronen (regionale klimaatresponse; o.a. modelleeronzekerheden en kennislacunes rond regionale effecten). Voor 2050 zijn

². Te Linde

(2009) concludeert dat de verschillen (in piekafvoer) tussen de scenario's met name toegeschreven kunnen worden aan het gebruik van verschillende klimaatmodellen (modelleeronzekerheid) en dat de emissiescenario's minder van belang zijn.

- Verschillen in (resultaten van) diverse afvoermodellen voor bijv. de Rijn en de Maas (o.a. hydrologische en hydraulische onzekerheden). Samengevoegd met klimaatscenario's (als inputdata voor de afvoermodellen) leidt dit tot verschillende afvoerscenario's. Hydrologische/hydraulische onzekerheden zijn voor de Rijn naar verhouding voor 2050 beperkt tot middelgroot en voor 2100 groot (Te Linde, 2009). Voor de Maas was deze onzekerheid niet berekend.
- Overstromings/capaciteitsscenario's; ga je voor het berekenen van de piekafvoer uit van 'oneindig hoge dijken' (geen overstromingen bovenstreams) of van overstromingen op bepaalde plekken bovenstreams (bijv. alleen rond Nederrijn, of Nederrijn plus Bovenrijn). Dit bepaalt de maximale afvoer die Nederland kan bereiken. Voor de piekafvoer Rijn is het aangenomen bovenstreams beschermingsniveau een grote onzekerheid, met name voor de schattingen voor 2100. Ook Vellinga et al. (2008) geven dit als een van de twee belangrijke bronnen van onzekerheid die nog niet voldoende onderkend worden in het waterbeheer.
- De keuze van de extreme-waarde verdeling (de kansfunctie die gebruikt wordt om de piekafvoeren te berekenen; zie statistische onzekerheden). Deze onzekerheid speelt een naar verhouding beperkte tot middelgrote rol voor zowel Rijn als Maas. De grootte (in m³/s) ervan is gelijk voor 2050 en 2100. Voor 2050 is deze nog groter dan bijv. de globale klimaatresponse, maar voor 2100 niet meer (cf. Te Linde, 2009, p.30 en 32).
- Voor de (potentiële) gevolgen van overstromingen zijn ook economische scenario's en de mate en locatie van urbanisatie van groot belang (zie bijv. ook PBL, 2007 (Nederland Later)). De potentiële schade (bevolking, value-at-risk) zal naar verwachting sterk groeien.

Onwetendheid

- De berekende Rijn-afvoeren gelden voor Lobith. Afhankelijk van de precieze plek van een bovenstroomse overstroming kan een gedeelte van het overstroomde volume via een andere weg Nederland binnenkomen. Hiervan zijn geen berekeningen gemaakt, maar het kan wel relevant zijn. (NB wellicht vallen hier scenarioanalyses voor te maken?)
- De modellen worden toegepast op afvoeren die buiten de range vallen waarop de modellen gekalibreerd zijn (i.e. afvoeren met een herhalingsstijd van 1/1250 zijn extrapolaties; ze zijn nooit waargenomen). Het is onzeker in hoeverre de relaties die binnen de kalibratierange gelden, opgaan voor de berekende afvoeren.
- De berekeningen gaan uit van het beveiligingsniveau in Duitsland van "de situatie zoals die zal zijn indien voorgenomen maatregelen zijn uitgevoerd (verwacht omstreeks 2015)". Echter, het Duitse waterveiligheidsbeleid kan over een periode van 50 of 100 jaar mogelijk aanzienlijk veranderen (verbeteren danwel verslechteren)³. Een situatie met een ingrijpend aangepast Duits beleid zou daarmee een 'verrassingsscenario' kunnen zijn.
- Analyses over de periode na 2100 ontbreken.

Overige opmerkingen

² Opmerking: deze classificaties (beperkt, middelgroot, etc.) zijn slechts ruwe kwalitatieve indicaties op basis van de verhouding tot andere berekende onzekerheden op p.30-33 van Te Linde (2009).

³ Al moet wel opgemerkt worden dat in de *huidige* Europese beleidscontext er voor bovenstroomse beslissingen rekening gehouden moet worden met de benedenstroomse gevolgen. Bijvoorbeeld in de Europese Richtlijn Overstromingsrisico's (ROR): lidstaten mogen geen maatregelen nemen die de overstromingskansen in andere lidstaten verhogen.

- Op p.8 van Te Linde (2009) worden een aantal belangrijke aannamen genoemd bij het berekenen van toekomstige afvoeren. Deze gaan vooral over ruimtelijk variabiliteit en het gelijk blijven van huidige patronen en verhoudingen. Bijvoorbeeld veranderingen in de statistische eigenschappen van het weer, zoals de verdeling tussen natte en droge dagen, duur van natte/droge periodes, veranderingen in extremen versus gemiddelden, etc. Deze aannamen resulteren uiteraard in onzekerheden in de analyse. De vraag of deze aannamen (grotendeels) opgaan valt waarschijnlijk te karakteriseren als onwetendheid. Het is niet helemaal duidelijk of/in hoeverre deze informatie wel in het werkveld beschikbaar is (maar niet is meegenomen om de analyse niet nodeloos complex te maken). Bijvoorbeeld: KNMI (2009) lijkt aan te geven dat er – in ieder geval deels – sprake is van onwetendheid: ze nemen aan dat er niets veranderd in de clustering van dagen met veel neerslag, maar geven aan dat er zijn zwakke aanwijzingen dat dit wel zou kunnen gebeuren (tegenstrijdige modelresultaten). Vellinga et al. (2008, p.133, voetnoot tabel 3.4) geven aan dat hun ranges (status: ruwe schattingen) voor piekafvoer van de Rijn mede veroorzaakt worden door de grote gevoeligheid van piekafvoeren voor dergelijke veranderingen in meerdaagse neerslagvariabiliteit. Vellinga et al. (2008, p.138) geven dit aan als een van twee belangrijke bronnen van onzekerheid die nog niet volledig onderkend worden in het waterbeheer en stellen dat een beter inzicht nodig is in hoe deze variabiliteit kan veranderen in een toekomstig klimaat. Het lijkt daarmee deels onwetendheid, zij het dat er wel enige kennis is om deze kwestie in ruwe schattingen van de ranges van de afvoer mee te nemen.
- De daadwerkelijke impacts van overstromingen, zoals schade en slachtoffers, gaan ook gepaard met diverse onzekerheden, in het bijzonder scenario onzekerheid en onwetendheid. Ze hangen bijv. sterk af van de precieze plaats en manier waarop de overstroming plaatsvindt (overstromingsscenario's) en van zaken als de effectiviteit van het crisismanagement en eventuele schadebeperkende fysieke maatregelen, de specifieke situatie in het gebied op dat moment, hoe het staat met de veerkracht van het gebied, hoe de (sociaal-economische) interacties met andere gebieden precies in elkaar steken, et cetera (deels onwetendheid, deels scenario-onzekerheid).

3.3. Lage rivierafvoer en droogte

Statistische onzekerheden

- Variabiliteit in de dalafvoer van jaar-tot-jaar. Voor een willekeurige afvoer kan worden aangegeven wat de jaarlijkse kans is dat deze wordt onderschreden (bijv. de kans op een afvoer lager dan 1000 m³/s in de Rijn). Voor de huidige situatie, en per scenario, kan hiermee een cumulatieve kansverdeling van de afvoer gegeven worden; zie Te Linde (2009, tabel 5-1, p.22). De jaarlijkse variabiliteit is fors.

Scenario onzekerheden

- *Cf. hoge rivierafvoer*: klimaatscenario's; o.a. temperatuur, neerslag en verdamping. Hierbij zijn van belang: (a) de mondiale emissiescenario's van broeikasgassen, (b) het effect hiervan op de wereldgemiddelde temperatuur zoals berekend door verschillende klimaatmodellen (globale klimaatresponse; modelleeronzekerheden) en (c) regionale klimaatveranderingen (meer dan temperatuur alleen) inclusief lokale effecten als veranderingen van luchtstromingspatronen (regionale klimaatresponse; o.a. modelleeronzekerheden en kennislacunes rond regionale effecten). Op p.23 van Te Linde (2009) wordt opgemerkt dat, zeker tot 2050, de verschillen in effecten op de waterbalans tussen klimaatscenario's niet erg groot zijn op jaarbasis, maar wel/meer op maandelijks basis. Er zijn daar flinke verschillen tussen de G+/W+ scenario's en G/W/huidig. Voor de dalafvoer van de Rijn en Maas zijn de onzekerheden door emissiescenario's en globale klimaatresponse zeer beperkt voor zowel 2050 als 2100.

- *Cf. hoge rivierafvoer*: verschillen in (resultaten van) diverse afvoermodellen voor bijv. de Rijn en de Maas (o.a. hydrologische en hydraulische onzekerheden). Samengevoegd met klimaatscenario's (als inputdata voor de afvoermodellen) leidt dit tot verschillende afvoerscenario's. Hydrologische/hydraulische onzekerheden zijn voor de Rijn naar verhouding voor 2050 en 2100 beperkt tot middelgroot (Te Linde, 2009). Voor de Maas was deze onzekerheid niet berekend.
- Scenario's voor wateronttrekking bovenstrooms (t.b.v. bijv. drinkwater, irrigatie, etc.). Voor de Maas blijkt wateronttrekking in het Albertkanaal in België de grootste onzekerheid te zijn voor lage afvoer, zowel voor 2050 als 2100 (Te Linde, 2009).

Onwetendheid

- Analyses over de periode na 2100 ontbreken. Voor de piekafvoer van de Rijn wordt echter opgemerkt dat de onzekerheid door verschillen tussen klimaatmodellen (cf. boven: met name regionale effecten) zo groot is dat de onzekerheid door emissiescenario's hiervoor tot ver in de 22^e eeuw ondergeschikt zullen blijven.

Overige opmerkingen

- *Cf. hoge rivierafvoer*: op p.8 van Te Linde (2009) worden een aantal belangrijke aannamen genoemd bij het berekenen van toekomstige afvoeren. Deze gaan vooral over ruimtelijk variabiliteit en het gelijk blijven van huidige patronen en verhoudingen. Deze aannamen resulteren uiteraard in onzekerheden in de analyse. Wellicht valt de vraag of deze aannamen (grotendeels) opgaan te karakteriseren als onwetendheid? Het is niet helemaal duidelijk of deze informatie wel in het werkveld beschikbaar is (maar niet is meegenomen om de analyse niet nodeloos complex te maken).
- Op p.25 van Te Linde (2009) worden getallen gegeven voor de schade door droogte voor de landbouw en scheepvaart voor de huidige situatie en een gemiddeld en extreem droog jaar binnen het W+ scenario. Dergelijke schattingen zullen ook met de nodige onzekerheden gepaard gaan (worden echter niet genoemd).
- Socio-economische scenario's zullen vermoedelijk ook een rol spelen. Blijft de landbouw bijv. bij de huidige gewassen of gaat men meer droogtebestendige gewassen gebruiken, hoeveel water gaan huishoudens in de toekomst verbruiken, gaan er nog veranderingen optreden in waar de landbouw zich precies bevindt, hoeveel scheepvaart er over de rivieren plaats gaat vinden (bijv. in termen van tonnen), et cetera.? Vermoedelijk grotendeels scenario onzekerheid.

3.4. Wateroverlast door extreme buien

Statistische onzekerheden

- Variabiliteit in neerslagintensiteit. Extreme buien en veranderingen daarin kunnen worden weergegeven voor verschillende herhalingstijden (bijv. 1/100 of 1/1000 neerslaguren, 1/10 of 1/100 jaar, etc.) en voor verschillende tijdsperioden (bijv. per uur, dag, 10 dagen).

⁴ Al wordt in de conclusies wel opgemerkt: "Verschillen tussen resultaten van klimaatmodellen zijn wel groter dan de natuurlijke variatie door de lage afvoeren van de Maas" (?).

- Ruimtelijke variabiliteit in de veranderingen in neerslagintensiteit. Te Linde (2009, p.36) geeft aan dat de potentiële wateroverlast het grootst is voor de dijkringen Friesland, Groningen, Zuid-Holland en Noord-Holland. Zie ook KNMI (2009, p.22).

Scenario onzekerheden

- Klimaatscenario's; neerslag. De KNMI'06 scenario's (en update van 2009) gaan direct in op de neerslagintensiteit (extreme dagelijkse hoeveelheden).

Onwetendheid

- In de waarnemingen van neerslag is een verband gevonden van een toename van de uurintensiteit van extreme buien in de zomer van 14% per °C. Dit verband is aanzienlijk sterker dan te verwachten is op basis van de (door de gestegen temperatuur) toegenomen hoeveelheid waterdamp. Toename van de turbulentie in de buienwolk wordt aangedragen als waarschijnlijke oorzaak van de extra toename (komt uit KNMI, 2009, aanvullingen op KNMI'06). Omdat bij neerslagverandering meer meespeelt dan temperatuur alleen, kan deze relatie echter niet zondermeer toegepast worden op de toekomst (KNMI, 2009).
- Voor de KNMI'06 scenario's was geen informatie bekend over de toename in extreme neerslagintensiteit *per uur*. Er is aangenomen dat deze even groot is als die *per dag*, maar de update van de scenario's (KNMI, 2009) geeft aan dat dit voor zomerse buien waarschijnlijk niet klopt. Deze worden in de G+/W+ scenario's waarschijnlijk onderschat.

Overige opmerkingen

- De mate waarin een hogere neerslagintensiteit zal leiden tot meer wateroverlast zal uiteraard sterk afhangen van de precieze lokale situatie (bijv. kan het water makkelijk wegstromen of hoopt het ergens op). Dit betreft statistische onzekerheid (variabiliteit).
- Niet genoemd, maar ook van belang voor de hoeveelheid en kosten van wateroverlast, zijn de mate en locatie van urbanisatie. Dit is scenario onzekerheid.

3.5. Samenvattende tabel

Inschatting van grootte: 'k (klein), + (redelijk), ++ (groot) of +++ (zeer groot)'. Grijs gekleurd veld geeft het dominante type onzekerheden aan.

	Statistisch	Scenario	Onwetendheid
Zeespiegelstijging	++	2050: ++ 2100: ++(+ ^a)	2050: ++ 2100: +++
Hoge rivierafvoer			
- Rijn	++	2050: +(+ ^a) 2100: ++(+ ^a)	+(+ ^b)
- Maas	++	+	+
Lage rivierafvoer en droogte			
- Rijn	+	++	k
- Maas	+	++	k
Wateroverlast door extreme buien	++	++	k

^a Wanneer het gaat om *impacts* en socio-economische scenario's derhalve sterk meespelen (relevant voor het risico, wellicht minder voor de wateropgave).

^b Afhankelijk van hoe de onzekerheid rond verandering in de clustering van meerdaagse neerslag wordt ingeschat.

Argumenten

Zeespiegelstijging:

Statistisch: grote ruimtelijke variabiliteit in bodemdaling, vooral voor 2050.

Scenario: aanzienlijke onzekerheid door verschillen in resultaten tussen diverse klimaatmodellen, met name na 2050, ook zeer grote onzekerheid door socio-economische scenario's en klimaatscenario's. Verschillende visies binnen de wetenschap over hoe het zwaartekracht effect uitpakt voor regionale zeespiegelstijging.

Onwetendheid: eventueel versneld afsmelten van ijskappen Groenland en Antarctica kan een zeer groot effect hebben op de zeespiegelstijging. Onwetendheid over geomorfologische veranderingen van de aardkorst bij op lange termijn wegvallen van de druk van de ijsmassa en de invloed van deze geomorfologische veranderingen op het regionale zwaartekrachtveld en daarmee de lange termijn regionale zeespiegel

Hoge rivierafvoer

Statistisch: aanzienlijke onzekerheid i.v.m. extrapolatie vanuit meetseries van beperkte lengte. Ook flinke jaarlijkse variabiliteit.

Scenario: aanzienlijke onzekerheden door verschillende resultaten tussen diverse klimaat- en hydrologische modellen en, keuze van extreme waardenverdeling en, met name na 2050, ook door socio-economische scenario's (zeker voor de Rijn?). Voor de Rijn speelt ook grote onzekerheid rond het veiligheidsniveau in Duitsland, met name voor 2100.

Onwetendheid: mogelijk veranderingen in de variabiliteit van meerdaagse neerslag (o.a. clustering van natte dagen), wat invloed heeft op de afvoer.

Lage rivierafvoer en droogte

Statistisch: redelijke jaarlijkse variabiliteit.

Scenario: aanzienlijke invloed van eventuele verandering van de luchtcirculatie boven Europa (regionale klimaatverandering), zeker voor de Rijn. Voor de Maas speelt waterextractie in België een grote rol.

Onwetendheid: analyses voor na 2100 ontbreken. Verder werden geen kwesties van onwetendheid genoemd.

Wateroverlast door extreme buien

Statistisch: flinke ruimtelijke variabiliteit, voor zowel neerslaghoeveelheid als lokale situatie (o.a. mate van urbanisatie – relevant voor de effecten van grote hoeveelheden neerslag).

Scenario: aanzienlijke verschillen tussen de klimaatscenario's voor extreme neerslag; bijv. +5-+27% extreme zomerneerslag (1/10 jaar dagelijkse hoeveelheid) in 2050.

Onwetendheid: kennislacunes rond o.a. verband tussen temperatuur en uurintensiteit van neerslag en verschillen tussen uur- en dagintensiteit. KNMI (2009) geeft echter aan dat de marge in de G/W scenario's waarschijnlijk groot genoeg is om dergelijke zaken op te vangen.

4. Gezondheid

Deze opsomming is gebaseerd op de hoofdstuktekst en op Huynen et al. (2009), Wardekker et al. (2010), Wardekker (2011) en (beperkt) Klein Tank en Lenderink (2009). De gezondheidseffecten zijn beperkt tot de onderwerpen die zijn genoemd in de hoofdstuktekst. Naast onzekerheden in de gezondheidseffecten zijn voor het onderwerp 'klimaat en gezondheid' ook de beschikbaarheid en effectiviteit van adaptatiemogelijkheden grote onzekerheden (deze worden hier echter niet besproken). Belangrijke onzekerheden worden aangegeven per gezondheidsthema, gecategoriseerd naar type onzekerheid.

4.1. Temperatuur en luchtkwaliteit

NB dit is onderdeel 'warme zomers' in de hoofdstuktekst (hitte en smog). Koude-effecten zijn echter ook meegenomen.

Statistische onzekerheden

- Effectschattingen op basis van epidemiologische studies brengen een bepaalde onzekerheidsmarge met zich mee.
- Extrapolatie op basis van onderzoek in het buitenland brengt enige onzekerheid mee, omdat de situatie in Nederland niet gelijk is aan die in het buitenland.

Scenario onzekerheden

- Verandering van temperatuur en neerslag, zowel gemiddelden als extremen. Deze hebben consequenties voor ziekte en sterfte door hitte, koude en luchtverontreiniging. Bijvoorbeeld: zomertemperatuur en aantallen warme, zomerse en tropische dagen hebben gevolgen voor hittesterfte en zomersmog. De wintertemperatuur heeft gevolgen voor koudesterfte en wintersmog. Neerslag heeft consequenties voor het voorkomen van bosbranden en het uitregenen van luchtverontreiniging.
- Verandering in luchtstromingen en windrichting. Dit is van belang voor o.a. aanvoer van warme of koude lucht, aanvoer/afvoer van luchtverontreiniging uit het buitenland, en stabiliteit van weerscondities (relevant voor wintersmog). Ook is het van belang voor eventuele veranderingen in het verschil tussen zomer- en wintertemperatuur.
- Vindt er fysieke (autonome) adaptatie plaats: raakt de Nederlander fysiek gewend aan hogere temperaturen? En zo ja, waaraan (gemiddelde jaartemperatuur of zomertemperatuur) en hoe snel (zie Huynen, 2008 voor verschillende scenario's)? Mocht dit plaatsvinden gecombineerd met een groter verschil tussen zomer- en wintertemperatuur (door veranderde luchtstromen, G+/W+ scenario's van KNMI), dan kan dit effect hebben op de wintersterfte (kan mogelijk toenemen i.p.v. afnemen).
- Vergrijzing in de samenleving (verandering in de grootte van kwetsbare groepen).
- Veranderingen in emissies van voor luchtkwaliteit relevante stoffen.

Onwetendheid

- Er is nog relatief weinig onderzoek gedaan naar de precieze redenen en mechanismen (fysiologie e.d.) voor hittegerelateerde ziekte en sterfte.
- Er zijn verschillende 'confounders' (socio-economisch, demografisch, oogsteffect, interactie tussen effecten door hitte, luchtkwaliteit en allergieën, verschillen in kwetsbaarheid van de populatie, specifieke lokale situatie, etc.). Deze kunnen ook in de toekomst veranderen.
- Het schatten van de precieze toekomstige intensiteit, duur en frequentie van hittegolven is nog lastig.

- Voor indirecte effecten als uitdroging, drinkwatertekorten en droogtegerelateerde blootstelling aan vervuiling is weinig data beschikbaar en het is onbekend wat het effect is gezien de goede infrastructuur en gezondheidszorg in Nederland.

4.2. Infectieziekten (vectorgebonden)

Statistische onzekerheden

- Diverse meet-, monitorings- en modelleeronzekerheden.
- Natuurlijke variabiliteit in bijv. verspreiding van vectoren, gevoeligheid en effecten binnen de populatie, lokale klimatologische en andere omgevingscondities, etc.

Scenario onzekerheden

- Scenario's voor temperatuur en (intensivering van) neerslag.
- Mogelijke ontwikkelingen in de inrichting van het landschap, o.a. gelinkt aan klimaatverandering en klimaatadaptatie (bijv. meer natte en groene gebieden, natuur in de stad, etc.).
- Ontwikkelingen in menselijk gedrag, o.a. gelinkt aan klimaatverandering (bijv. m.b.t. buitenrecreatie).
- Ontwikkelingen in diverse andere belangrijke factoren (socio-economisch, demografisch, mondialisering, toerisme, gezondheidszorg, etc.).

Onwetendheid

- Relatief korte periode van data voor ziekte van Lyme in Nederland (vanaf jaren '80). Ook voor andere vectorziekten is relatief weinig onderzoek beschikbaar rond de specifieke Nederlandse situatie.
- Verspreiding, vestiging, transmissie, incidentie, ernst, etc. van infectieziekten is sterk multifactorieel. Klimaat is hier slechts één (en niet noodzakelijk de belangrijkste) factor. Het relatieve belang van alle factoren, de interactie daartussen, en de consequenties ervan voor gezondheidsrisico's is vaak niet duidelijk.
- De ecologie van infectieziekten is zeer complex en de precieze mechanismen, met alle factoren die daarbij een rol spelen, zijn vaak nog niet goed begrepen.
- De effecten van diverse scenario's op verspreiding, vestiging, transmissie, uiteindelijke gezondheidsimpact en -risico's, etc. zijn goeddeels onbekend.

4.3. Allergieën

Statistische onzekerheden

- Natuurlijke variabiliteit in weer en klimaat. Zaken als hooikoorts zijn sterk afhankelijk van de precieze timing van het seizoen en de precieze weerstoestand.
- Diverse meetonzekerheden rond bijvoorbeeld allergieklachten, pollentellingen (i.e. maar 2 telstations in Nederland), etc. spelen een rol. Idem voor epidemiologische bepaling van de gezondheidsconsequenties.

Scenario onzekerheden

- Scenario's voor temperatuur (in de verschillende seizoenen) en neerslag en luchtvochtigheid en de consequenties daarvan voor bijvoorbeeld het bloeiseizoen van diverse planten en voor huisstofmijten.
- Het is niet bekend hoe en hoe snel veranderingen in het pollenseizoen gaan plaatsvinden. Hier zouden echter evtueel scenario's voor gemaakt kunnen worden.
- Ontwikkelingen in menselijk gedrag, o.a. gelinkt aan klimaatverandering (bijv. m.b.t. buitenrecreatie).

Onwetendheid

- De ontwikkeling van allergieën is sterk multifactorieel. O.a. sociaal-economische ontwikkelingen lijken een rol te spelen in recente trends. Of veranderingen in het pollenseizoen en blootstelling aan huisstofmijtallergeen daarom tot extra patiënten zullen leiden (en hoeveel), is moeilijk in te schatten.
- Ook bij de introductie van nieuwe allergene plantensoorten, bij het allergener worden van pollen en bij stijging in de pollenproductie van planten kunnen diverse factoren een rol spelen en is nog veel onduidelijk over de grootte, type en snelheid van veranderingen en impacts daarvan.
- Er is nog weinig bekend over het effect van een langer pollenseizoen op de uiteindelijke intensiteit en duur van pollenblootstelling (en de gezondheidseffecten daarvan).
- Hoe en wanneer gaat het bloeiseizoen van diverse plantensoorten veranderen (op het moment is het seizoen van sommige soorten langer geworden, maar van andere niet)?
- Het precieze effect van klimaatverandering op blootstelling aan huisstofmijtallergeen is moeilijk te bepalen door een gebrek aan gegevens over de langetermijn variabiliteit daarvan in huizen (en daarmee het effect van temperatuur en vochtigheid op die variabiliteit).
- Er is nog geen systematisch onderzoek naar veranderingen in concentraties van huisstofmijtallergeen.
- Autonome respons (veranderen mensen, en de medische sector, automatisch hun gedrag?) is niet bekend.

4.4. Water- en voedseloverdraagbare infecties

Statistische onzekerheden

- Diverse meet-, monitorings- en modelleeronzekerheden spelen een rol (o.a. rond incidentie van infecties; bijv. ziektegevallen worden lang niet altijd geregistreerd). Idem voor epidemiologische bepaling van de gezondheidsconsequenties.

Scenario onzekerheden

- Scenario's voor o.a. temperatuur, neerslagintensiteit en luchtvochtigheid.
- Ontwikkelingen in menselijk gedrag, o.a. gelinkt aan klimaatverandering (bijv. m.b.t. buitenrecreatie; o.a. op, in en rond het water).
- Mogelijke ontwikkelingen in de gezondheidstoestand van de populatie: o.a. vergrijzing en andere invloeden op het immuunsysteem.
- Veranderingen in de hoeveelheid water in stedelijke gebieden en de hoeveelheid oppervlaktewater in het zomerseizoen.

Onwetendheid

- Hoewel afhankelijk van temperatuur en andere klimaatvariabelen, is een causale toename van ziekte- en sterfgevallen door klimaatverandering voor de meeste water- en voedselgebonden infectieziekten vooralsnog moeilijk te leggen.
- De gezondheidsrisico's van riool-overstromen door intensieve neerslag zijn nog niet bekend en gekwantificeerd.
- Klimaatverandering kan ook leiden tot afname van ziekteverwekkers die gevoelig zijn voor klimaatverandering. Het netto effect (toename plus afname) voor het totaal aan ziekten is nog niet gekwantificeerd.
- Voor besmetting van recreatiewater zijn nog veel onzekerheden rond de grootte, type en snelheid van impacts.
- Diverse andere factoren beïnvloeden de gezondheidsrisico's en besmettingsketens van water- en voedseloverdraagbare infecties. De mogelijke (relatieve) invloed van klimaatverandering is voor sommige infecties duidelijker dan voor anderen.

- De risico's hangen ook sterk af van bijvoorbeeld de toestand/effectiviteit van de gezondheidszorg, hygiëne (toestand en regulatie), watersystemen (warmwater, afvoer, etc.), watermanagement, levensstandaard, etc. Het is niet geheel duidelijk hoe de relatief goede toestand hiervan in Nederland de effecten van klimaatverandering precies gaan beïnvloeden.

4.5. Samenvattende tabel

Inschatting van grootte: 'k (klein), + (redelijk), ++ (groot) of +++ (zeer groot)'. Grijs gekleurd veld geeft het dominante type onzekerheden aan.

	Statistisch	Scenario	Onwetendheid
Temperatuur en luchtkwaliteit	+	++	+(+) ^a
Infectieziekten	+	++	+++
Allergieën	+	++	++
Water- en voedseloverdraagbare infecties	k/+	++	++

^a Voor sterfte: +, voor ziekte en indirecte effecten: ++.

Argumenten

Temperatuur en luchtkwaliteit

Statistisch: enige onzekerheid door methodologie en extrapolatie.

Scenario: aanzienlijke onzekerheid vanwege klimaatscenario's, adaptatiescenario's, demografische ontwikkelingen en veranderingen in algemene luchtkwaliteit.

Onwetendheid: diverse kennislacunes, gebrek aan data en onderzoek, confounders, etc. Met name voor ziektebelasting en indirecte effecten is het nog lastig om kwantitatieve schattingen te maken.

Infectieziekten

Statistisch: diverse meet-, monitorings- en modelleeronzekerheden, natuurlijke variabiliteit.

Scenario: sterk afhankelijk van diverse ontwikkelingen; o.a. klimaatscenario's, demografische, planologische, en socio-economische scenario's, gedrag, et cetera.

Onwetendheid: relatief weinig data voor Nederland, zeer grote kennislacunes rond ecologie, verspreiding, etc. van diverse infectieziekten, sterk multifactorieel, vaak niet duidelijk hoe effect klimaatverandering precies uit pakt. Richting van effect verschilt per ziekte en is vaak ook nog niet duidelijk.

Allergieën

Statistisch: diverse meet- en monitoringsonzekerheden, natuurlijke variabiliteit.

Scenario: klimaatscenario's hebben grote gevolgen voor de te verwachten effecten op pollen en huisstofmijt.

Onwetendheid: sterk multifactorieel, redelijk wat bekend over veranderingen in pollenseizoen tot nu toe, maar weinig over wat dit gaat betekenen voor duur en mate van blootstelling en gezondheidseffecten daarvan, diverse kennislacunes rond huisstofmijt.

Water- en voedseloverdraagbare infecties

Statistisch: diverse meet-, monitorings- en modelleeronzekerheden.

Scenario: sterk afhankelijk van klimaatscenario's en ook van o.a. demografische, gezondheidskundige en planologische ontwikkelingen.

Onwetendheid: multifactorieel, diverse kennislacunes, causatie toename ziekte- en sterfgevallen met klimaatverandering lastig, mogelijk zowel positieve als negatieve effecten waarbij netto effect onbekend is.

5. Natuur

Deze opsomming is gebaseerd op een concept hoofdstuktekst rond dit onderwerp (PBL, 2009) (091002h3.doc, extern concept, 2 september 2009, getiteld “Hoofdstuk 3: Effecten van klimaatverandering”).

5.1. Onzekerheden

Statistische onzekerheden

- Variabiliteit in het weer en de timing van seizoenen e.d. Dit kan leiden tot een onzekerheidsmarge in bijvoorbeeld de waargenomen veranderingen in de natuur, bijvoorbeeld rond de verschuiving van het begin van de bloei of de trend van de watertemperatuur in de Rijn.
- Variabiliteit tussen en binnen soorten, geografische variabiliteit, etc. Dit zorgt voor een onzekerheidsmarge rond uitspraken over hoe ‘de natuur’, ‘de voorjaarsplanten’ of ‘de soort’ reageert. Bijvoorbeeld: of nieuwe soorten daadwerkelijk in staat zijn hun areaal in Nederland uit te breiden, hangt af van diverse factoren, zoals de beschikbaarheid van geschikt leefgebied op bereikbare afstand, of er barrières zijn in het landschap, de verspreidingscapaciteiten van soorten, en of de condities geschikt zijn voor het ontwikkelen van een populatie (p.13).

Scenario onzekerheden

- Scenario’s voor stijging van de temperatuur en CO₂ concentraties, welke invloed hebben op bijvoorbeeld de beschikbaarheid van nutriënten.
- Tempo van klimaatverandering op Europese en grotere schaal. Dit heeft consequenties voor de soortensamenstelling en de vraag of soorten wel snel genoeg mee kunnen bewegen met de opschuivende klimaatzones.
- Lokale consequenties van klimaatverandering rond bijvoorbeeld weer en weersextremen (neerslagpatronen, intensieve neerslag, droogte, hittegolven, dynamiek, etc.), waterhuishouding en –temperatuur en zeespiegelstijging. Deze kunnen consequenties hebben voor bijvoorbeeld de soortensamenstelling, de toestand van specifieke ecosystemen (bijv. grondwaterafhankelijke vegetaties, natte ecosystemen) en waterkwaliteit (verzilting, vervuiling, watertemperatuur).
- Mate en type van beleidsmaatregelen rond bijvoorbeeld waterveiligheid (bijvoorbeeld aanleg van dijken en/of overstromingsgebieden, gefixeerde kustverdediging en/of gebruik van natuurlijke processen, etc.) en drinkwatervoorziening (bijv. verhoging peil IJsselmeer). Deze hebben consequenties voor bijvoorbeeld de beschikbare ruimte voor natuur en voor de lokale abiotische condities.

Onwetendheid

- Veranderingen in de waterhuishouding (bijvoorbeeld rond toe/afname van kwel) zijn complex en nog gedeeltelijk onbegrepen.
- De complexe interacties tussen de verschillende effecten van klimaatverandering bemoeilijken voorspellingen van effecten op ecosystemen.
- Over het proces van lokale genetische aanpassing is nog weinig bekend. “Micro-evolutionaire aanpassingen door klimaat gestuurde selectie lijkt aannemelijk, maar is vooralsnog nauwelijks empirisch aangetoond” (p.5).
- Andere factoren dan temperatuurstijging kunnen potentieel (mede) een rol hebben gespeeld bij waargenomen veranderingen. Bijvoorbeeld (p.7) voor de verschuiving van de populatie schol naar het noorden kan ook afgenomen predatie uit de kust of toegenomen predatie aan de kust een rol hebben gespeeld, “hoewel de waargenomen

- Het is niet bekend in hoeverre klimaatverandering de vestiging van nieuwe soorten in zoet water bevordert.
- Over de grootte van de effecten op de natuur door weersextremen (bijv. grotere schommelingen in populaties) is nog relatief weinig bekend. Dit komt o.a. doordat weersextremen relatief zeldzaam zijn, waardoor het empirisch verband lastig(er) is aan te tonen.

Overige opmerkingen

- Er wordt op enkele plekken gesproken over mogelijke systeemverschuivingen (regime shifts) van ecosystemen. Temperatuurstijging (en andere gevolgen van klimaatverandering) kan de kans hierop doen toenemen. Er wordt niet expliciet iets over gezegd, maar vaak speelt rond dergelijke plotselinge omslagen aanzienlijke onwetendheid. Dit in verband met bijvoorbeeld de complexe interacties die tot verschuivingen in systemen kunnen leiden en de relatieve zeldzaamheid van dergelijke gebeurtenissen.
- Naast klimaatverandering spelen er nog diverse andere trends en verstoringen. De effecten van klimaatverandering ontstaan in een complexe interactie hiermee. Hierin spelen diverse statistische en scenario onzekerheden, en waarschijnlijk ook redelijk wat onwetendheid, een rol.
- De gevolgen voor de natuur zijn vermoedelijk sterk afhankelijk van de specifieke lokale impacts van klimaatverandering. Hier speelt naast statistische en scenario onzekerheid waarschijnlijk onwetendheid ook een grote rol.
- O.a. rond zeespiegelstijging speelt redelijk wat onwetendheid (met name de ijsskappen), wat weer consequenties heeft voor de gevolgen voor de natuur.
- Er zullen ook diverse meet-, monitorings- en modelleeronzekerheden spelen, die leiden tot statistische en scenario onzekerheden.

5.2. Samenvattende tabel

Inschatting van grootte: 'k (klein), + (redelijk), ++ (groot) of +++ (zeer groot)'. Grijs gekleurd veld geeft het dominante type onzekerheden aan.

	Statistisch	Scenario	Onwetendheid
Effecten op populaties, verspreiding, fenologie, etc.	+	++	++
Effecten op ecosystemen	+	++	+++

Argumenten

Effecten op populaties, verspreiding, fenologie, etc.

Statistisch: diverse vormen van variabiliteit spelen een rol en er zijn vermoedelijk ook meet- en monitoringsonzekerheden.

Scenario: grote invloed van o.a. klimaatscenario's (nationaal en op grotere schaal) en planologische en beleidsmatige veranderingen (o.a. maatregelen voor andere thema's binnen klimaatadaptatie, zoals watermanagement).

Onwetendheid: veranderingen in waterhuishouding zijn complex, weinig bekend over lokale genetische aanpassing, meerdere verstoringen kunnen een rol spelen bij waargenomen en toekomstige trends in populaties e.d., en er is relatief weinig bekend over effecten van (veranderingen in) weersextremen.

Effecten op ecosystemen

Statistisch: diverse vormen van variabiliteit spelen een rol en er zijn vermoedelijk ook meet- en monitoringsonzekerheden.

Scenario: grote invloed van o.a. klimaatscenario's (nationaal en op grotere schaal) en planologische en beleidsmatige veranderingen (o.a. maatregelen voor andere thema's binnen klimaatadaptatie, zoals watermanagement).

Onwetendheid: veranderingen in waterhuishouding zijn complex, interacties tussen verschillende effecten van klimaatverandering met onbekend netto effect op ecosystemen, , en relatief weinig bekend over effecten van (veranderingen in) weersextremen, meerdere verstoringen spelen een rol (complexe interacties van hun effecten), en aan verschuivingen in ecosystemen liggen zeer complexe interacties tussen systeemcomponenten onderling en met en externe trends ten grondslag die projecties sterk kunnen bemoeilijken.

Referenties

- Deltacommissie (2008). *Samen werken met water: Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. Bevindingen van de Deltacommissie 2008*. Deltacommissie, Rotterdam.
- Dessai, S., J.P. van der Sluijs (2007). *Uncertainty and climate change adaptation – a scoping study*. Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Dessai, S., J.P. van der Sluijs (2011). Modelling climate change impacts for adaptation assessments. In: M. Christie, A. Cliffe, P. Dawid, S. Senn (2011), *Simplicity, Complexity and Modelling*. Wiley-Blackwell, Chicester, pp. 83-102.
- Dyurgerov, M. B., M.F. Meier (2005). *Glaciers and the Changing Earth System: A 2004 Snapshot*. Occasional Paper 58, University of Colorado, Institute of Arctic and Alpine Research. Available from http://instaar.colorado.edu/other/occ_papers.htm.
- Huynen, M.M.T.E. (2008). *Future Health in a Globalising World*. Universitaire Pers Maastricht, Maastricht.
- Huynen, M.M.T.E., A.E.M. de Hollander, P. Martens, J.P. Mackenbach (2008). *Mondiale milieuveranderingen en volksgezondheid: Stand van de kennis*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven.
- IPCC (2000). Special report on emission scenarios. N. Nakicenovic, R. Swart (Eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Katsman, C.A., W. Hazeleger, S.S. Drijfhout, G.J. van Oldenborgh, & G.J.H. Burgers (2008). Climate scenarios of sea level rise for the northeast Atlantic Ocean: a study including the effects of ocean dynamics and gravity changes induced by ice melt. *Climatic Change*, 91, pp. 351-374.
- KNMI (2009). *Klimaatverandering in Nederland: Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's*. (A. Klein Tank en G. Lenderink, Eds.). KNMI, De Bilt.
- Mitrovica, J. X., M. E. Tamisiea, J. L. Davis, and G. A. Milne (2001). Recent mass balance of polar ice sheets inferred from patterns of global sea level change. *Nature*, 409, 1026-1029.
- MNP (2007). *Nederland Later: Tweede Duurzaamheidsverkenning, deel Fysieke leefomgeving Nederland*. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- Moss, R.H. J.A. Edmonds, K.A. Hibbard, M.R. Manning, S.K. Rose, D.P. van Vuuren, T.R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G.A. Meehl, J.F.B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S.J. Smith, R.J. Stouffer, A.M. Thomson, J.P. Weyant en T.J. Wilbanks (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, pp. 747-756.
- PBL (2009). "Hoofdstuk 3: Effecten van klimaatverandering". Extern concept hoofdstuktekst, 2 september 2009, 091002h3.doc. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Bilthoven.
- Te Linde, A. (2009). *Aanvullende scenario's tbv 'Wegen naar klimaatbestendig Nederland'*. Draft intern memo aan PBL, 2 november 2009. Deltares, Delft.
- Van Bree, L., M. Huynen, A.E.M. de Hollander (2009). *Klimaatverandering en gezondheid*. Interne notitie, 'VTV input H3.2.3 Fysieke leefomgeving'. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Bilthoven.
- Vellinga, P. C. Katsman, A. Sterl, J. Beersma, Eds. (2008). *Onderzoek naar bovengrensscenario's voor klimaatverandering voor overstromingsbescherming van Nederland: Een internationale wetenschappelijke beoordeling*. KNMI en Wageningen UR, De Bilt/Wageningen.
- Walker, W.E., P. Harremoës, J. Rotmans, J.P. van der Sluijs, M.B.A. van Asselt, P. Janssen, M.P. Kreyer von Krauss (2003). Defining uncertainty: A conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integrated Assessment*, 4 (1), pp. 5-17.
- Wardekker, J.A. (2011). *Climate change impact assessment and adaptation under uncertainty*. PhD dissertation. Utrecht University, Utrecht.
- Wardekker, J.A., A. de Jong, J.P. van der Sluijs (2010). *Expert elicitation on uncertainty, climate change and human health*. Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Wardekker, J.A., A. de Jong, J.P. van der Sluijs (forthcoming). *Klimaatadaptatie onder onzekerheid en het advies van de Deltacommissie*. Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht, Utrecht.

Dankwoord

Dit project is gefinancierd door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het draagt bij aan PBL project “Klimaatbestendig Nederland – deelstudie klimaat effecten”. Dank aan Jelle van Minnen (PBL) voor commentaar en gedachtewisseling tijdens het project.