



Planbureau voor de Leefomgeving

VAN RISICOBEEOORDELING NAAR ADAPTATIESTRATEGIE

Risicobeoordeling klimaateffecten bij rapport 'Aanpassen aan klimaatverandering'

Achtergrondstudie

Hanneke Muilwijk, Joost Knoop en Guus de Hollander

2 april 2015

PBL
2015

Van risicobeoordeling naar adaptatiestrategie

Auteurs

Hanneke Muilwijk, Joost Knoop en Guus de Hollander

Contact

hanneke.muilwijk@pbl.nl, joost.knoop@pbl.nl

Bijdragen

Rijk van Oostenbrugge, Willem Ligtvoet, Marijke Vonk, Arno Bouwman

Met dank aan

Leendert van Bree, Gert Jan van den Born, Frank Dietz, Hans Eerens, Gerben Geilenkirchen, Marjon Hendriks, Dirk-Jan van der Hoek, Peter Janssen, Olaf Jonkeren, Jelle van Minnen en Gusta Renes (PBL), Eric Luijff en Nienke Maas (TNO), Rob van Dorland (KNMI), Susanne Wuijts en Marcel Mennen (RIVM), Hens Runhaar (Universiteit Utrecht), Sonja Döpp (Kennis voor Klimaat), Wim Braakhekke (Bureau Stroming), Ben Schaap (Wageningen UR), Adriaan Rijnsdorp (Imares) en Hannely Beune.

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Inhoud

1 Inleiding: van risicobeoordeling naar adaptatiestrategie	4
2 Klimaateffecten in Nederland: geleidelijke veranderingen en weersextremen	6
3 Risicobeoordeling van klimaateffecten in Nederland	11
3.1 Beschouwing klimaateffecten en risico's	12
3.1.1 Samenvatting methodiek	13
3.1.2 Waarschijnlijkheid	13
3.1.3 Impact	16
3.2 Sector-overschrijdende effecten	17
3.3 Beoordeling op basis van waarschijnlijkheid en impact	21
3.4 Conclusie	25
4 Strategieën voor adaptatiemaatregelen	26
4.1 Beleidsurgentie van adaptatie	26
4.2 Maatschappelijk belang van risicobeheersing	30
4.3 Van beleidsurgentie naar strategie	32
5 Referenties	36
Bijlage 1 Toelichting bij de beoordelingen naar impact en waarschijnlijkheid	41
Vitale infrastructuur	42
ICT	42
Elektriciteit	43
Transport	44
Landbouw, visserij en natuur	45
Landbouw	45
Visserij (Aquacultuur sector)	46
Natuur	46
Volksgezondheid	47
Overige	48
Overstromingen	48
Grondzetting door daling grondwaterpeilen	49
Bos- en bermbranden	49
Spanning in de Nederlands samenleving door politieke conflicten elders in de wereld	49
Bijlage 2 Adaptief vermogen van Nederland	50
Bijlage 3 Overzicht mogelijke adaptatiemaatregelen	53

1 Inleiding: van risicobeoordeling naar adaptatiestrategie

Het klimaat verandert en dat brengt positieve en negatieve invloeden voor onze samenleving mee. In de afgelopen jaren is er veel kennis verzameld over klimaatverandering en de positieve en negatieve invloeden voor de samenleving. Ook is de nodige kennis beschikbaar over hoe negatieve invloeden van klimaatverandering beperkt kunnen worden door het treffen van aanpassingen in de samenleving. Deze kennis is veelal per vakgebied of sector aanwezig. De vraag die nog op tafel ligt, is hoe positieve en negatieve invloeden zich tot elkaar verhouden. Welk risico vraagt om de meeste aandacht? Welke sector heeft de zaken goed op een rij? Waar kunnen het beste adaptatiemaatregelen getroffen worden? Welke kunnen dat zijn? En wanneer kan dat het beste gebeuren? Deze vragen vormen de aanleiding voor deze achtergrondstudie. In deze risicobeoordeling vergelijken we de negatieve invloeden van klimaatverandering op verschillende sectoren van de samenleving. Op basis van de risicobeoordeling wordt vervolgens een handvat geboden om adaptatiestrategieën te ontwikkelen ten behoeve van de Nationale Adaptatie Strategie. Urgentie speelt daarbij een centrale rol.

Inbedding in lopend beleid en onderzoek

In de Klimaatagenda ‘Weerbaar, welvarend en groen’ kondig het kabinet een Nationale Adaptatie Strategie (NAS) aan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013). Het kabinet wil de NAS begin 2016 gereed hebben. Nederland wil een voortrekkersrol vervullen in de implementatie van de Europese Adaptatiestrategie, zo meldt de Klimaatagenda. De Europese Commissie verwacht van de lidstaten dat zij in 2017 een veelomvattende adaptatiestrategie hebben vastgesteld (Europese Commissie, 2013). Veelomvattend betekent dat een adaptatiestrategie met alle relevante risico’s en sectoren rekening moet houden. In de strategie moet een coherente aanpak van klimaatadaptatie worden ontwikkeld, waardoor er paraatheid en capaciteit ontstaat om te reageren op de gevolgen van klimaatverandering. Met het instellen van het Deltaprogramma in 2010 heeft de rijksoverheid belangrijke klimaatrisico’s en -kwetsbaarheden belegd: waterveiligheid, zoetwatervoorziening, wateroverlast en hitte bij stedelijke nieuwbouw en herstructurering. De Algemene Rekenkamer concludeerde in 2012 dat het Nederlandse adaptatiebeleid vooral gericht is op waterveiligheid en ruimtelijke inrichting (Algemene Rekenkamer, 2012). Van andere sectoren bestond geen goede analyse van kwetsbaarheden en risico’s.

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft het PBL gevraagd om samen met het KNMI en het onderzoeksconsortium Kennis voor Klimaat de belangrijkste risico’s en kansen verbonden met klimaatverandering voor Nederland in beeld te brengen. Het rapport *Aanpassen aan klimaatverandering, kwetsbaarheden zien, kansen grijpen* is het antwoord op deze vraag (PBL, 2015b).

Deze achtergrondstudie is bedoeld als onderbouwing en verdieping van het overzicht van risico’s die klimaatverandering met zich meebrengt en kansen die klimaatverandering kan bieden uit *Aanpassen aan klimaatverandering*. Het afgelopen jaar is de beschikbare kennis over klimaateffecten aangevuld met analyses die onder regie van Kennis voor Klimaat en PBL zijn uitgevoerd. Hierbij is getracht de verschillende sectoren op dezelfde wijze te beschouwen, waarbij de onderzoekers van Kennis voor Klimaat en het PBL steeds dezelfde vraagstelling hebben gekregen. De volgende sectoren zijn geanalyseerd:

- Transport en Infrastructuur (Maas en Vogel 2014, TNO)
- Energie-infrastuctuur (Vogel, Luijif *et. al* 2014, TNO)
- Informatie- en Communicatie Technologie (Luijif en Van Oort 2014, TNO)
- Landbouw (Schaap, Reidsma *et. al* 2014, Wageningen UR)
- Visserij (Rijnsdorp *et. al*. 2014, Imares)
- Volksgezondheid (Wuijts, Vros *et. al* 2014, RIVM)
- Natuur (Braakhekke, Berendse *et. al* 2014, Bureau Stroming/Wageningen UR)

Deze studies zijn het uitgangspunt van de risicobeoordeling in dit rapport. Op de website van Kennis voor Klimaat zijn de analyses samengebracht (<http://www.kennisvoorklimaat.nl/bouwstenenNAS>). Naast de sectorale analyses, zijn er ook studies uitgevoerd naar de invloed van klimaatverandering in het buitenland op Nederland (PBL 2015a, Schaik *et al.* 2015, Instituut Clingendael), naar de verdeling van verantwoordelijkheden (Runhaar *et. al* 2014, Universiteit Utrecht) en naar innovaties en klimaatadaptatie (Innovation Booster 2015).

Leeswijzer

In deze achtergrondstudie worden de deelstudies naar klimaateffecten en – risico's in verschillende sectoren in samenhang geanalyseerd en gepresenteerd. In hoofdstuk 2 leest u welke typen klimaateffecten zijn beschouwd. In hoofdstuk 3 komt de beoordeling van de risico's die ontstaan door deze klimaateffecten aan de orde. Allereerst wordt beschreven welke methode is gebruikt voor de beoordeling (paragraaf 3.1), waarna er speciale aandacht is voor sector-overschrijdende effecten (paragraaf 3.2). In paragraaf 3.3 vindt u de risicobeoordeling gepresenteerd in de vorm van 3 tabellen; respectievelijk voor de economische impact, impact voor personen en impact op natuur en milieu. Na het in beeld brengen van de belangrijkste risico's van klimaatverandering, rijst de vraag hoe Nederland zich kan aanpassen aan klimaatverandering. Een handvat wordt geboden in hoofdstuk 4, waar in algemene zin een aanzet wordt gegeven voor het ontwikkelen van adaptatiestrategieën voor de verschillende sectoren.

2 Klimaateffecten in Nederland: geleidelijke veranderingen en weerextremen

Het klimaat verandert, ook in Nederland, zoals blijkt uit vele waarnemingen (PBL 2012). Naar verwachting zal klimaatverandering doorzetten (IPCC 2013). Het KNMI heeft in 2014 geactualiseerde klimaatscenario's voor Nederland gepresenteerd (KNMI 2014). Een eenduidig beeld dat de scenario's oproepen is dat de temperatuur (in meer of mindere mate) blijft stijgen en dat de Nederlandse winters minder koud en fors natter worden. De zomers worden warmer en waarschijnlijk droger. Hittegolven nemen toe wat betreft lengte en intensiteit. De hoeveelheid zonnestraling nabij het aardoppervlak neemt licht toe in de zomer bij die scenario's, die meer oostenwind geven. De intensiteit van extreme regenbuien in de zomer neemt toe; hagel en onweer worden heviger evenals de daarmee gepaard gaande windstoten. Bij elke graad temperatuurstijging neemt de neerslag met circa 14% toe (KNMI 2014). De veranderingen in het algemene windregime zijn naar verwachting gering; daarentegen kunnen de windstoten die bij extreme buien en onweer optreden in kracht toenemen. Het aantal dagen met mist neemt af en het zicht verbetert. De zeespiegel blijft stijgen en het tempo van de zeespiegelstijging neemt toe. Aan de Nederlandse kust stijgt de zeespiegel tot 2085 met 25 tot 80 centimeter (Figuur 1).

Figuur 1.

Algemene veranderingen voor Nederlandse klimaat volgens KNMI'14-klimaatscenario's

	Algemene veranderingen	Scenarioverschillen en natuurlijke variaties
Temperatuur	<ul style="list-style-type: none">De temperatuur blijft stijgenZachte winters en hete zomers komen vaker voor	<ul style="list-style-type: none">Temperatuurverschillen zijn verschillend voor de vier scenario'sVeranderingen in 2050 en 2085 zijn groter dan de natuurlijke variaties op de 30-jaar tijdschaal
Neerslag	<ul style="list-style-type: none">De neerslag en extreme neerslag in de winter nemen toeDe intensiteit van extreme regenbuien in de zomer neemt toeHagel en onweer worden heviger	<ul style="list-style-type: none">Meer droge zomers in twee van de vier scenario'sNatuurlijke variaties in neerslag zijn relatief groot, zodat de scenario's minder van elkaar verschillen
Zeespiegel	<ul style="list-style-type: none">De zeespiegel blijft stijgenHet tempo van de zeespiegelstijging neemt toe	<ul style="list-style-type: none">Het tempo van de zeespiegelstijging hangt sterk af van de wereldwijde temperatuurstijgingGeen verschil tussen scenario's met verschillend luchtstromingspatroon
Wind	<ul style="list-style-type: none">De veranderingen in windsnelheid zijn klein	<ul style="list-style-type: none">'s Winters vaker westenwind in twee van de vier scenario'sHet wind- en stormklimaat vertoont grote natuurlijke variaties
Mist	<ul style="list-style-type: none">Het aantal dagen mist neemt af en het zicht verbetert verderDe hoeveelheid zonnestraling nabij het aardoppervlak neemt licht toe	<ul style="list-style-type: none">Natuurlijke variaties zijn verschillend voor de verschillende klimaatvariabelen

Bron: KNMI 2014

Deze veranderingen in het klimaat kunnen worden geordend in drie typen klimaateffecten: onzeker systeemveranderingen op mondiale schaal, geleidelijke veranderingen en veranderingen in weersextremen (Tabel 1). Het verschil tussen deze typen veranderingen zit in de tijdsdimensie die wordt gebruikt en de mate van onzekerheid over de verandering.

Tabel 1.

Overzicht van drie typen mogelijke klimaateffecten in Nederland

Type verandering	Voorbeeld klimaateffect	Mate van onzekerheid
Onzekere systeem veranderingen op mondiale schaal (kantelpunten)	Extreem snelle zeespiegelstijging Stoppen warme golfstroom Verzuring zeeën en oceanen	Grote mate van onzekerheid, met potentieel enorme gevolgen
Geleidelijke veranderingen (lineair, trendmatig)	Temperatuurstijging CO ₂ stijging Toename neerslag in de winter Veranderingen rivieraafvoeren Afname waterbeschikbaarheid in de zomer Toename verzilting van laag Nederland Toename bodemdaling veengebieden	Trend is duidelijk; veranderingen reeds gemeten, toekomstige ontwikkelingen lange termijn onzeker
Verandering weersextremen (niet lineair, grote variabiliteit)	Toename frequentie en intensiteit extreme buien Toename hagel- en onweersbuien Toename droogtesituaties in de zomer Toename hittegolven Pieken in rivieraafvoeren Extreem lage rivieraafvoeren in de zomer	Trend is meestal duidelijk; veranderingen reeds gemeten; toekomstige ontwikkelingen lange termijn onzeker

In dit rapport beperken we ons tot een analyse van de effecten die te maken hebben met geleidelijke veranderingen en veranderingen in weersextremen die met enige mate van waarschijnlijkheid deze eeuw zullen optreden. Voor beide typen verandering bestaat wetenschappelijke consensus over de mate waarin deze fenomenen gaan optreden, hoewel de mate van zekerheid over de mogelijke veranderingen verschilt. Dat de gemiddelde temperatuur zal stijgen staat wel vast, maar de zekerheid over de veranderingen van bijvoorbeeld neerslag en intensiteit van stormen is veel minder groot (KNMI en PBL, 2015 in prep). Geleidelijke veranderingen en de toename van weersextremen verschillen in de gehanteerde tijdsdimensie: bij weersextremen gaat het om een toename in het aantal extremen en in de intensiteit van extremen in een periode van één of enkele jaren; bij geleidelijke verandering beschouwen we het fenomeen over meer decennia (bijvoorbeeld 2030-2060).

Rond de mogelijke systeemveranderingen op mondiale schaal is er een grote mate van onzekerheid over of en hoe deze fenomenen gaan optreden. De tijdschaal is groter en de verandering waarschijnlijk niet lineair: er kan sprake zijn van kantelpunten, waarbij de verandering eerst geleidelijk gaat en vervolgens plotseling spectaculair snel. Deze effecten en de gevolgen ervan zijn uiterst onzeker en worden ook niet beschreven in de KNMI 2014 scenario's (zie tekstbox Wildcards). Deze *wildcards* blijven in dit rapport verder buiten beschouwing.

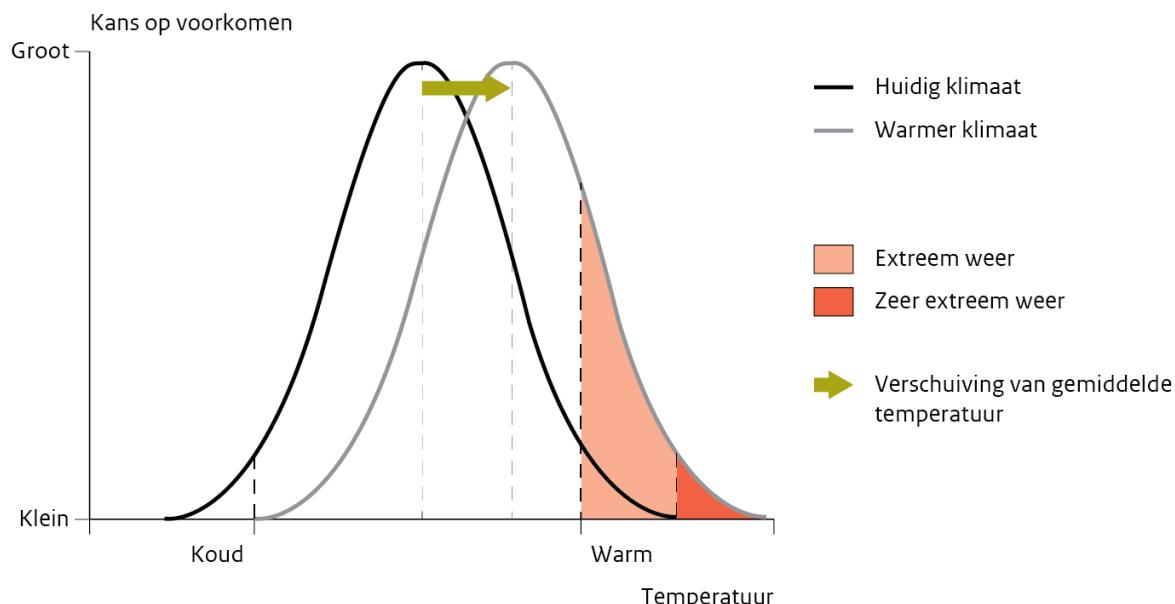
Vaker extremer weer

Een belangrijk klimaateffect voor Nederland is de toename in het aantal weersextremen. Aan deze toename van extreme gebeurtenissen zitten twee kanten: enerzijds neemt de frequentie van bestaande extremen toe, anderzijds neemt de intensiteit van extremen toe.

Dit is een gevolg van de geleidelijke temperatuursverandering. Een klein verschil in de gemiddelde temperatuur, betekent dat ook de extremen verschuiven (Figuur 2) (Dessai en Van der Sluijs 2007). De veranderingen in extremen worden nu al gemeten. In de afgelopen zestig jaar is het aantal dagen met intense buien van 50mm per dag verdubbeld (KNMI 2014b, Figuur 3). Deze intense buien zijn zeer lokaal en het is moeilijk te voorspellen waar een bui precies zal vallen. De verwachting is dat de toenemende frequentie van extreme buien door zal zetten. Daarnaast neemt ook de intensiteit van buien toe (Figuur 4).

Figuur 2.

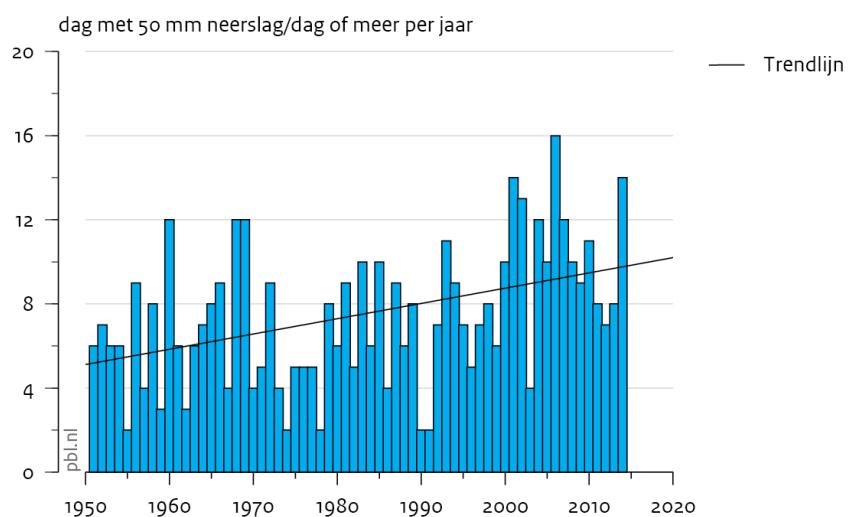
Effect verschuiving van temperatuur



Variabiliteit en klimaatverandering: een kleine verandering in het gemiddelde kan een grote verandering in frequentie en intensiteit van extremen met zich mee brengen. Er zullen dus vaker hevige stormen optreden (lichtrode vlak) en ook heftigere stormen (donkerrode vlak).

Figuur 3.

Toename aantal extreme buien



Bron: KNMI

Wildcards: onzekere systeemveranderingen op mondiale schaal

In dit rapport gaan we uit van klimaatveranderingen die de komende decennia te overzien zijn. Dat geldt lang niet voor alle veranderingen. Zeker op de lange termijn kunnen zich onverwachte ontwikkelingen voordoen. Er zijn aanwijzingen dat klimaatverandering niet alleen geleidelijke, maar ook plotselinge grootschalige effecten kan hebben. Wanneer deze effecten kunnen optreden en welke gevolgen ze dan zullen hebben, is erg onzeker. Daarom worden deze effecten *wildcards* genoemd.

Voorbeelden van wildcards zijn verzuring van zeeën en oceanen, het stilvallen van de warme golfstroom, het Noordpoolgebied dat vrijvalt van ijs en een veel snellere zeespiegelstijging dan nu voorzien. Al deze voorbeelden zijn systeemveranderingen met in potentie enorme impact. Tegelijkertijd is er (zeer) weinig kennis over wanneer precies en wat er kan gebeuren. Daardoor laten deze veranderingen zich moeilijk beheersen, behalve door het beperken van klimaatveranderingen door mitigatie, dat wil zeggen, het terugdringen van broeikasgassenemissies (IPCC 2014). Een zinvolle beleidsstrategie is monitoring en surveillance, waarbij in de gaten wordt gehouden in welke richting systemen zich ontwikkelen. Daarnaast blijft het zinvol om aanvullende kennis te verzamelen en ontwikkelen.

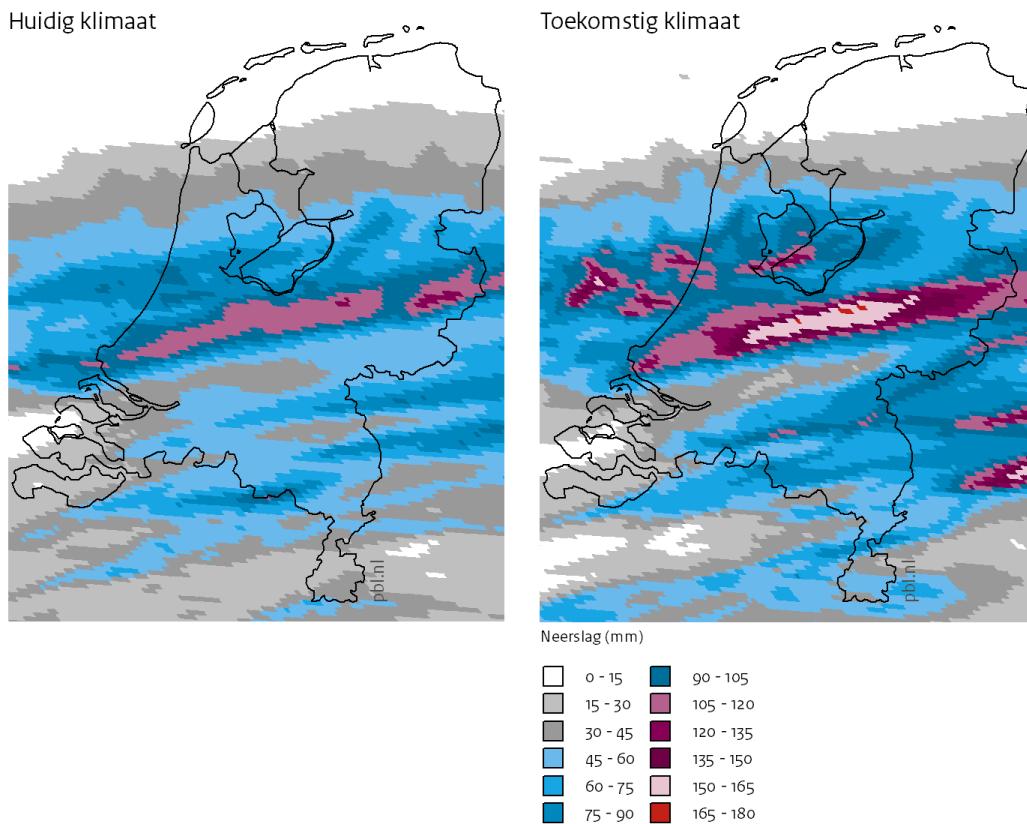
Over zeespiegelstijging is bijvoorbeeld uitgezocht wat de te verwachten zeespiegelstijging is en wat een *worst case scenario* zou kunnen betekenen (PBL 2007, Deltacommissie 2008). Uit dit onderzoek blijkt dat een stijging groter dan 1,5 m in 2100 zeer onwaarschijnlijk is en de impact voor Nederland onduidelijk; een *wildcard* dus.

Nederland ondervindt een windrad dus.

Figuur 4.

Extreme regenval, gesommeerd over twee dagen, zoals opgetreden in augustus 2010.

Dezelfde weersituatie in een toekomstig klimaat bij een twee graden hogere temperatuur



Bron: KNMI'14-scenario's; Attema et al.(2014)

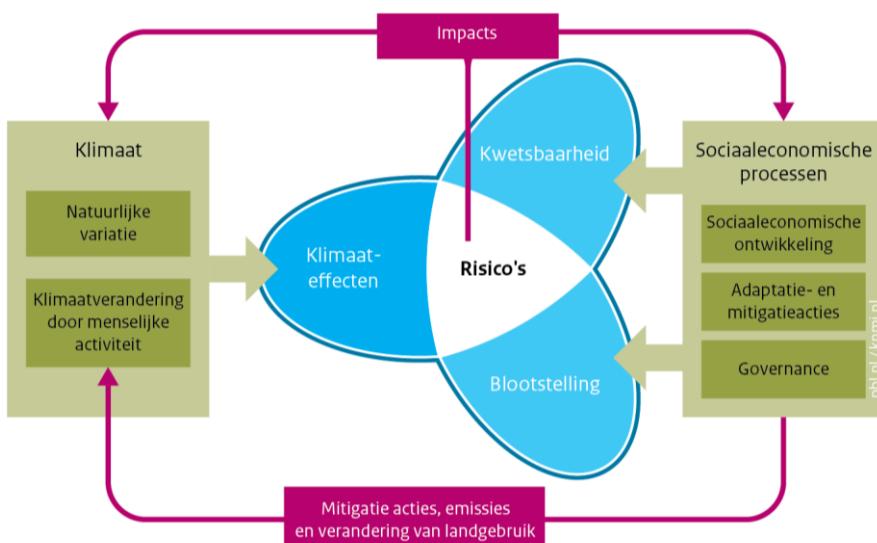
Wat verstaan we onder risico's en adaptatie?

Klimaatverandering leidt tot een geleidelijke verandering van klimaatvariabelen zoals de jaargemiddelde temperatuur, en tot een verandering van de kans op en intensiteit van weerextremen, zoals hittegolven en zware buien. Een kleine verandering in gemiddelde temperatuur kan tot substantiële veranderingen in frequentie en intensiteit van weerextremen leiden, zoals overstromingen en hittegolven (zie Figuur 2).

Deze weerextremen (*klimaateffecten*, zie Figuur 5) kunnen gebieden treffen waar mensen wonen en werken, waar landbouw wordt bedreven of waar industrieën zijn gevestigd. Hoe groter het gebied dat met bepaalde klimaateffecten te maken kan krijgen, of hoe hoger de bevolkingsdichtheid van de mensen die daar wonen, des te groter is de *blootstelling* ten opzichte van deze effecten. Een grote blootstelling aan een klimaateffect hoeft niet automatisch tot grote gevolgen of *impact* te leiden. In welke mate een klimaateffect tot schade of slachtoffers leidt, hangt af van de *kwetsbaarheid* van de leefomgeving van mensen of van de natuur ten aanzien van dat klimaateffect. Bijvoorbeeld de overstroming van een gebied waar mensen op terpen of in drijvende huizen wonen hoeft niet tot grote schade of slachtoffers te leiden. Het risico van klimaateffecten dus is de combinatie van de waarschijnlijkheid op deze effecten, de blootstelling hieraan en de kwetsbaarheid voor schadelijke gevolgen.

Figuur 5.

Factoren die van invloed zijn op klimaatgerelateerde risico's



Bron: IPCC WGI 2014

Een verandering van het risico van klimaateffecten voor een bepaalde bevolkingsgroep hoeft dus niet automatisch te wijzen op (een gevolg van) klimaatverandering. Het kan ook het resultaat zijn van sociaaleconomische ontwikkelingen in die bevolkingsgroep die de blootstelling en/of kwetsbaarheid beïnvloeden. Vaak zullen beide ontwikkelingen samen, dus klimaatverandering en sociaaleconomische processen, drijvende krachten zijn achter toenames (of afnames) van klimaatrisico's. De risicobeoordeling in dit rapport is een momentopname op basis van de huidige kennis; in werkelijkheid beïnvloeden alle factoren elkaar en verandert het risico dus ook.

Klimaatadaptatie is het proces van aanpassing aan het actuele of verwachte klimaat en zijn effecten zodat de (kans op) schadelijke gevolgen door klimaateffecten kunnen worden beperkt of voorkomen, en de kansen die het (veranderende) klimaat biedt, kunnen worden benut (IPCC 2014).

3 Risicobeoordeling van klimaat effecten in Nederland

Burgers en bedrijven kunnen op veel manieren getroffen worden door veranderingen in het klimaat. Fysieke blootstelling aan natuurgeweld kan ernstige verwonding of zelfs overlijden tot gevolg hebben. Ook kunnen burgers en bedrijven verstoken raken van elektriciteit, gas of ICT-diensten en economisch schade lijden door beschadigingen aan hun eigendommen. De economie als geheel of specifieke sectoren in de samenleving lopen risico op grote verliezen en de natuur en het milieu worden aangeattast.

Deze risico's verschillen van elkaar, zowel in type als in mate van impact en waarschijnlijkheid van voorkomen. Het beoordelen en uiteindelijk vergelijken van verschillende typen risico's samenhangend met klimaat effecten dient dan ook zorgvuldig te gebeuren. In dit hoofdstuk wordt uiteengezet hoe de beoordeling van risico's tot stand is gebracht (paragraaf 3.1). Hierna worden voor de beschouwde sectoren de klimaatgerelateerde risico's vergeleken.

Het begrip risico wordt vaak omschreven als kans maal gevolg; risico's ten gevolge van klimaat effecten worden bepaald door de kans op en de omvang van klimaat effecten en ook door het adaptatievermogen van de samenleving. De omvang van klimaat effecten worden bepaald door de kwetsbaarheid en de blootstelling (zie Figuur 5). Het adaptief vermogen van de samenleving oefent daarbij directe invloed uit op de kwetsbaarheid en de blootstelling. Een uitleg van het begrip risico en hoe wij het begrip hanteren kunt u vinden in de tekstbox *Wat verstaan wij onder risico's en adaptatie?*. Voor een adaptatiestrategie is het van belang om een inzicht te krijgen hoe in de toekomst risico's kunnen veranderen als gevolg van mogelijke klimaatveranderingen. Voor de schatting van de risico's zijn we uitgegaan van de huidige kwetsbaarheid in combinatie met een klimaat zoals geschat in het meest ongunstige scenario voor 2050, namelijk het W+ scenario (KNMI 2014). Sociaaleconomische en technologische ontwikkelingen zijn dus niet meegenomen (zie ook tekstbox *Toekomstige ontwikkeling van risico's: veranderende energievoorziening*).

Het ligt voor de hand om de risico's die samenhangen met klimaatverandering per sector te beoordelen, gegeven de bestaande scheiding tussen sectoren wat betreft beleid en verantwoordelijkheden. Onder regie van Kennis voor Klimaat en PBL zijn door verschillende partijen zeven deelstudies naar de risico's van klimaatverandering uitgevoerd, voor de sectoren transport en infrastructuur, energie-infrastructuur, ICT, landbouw, visserij, natuur en volksgezondheid.¹ De klimaatrisico's in relatie tot water en hitte in de stad zijn ook onderzocht in het Deltaprogramma. Deze bevindingen zijn gebruikt als basis voor de deelstudies. Een volledige scheiding tussen sectoren is echter niet mogelijk en niet wenselijk. Dit gegeven komt aan de orde in paragraaf 3.2, waarin ook 'sectoroverschrijdende effecten' bekeken worden. Bij de classificatie van risico's zijn sectoroverschrijdende risico's voor zover bekend echter enkel indirect meegewogen op basis van het voorliggende materiaal. Bij het analyseren van de risico's voor de sectoren en over sectoren heen wordt onderscheid gemaakt in economische risico's, risico's voor personen en risico's voor natuur en milieu. Dit sluit aan bij de indeling van de WRR (2014) en Rli (2014). Door onderscheid te maken tussen economie, doden en getroffenen en schade aan natuur en milieu wordt recht gedaan

¹ Braakhuis, Berendse et al. 2014, Luijff en Oort 2014, Maas en Vogel 2014, Rijnsdorp et al. 2014, Schaap, Reidsma et al. 2014, Vogel, Luijff et al. 2014, Wuijts, Vros et al. 2014.

aan de eigenheid van verschillende typen risico's, terwijl tegelijkertijd ook inzichtelijk wordt gemaakt welke klimaateffecten voor welke mate van impact in verschillende sectoren kunnen zorgen.

Het resultaat van onze risicobeoordeling is weergeven in de figuren 8-10 in paragraaf 3.3. De beoordeling is gedaan op basis van de beschikbare gegevens en kennis, met de deelstudies als voorname bron. Deze beoordeling moet worden beschouwd als de huidige stand van kennis en is bedoeld als uitgangspunt voor de NAS. In de komende jaren zal ongetwijfeld verder duidelijk worden hoe klimaatrisico's zich ontwikkelen, mede in het licht van sociaaleconomische ontwikkelingen en eventueel ingezet beleid.

3.1 Beschouwing klimaateffecten en risico's

Op basis van de uitgevoerde inventarisaties en analyses onder regie van Kennis voor Klimaat en PBL hebben wij de risico's die het gevolg zijn van klimaateffecten geklassificeerd. Het doel van deze classificatie is tweeledig: (1) aanbrengen van een grove prioritering zodat de risico's uit verschillende sectoren met elkaar vergeleken kunnen worden en (2) aangeven wat de meest voor de hand liggende strategieën voor klimaatadaptatie zouden kunnen zijn.

Wij hebben voor de classificatie twee bestaande raamwerken voor het vergelijken van risico's als inspiratie gebruikt: de Nationale Risico Beoordeling (NRB) en de Engelse *Climate Change Risk Assessment* (BZK 2009 en HR Wallingford 2012). De NRB is een systematiek die wordt gehanteerd binnen het programma Nationale Veiligheid van het ministerie van Veiligheid en Justitie. Het doel van de NRB is een breed scala van mogelijke bedreigingen van de samenleving onderling te kunnen vergelijken op basis van potentiële mate van ontwrichting en de kans daarop. De beoordeling van een risico gebeurt in de NRB aan de hand van een scenario, waarna experts de waarschijnlijkheid en de impact van het geschatste risico beoordelen (zie ook tekstbox *De Nationale Risico Beoordeling*). Bedreigingen waarbij natuurverschijnselen de dreigende factor zijn (zoals klimaateffecten), zijn onderdeel van de NRB. Omdat de NRB daarbij uitgaat van extreme gebeurtenissen, zijn de gehanteerde NRB-scenario's niet allemaal even goed bruikbaar: gebeurtenissen die minder extreem zijn, maar (veel) vaker voorkomen, zijn ook van belang voor de NAS. Waar de scenario's wel van toepassing zijn, hebben wij ze meegenomen in de beoordeling (zie Bijlage 1 voor een toelichting per score).

De Engelse risicobeoordeling *Climate Change Risk Analysis* (CCRA) is, zoals de naam al aangeeft, direct gericht op klimaatadaptatie (HR Wallingford 2012). Omdat klimaatadaptatie complex is vanwege de vele mogelijke oorzaken en gevolgen van klimaat gerelateerde risico's, wordt een aanpak toegepast die uit drie stappen is opgebouwd. In stap 1 worden door experts alle mogelijke directe en indirecte effecten in kaart gebracht. In stap 2 worden de huidige risico's ingeschat, waarna in stap 3 met behulp van klimaat- en sociaaleconomische scenario's de toekomstige risico's in beeld worden gebracht (HR Wallingford 2012). Voor de risicobeoordeling van klimaateffecten ten behoeve van de NAS hebben wij er voor gekozen om elementen van de NRB en de CCRA te combineren. Stap 1 van de CCRA is uitgevoerd door middel van de deelstudies onder regie van Kennis voor Klimaat en PBL. Stap 2 en 3 van de CCRA zijn door ons (om pragmatische redenen) in elkaar geschoven, waarbij we mogelijke sociaaleconomische ontwikkelingen buiten beschouwing hebben gelaten. In de beoordeling zoals die in paragraaf 3.3 te vinden is, wordt een uitspraak gedaan over op welke termijn we een verandering kunnen verwachten. Het gaat daarbij om effecten die nu al voorkomen en waarbij in de toekomst de frequentie en de blootstelling zal veranderen en om effecten die nu nog niet voorkomen. Achtereenvolgens kunt u lezen hoe wij in de beoordeling zijn omgegaan met het beoordelen van de waarschijnlijkheid en de betrouwbaarheid (3.1.1) en van de impact (3.1.2) van een risico.

3.1.1 Samenvatting methodiek

Bij de beoordeling van klimaateffecten ten gevolge van klimaatverandering en de daaraan gekoppelde risico's zijn de deelstudies die zijn uitgevoerd onder regie van Kennis voor Klimaat en PBL van de verschillende sectoren als uitgangspunt gebruikt (Braakhekke, Berendsee *et al.* 2014, Luijff en Oort 2014, Maas en Vogel 2014, Rijnsdorp *et al.* 2014, Schaap, Reidsma *et al.* 2014, Vogel, Luijff *et al.* 2014, Wuijts, Vros *et al.* 2014). Daarnaast zijn scenario's uit de NRB en andere relevante artikelen gebruikt (zie Bijlage 1).² Uiteindelijk is voor alle risico's een expertinschatting gemaakt op basis van de beschikbare gegevens. Voor het inschatten van de waarschijnlijkheid is gebruik gemaakt van het KNMI W+-klimaatscenario, het minst gunstige KNMI scenario voor Nederland uitgaande van een mondiale temperatuurstijging van 2 graden in 2050 en 4 graden in 2100. (KNMI 2014). Bij het beoordelen van de waarschijnlijkheid en impact zijn geen autonome ontwikkelingen meegenomen, er is alleen gekeken naar het effect van klimaatverandering. Sectoroverschrijdende effecten zijn zoveel mogelijk meegenomen, waar deze informatie beschikbaar was (zie paragraaf 3.2).³ De waarschijnlijkheid en impact van effecten is beoordeeld in het licht van het huidige adaptievermogen van de samenleving. Staand beleid, zoals bijvoorbeeld het huidige waterveiligheidsbeleid, is daarbij als gegeven uitgangspunt beschouwd. Toekomstig beleid (zoals de uitwerking van het Deltaprogramma) is niet verrekend in de impact of waarschijnlijkheid.

3.1.2 Waarschijnlijkheid

Waarschijnlijkheid is een belangrijke component bij onze beoordeling van klimaatgebonden risico's en bij het nadenken over (de urgentie van) beleidsstrategieën om iets tegen de risico's te ondernemen (HR Wallingford, 2012). Waarschijnlijkheid wordt vaak gekoppeld aan de statistische onzekerheid. We hebben in deze studie gekozen voor een benadering waarbij de waarschijnlijkheid wordt opgevat als de combinatie van twee factoren: (1) de snelheid waarmee de verandering in het klimaat zich voltrekt en (2) de (statistische) kans dat een bepaalde ongewenste gebeurtenis zich in een bepaalde periode voordoet. Deze twee factoren zijn verder uit te splitsen naar een keten van waarschijnlicheden dat een bepaalde gebeurtenis zich voordoet: de snelheid van klimaatverandering, de (verandering van) frequentie van weerextremen, de kans dat een weerextrem tot een bepaalde gebeurtenis en tenslotte de kans dat die gebeurtenis tot problemen leidt. Een voorbeeld van zo'n keten is een extreme bui. Hoeveel vaker gaat zo'n bui voorkomen, hoe snel gaat deze verandering en wat is de kans dat de bui dan ook daadwerkelijk tot problemen leidt? Hoe langer de keten is, hoe vaker er niet voldoende informatie is over de waarschijnlijkheid van een afzonderlijke schakel. Daarmee gaat de onzekerheid over de totale keten omhoog. Hieronder worden per factor de gebruikte overwegingen weergegeven, waarna wordt afgesloten met de gemaakte keuzes voor de assen van de risicobeoordeling.

Statistische kans en snelheid van klimaatverandering

De statistische kans op het optreden van klimaateffecten als gevolg van klimaatverandering is een afgelide van betrekkelijk geleidelijke veranderingen van de gemiddelde temperatuur: warme winters en hete zomers gaan vaker optreden. Ook de frequentie van hittegolven, droogteperioden en extreme weersomstandigheden als neerslag, hagel, ijzel en onweer en de daarmee verbonden grote rivierafvoeren (KNMI 2014) neemt toe. In deze studie is er voor gekozen om de waarschijnlijkheid van een klimaateffect te beoordelen aan de hand van het KNMI W+ scenario voor 2050. In dit scenario is de klimaatverandering het grootst. We hebben gekozen om het W+ scenario te gebruiken, omdat bij het beoordelen van risico's het risico liever te groot dan te klein wordt inge-

² Zie bijlage 1 voor een uitwerking. BZK 2009 – 2013, CPB en PBL 2006, Deltaprogramma 2014, Hilbers en Snellen 2010, Hoogvliet, Van der Ven *et al.* 2012.

³ In de impactschattingen die in de KvK-rapporten en in het kader van de NRB zijn gemaakt, worden indirecte effecten niet explicet meegenomen. Uit schattingen gemaakt voor Engeland blijkt dat indirecte effecten maximaal van de zelfde omvang zijn als directe effecten (Pant *et al.* 2014). Omdat de gekozen grenzen voor de klassificatie van de impact ordegroottes van elkaar verschillen is onze verwachting dat het al of niet meenemen van indirecte effecten niet snel tot indeling in een hogere impact-klasse zal leiden (wat uiteraard niet wegneemt dat het bij het bepalen van een adaptiestrategie van groot belang is om ze mee te nemen).

schat. Bovendien leidt het werken met het W+ scenario tot voldoende onderscheidend vermogen, dat wil zeggen, er worden verschillen zichtbaar tussen risico's.

Een geleidelijke, maar niet noodzakelijk lineaire toename van de zeespiegel met stijging van de gemiddelde temperatuur vergroot, in combinatie met het vaker en ernstiger optreden van stormvloed, de kans op overstromingen uit zee. De snelheid van klimaatverandering heeft invloed op de statistische kans dat een klimaateffect in de komende decennia optreedt. Daarbij lopen de tijdschalen van de verschillende klimaateffecten uiteen. Sinds 1901 heeft het KNMI 39 hittegolven geteld, dus eens per krap 3 jaar, waaronder een extreme hittegolf in 2006 (KNMI 2013). De toename van de kans op hittegolven is relevant voor het komende decennium, omdat extreme hittegolven nu al voorkomen. Dat geldt ook voor ernstige wateroverlast in steden of lokale overstromingen zoals in Tuindorp Oostzaan (1960), Wilnis (2003) of in Kockengen dit jaar (2014). Toename van de frequentie van overstroming van primaire dijkringen zoals de februaristorm van 1953 speelt op een andere tijdschaal. Dankzij het eerste Deltaplan - maar zonder nieuwe inspanningen van het Deltaprogramma – is het onwaarschijnlijk dat we zelfs onder de meest ongunstige omstandigheden in deze eeuw al met een dergelijke overstroming te maken krijgen, ondanks een verwachte toename van de zeespiegelstijging en van extreme afvoeren van de Rijn en de Maas. Dat neemt niet weg dat er nog altijd een theoretisch zeer kleine kans is dat er morgen een overstroming optreedt.

Waarschijnlijkheid en onzekerheid

Bij het inschatten van risico's wordt vaak ook een uitspraak gedaan over de mate van betrouwbaarheid van de inschatting (IPCC 2006, Mastrandrea, Mach et al. 2011). Waarschijnlijkheidsuitspraken met een lage betrouwbaarheid zijn lastig te interpreteren en roepen snel verwarring op.⁴ Bij het uitvoeren van deze studie was er bovendien sprake van het ontbreken van informatie over de mate van betrouwbaarheid van uitspraken over klimaatgerelateerde risico's. Wij hebben er om praktische redenen voor gekozen om geen aparte uitspraken te doen over waarschijnlijkheid en betrouwbaarheid.⁵ Wel wordt er bij de inschatting van de afzonderlijke risico's aangegeven wat de kennisbasis is voor deze inschatting, waarmee we de onzekerheid van de inschatting in beeld brengen. Risbey en Kandlikar (2003) hebben hiervoor een hele bruikbare indeling gemaakt, die ook handig is bij het maken van een keuze voor een adaptatiestrategie (zie paragraaf 4.3)(zie ook o.a. Knoop et al. 2013).

Risbey en Kandlikar (2003) pleiten er voor waarschijnlijkheid en onzekerheid te combineren en de wijze waarop we over de nauwkeurigheid van de waarschijnlijkheidsschatting rapporteren, af te laten hangen van de betrouwbaarheid van het achterliggende construct dat tot die schatting heeft geleid. Ze onderscheiden 6 categorieën met afnemende mate van nauwkeurigheid om over waarschijnlijkheidsschattingen te spreken (zie Tabel 2):

⁴ Het IPCC schrijft over deze relatie: "The uncertainty guidance provided for the Fourth Assessment Report draws, for the first time, a careful distinction between levels of confidence in scientific understanding and the likelihoods of specific results. This allows authors to express high confidence that an event is extremely unlikely (e.g., rolling a dice twice and getting a six both times), as well as high confidence that an event is about as likely as not (e.g., a tossed coin coming up heads). Confidence and likelihood as used here are distinct concepts but are often linked in practice." (IPCC 2007).

⁵ Mocht er in de toekomst behoeften zijn aan een actualisatie van de risicobeoordeling zoals uitgevoerd in deze studie, dan verdient het aanbeveling om bij het verzamelen van de kennis te werken volgens de richtlijnen van de IPCC (Mastrandrea, Mach et al. 2011, Mastrandrea en Mach 2011). Op deze manier kan meer inzicht worden verkregen in de betrouwbaarheid van de risicobeoordeling.

Tabel 2.

Indeling op basis van onzekerheid naar Risbey en Kandlikar (2003)

Nummer	Categorie	Voorbeeld klimaatgerelateerd risico
1	Volledige waarschijnlijkheidsverdeling: bij robuuste kennis van type verdeling en belangrijkste parameters (o.a. 5de en 95ste percentiel)	Niet beschikbaar
2	Grenzen op basis van vastgestelde waarschijnlijkheidspercentielen	Kans op overstroming door toenemende piekafvoeren rivieren
3	Orde van grootteschattingen van effecten	Uitval elektriciteit
4	Richting van het effect	Uitbraak nieuwe infectieziekten
5	Plusminus, het kan vriezen het kan dooien	Niet in rapport
6	Onwetendheid, voorbij de grenzen van ons inzicht.	Niet in rapport

Voor de risicobeoordeling in dit rapport hebben we gekozen om alleen klimaateffecten te beschouwen waar een (semi-)kwantitatieve uitspraak over kan worden gedaan, op basis van het beschikbare onderzoek en al eerder voorgekomen gebeurtenissen in Nederland (of het buitenland) (zie Tabel 2). Een volledige waarschijnlijkheidsverdeling (categorie 1 van Risbey en Kandlikar) is voor klimaatgerelateerde risico's niet beschikbaar. In het beste geval worden grenzen aangegeven, waarbinnen verschijnselen zich met een grote mate van waarschijnlijkheid zullen manifesteren (categorie 2). Dit gebeurt bijvoorbeeld in het hoogwaterbeschermingsbeleid, waarbij grenzen voor de toekomstige afvoer van de Rijn bij Lobith worden gehanteerd bij de dimensionering van keringen (Ten Brinke *et al.* 2010). Als het niet mogelijk is om betrouwbare grenzen aan te geven, kan een schatting worden gemaakt van de orde van grootte of hooguit van de richting waarin een effect zich zeer waarschijnlijk zal manifesteren. Het gaat hierbij dus om effecten uit categorie 3 en 4 van Risbey en Kandlikar, waarbij orde van grootteschattingen in de meerderheid zijn. Effecten die in categorie 5 of 6 vallen, zijn expliciet niet beschouwd, hoewel ze wel genoemd worden (zie tekstbox *Wildcards*).

Klasse-indeling: Waarschijnlijk in deze eeuw of niet?

Eerder is al opgemerkt dat klimaateffecten en de daaraan gekoppelde risico's zich op verschillende tijdsschalen manifesteren. Een uitspraak over de waarschijnlijkheid en betrouwbaarheid van een gebeurtenis betekent dan ook alleen iets als duidelijk gemaakt wordt over welke tijdschaal het gaat. Wij hebben in deze risicobeoordeling er voor gekozen om, naar voorbeeld van de CCRA, te kijken of een gebeurtenis als gevolg van klimaatverandering naar verwachting in deze eeuw zal optreden. Daarbij onderscheiden we drie klassen: waarschijnlijk in dit decennium, waarschijnlijk in deze eeuw en onwaarschijnlijk in deze eeuw. De klasse-indeling is een combinatie van de statistische kans (1: <10 jaar, 1:10-100 jaar en 1: >100 jaar), de snelheid van klimaatverandering en de betrouwbaarheid. Voor gebeurtenissen die zijn beoordeeld als "waarschijnlijk in dit decennium" betekent dit, dat we als gevolg van klimaatverandering de komende eeuw vaak met deze gebeurtenis te maken zullen krijgen. Vaak treden deze gebeurtenissen nu al op. Gebeurtenissen die zijn beoordeeld als "waarschijnlijk in deze eeuw" zullen een- of tweemaal voorkomen.⁶ De inschatting van waarschijnlijkheid is gebeurd op basis van de onderliggende studies naar de individuele sectoren en expertinschatting. Gebeurtenissen, waarvan denkbaar is dat zij een grote impact kunnen hebben, maar waarvan op vrijwel geen enkele wijze een inschatting te maken is voor de kans van optreden, zijn daarbij, geplaatst in de klasse van 'zeer onwaarschijnlijk' dat ze zich deze eeuw zullen manifesteren. Er blijft natuurlijk altijd een (zeer) kleine kans dat de gebeurtenis zich toch voordoet. Op deze manier kunnen ze toch zichtbaar gemaakt worden in de risicotabellen (Figuur 8-10). In bijlage 1 wordt per onderwerp precies aangegeven welke afweging is gemaakt.

⁶ Dit is een iets ander gebruik van de klasse-indeling dan bij de methodiek die binnen de CCRA is gehanteerd, waar de klasse 'waarschijnlijk deze eeuw' wordt gezien als een 50/50 kans van optreden.

3.1.3 Impact

De potentiële impact van een risico is zeer belangrijk voor de beslissing over hoe je om wilt gaan met dit risico. Het omwaaien van bomen door hevige stormen met vertragingen op het spoor tot gevolg zal anders gewaardeerd worden dan het doorbreken van een dijk door een hevige storm, waarbij tientallen tot honderden doden vallen en er grote economische schade is. Het klimaateffect is gelijk (een hevige storm), de impact verschilt. In deze studie is gekozen om geen directe vergelijking te maken tussen bijvoorbeeld doden en economische schade, maar wordt de impact van een risico uitgesplitst in impact op de economie, impact voor personen en impact op natuur en milieu. Het vergelijken van bijvoorbeeld verkeershinder en de daarmee gepaard gaande economische schade met het verdwijnen van diersoorten is als het vergelijken van appels met peren: de effecten zijn onvergelijkbaar, tenzij men het ene effect wil uitdrukken in de taal van het andere effect (bijvoorbeeld door een economische waarde toe te kennen aan het bestaan van een diersoort). Dit laat zien dat de keuzes die hier gemaakt moeten worden ten diepste politieke keuzes zijn: hoe belangrijk vinden we volksgezondheid ten opzichte van economische schade en ten opzichte van schade aan natuur en milieu? Er is daarom gekozen om de verschillende typen schade uit elkaar te houden. Deze benadering sluit aan bij recente aanbevelingen van de WRR en Rli en bij de methodieken van zowel de NRB als de CCRA (zie ook tekstbox *De Nationale Risico Beoordeling*). De Rli adviseert om drie hoofdgroepen van risico's te onderscheiden: risico's (1) voor personen, (2) voor natuur en milieu, en (3) voor economie en samenleving. Het onderscheid tussen de groepen is fundamenteel, omdat zij onvergelijkbaar zijn. Dit komt doordat de perceptie en morele opvatting per hoofdgroep verschilt: de acceptatie van risico's voor personen verschilt van die voor natuur en milieu of economie. Door risico's op deze manier uit te splitsen, wordt het beleid rondom risico's consistenter, omdat gelijke risico's zo een gelijke behandeling kunnen krijgen. Tegelijkertijd is het evident dat ongelijke risico's ook een andersoortig beleid verdienen (Rli 2014).

Klasse-indeling: economie, personen en natuur en milieu

De impact wordt (semi-)kwantitatief gescoord in de klasse groot – midden – klein. Door te kiezen voor drie klassen, is het mogelijk om een ruwe kwantitatieve aanduiding of schatting te geven, zonder geweld te doen aan de betrouwbaarheid en onzekerheid van de onderliggende gegevens. Daarbij is het belangrijk om te onthouden dat de grenzen van de klassen altijd enigszins arbitrair blijven en vooral een aanduiding zijn van ordegraad. De impact van een gebeurtenis van drie gewonden en één dode is kleiner dan de impact van een gebeurtenis met 100 doden. Het verschil in maatschappelijke impact tussen een ramp met 100 doden en een ramp met 101 doden is echter nauwelijks te duiden. Bovendien beordelen mensen gebeurtenissen vanuit verschillende perspectieven en komen daardoor tot andere conclusies over de ernst van een gebeurtenis (zie paragraaf 4.1). Met dit soort ambiguïteit is in de beoordeling geen rekening gehouden, omdat we er voor gekozen hebben de beoordeling zo veel mogelijk kwantitatief te houden. Waar onderzoeksgegevens over impact onvolledig zijn, is in de deelstudies en deze achtergrondstudie gewerkt met expertinschattingen. Belangrijk is ook om te beseffen dat de meeste negatieve gevolgen door meerdere oorzaken worden gedreven (zie tekstbox *Wat verstaan wij onder risico's en adaptatie?*). Klimaatverandering beïnvloedt de oorzaak-gevolgketen van een gebeurtenis door de impact te vergroten. In bijlage 1 wordt per onderwerp precies aangegeven waar de impactschattingen op zijn gebaseerd.

Voor economie worden als grenzen 1, 10 of 100 miljoen euro schade per gebeurtenis aangehouden, inclusief cascade-effecten waar deze bekend zijn. Voor personen worden als grenzen 10.000, 100.000 en 1 miljoen getroffenen en/of respectievelijk 0, 10 of 100 doden per gebeurtenis aangehouden. Getroffenen zijn personen die te maken hebben met de gevolgen van het uitvallen van vitale infrastructuur, waardoor het dagelijks leven wordt belemmerd. Het gaat bijvoorbeeld om het uitvallen van elektriciteit of niet naar school of werk kunnen gaan. We hebben bij de beoordeling hiervan criterium 2.2, 2.3 en 5.1 van de NRB gehanteerd (BZK 2009-2013, zie ook tekstbox *De Nationale Risico Beoordeling*). Voor natuur en milieu zijn geen kwantitatieve klassen gebruikt, omdat dit niet goed mogelijk was op basis van de beschikbare gegevens. Daarnaast leidde een kwan-

titatieve beoordeling, bijvoorbeeld op basis van aantal aangetaste hectare als in de NRB wordt voorgesteld (criterium 4.1, BZK 2009), tot onvoldoende onderscheidend vermogen voor de beschouwde risico's. De gekozen klassen zijn daarom ingedeeld naar schaalniveau en omkeerbaarheid van processen: lokaal, regionaal, (inter)nationaal en/of omkeerbaar, moeilijk omkeerbaar en onomkeerbaar. Voor alle drie typen impact geldt dat de keuzes voor deze grenzen zo zijn gemaakt, dat de klassen voldoende onderscheidend werken, waarbij is aangesloten bij de klasse-indeling van de NRB en de CCRA (BZK 2009, HR Wallingford 2012).

De Nationale Risico Beoordeling

In het kader van de Strategie Nationale Veiligheid (ministerie Veiligheid en Justitie) is de Nationale Risico Beoordeling (NRB) ontwikkeld (BZK 2009-2013). Deze methode vergelijkt verschillende type dreigingen met elkaar. De NRB werkt met scenario's en weegt alle verschillende facetten van maatschappelijke ontwrichting. Er worden vijf vitale belangen onderscheiden; (1) territoriale, (2) fysieke, (3) economische en (4) ecologische veiligheid en (5) politieke en sociale stabiliteit. Deze vitale belangen worden gescoord op hun mate van impact en ingedeeld in een klasse (van 'beperkt' tot 'catastrofaal'). Hierbij wordt de impact van sommige belangen gewogen aan de hand van meetbare gegevens, terwijl andere, meer kwalitatieve aspecten op basis van *expert judgements* worden beoordeeld. In de onderstaande tabel is weergegeven waar welk impactcriterium is meegenomen in de risicobeoordeling van dit rapport:

Tabel 3.

Overzicht van de relatie tussen de beoordeling van klimaateffecten in Nederland en de beoordelingscriteria van de Nationale Risico Beoordeling

Vitale Belang	Impactcriterium	In deze studie beoordeeld onder
Territoriale veiligheid	1.1 Aantasting van de integriteit van het grondgebied	Nvt
	1.2 Aantasting van de integriteit van de internationale positie van Nederland	Nvt
Fysieke veiligheid	2.1 Doden	Personen
	2.2 Ernstig gewonden en chronisch zieken	Personen
	2.3 Lichamelijk lijden (gebrek aan primaire levensbehoeften)	Personen
Economische veiligheid	3.1 Kosten en aantasting economie	Economie
Ecologische veiligheid	4.1 Langdurige aantasting van het milieu en natuur (flora en fauna)	Natuur en Milieu
Politieke en sociale stabiliteit	5.1 Verstoring van het dagelijks leven	Personen
	5.2 Aantasting van de democratische rechtsstaat	Nvt (zie paragraaf 4.2)
	5.3 Sociaalpsychologische impact en maatschappelijke onrust	Apart benoemd in paragraaf 4.2

3.2 Sector-overschrijdende effecten

Sommige negatieve klimaateffecten kunnen zo groot zijn dat ze (een deel van) de samenleving kunnen ontwrichten. Voorbeelden zijn overstromingen, uitval van vitale infrastructuur (energie, transport en ICT) en grootschalig optreden van infectieziektes bij de mens. De impact is vooral groot als er zogenoemde sector-overschrijdende effecten optreden: een gebeurtenis (zoals een overstroming) leidt tot uitval van een vitale sector (zoals de energie- en ICT-voorziening), waardoor ook andere sectoren uitvallen, zoals hulpdiensten die niet adequaat kunnen reageren en het betalingsverkeer dat nagenoeg plat komt te liggen. De vitale infrastructuur bestaat uit vele onder-

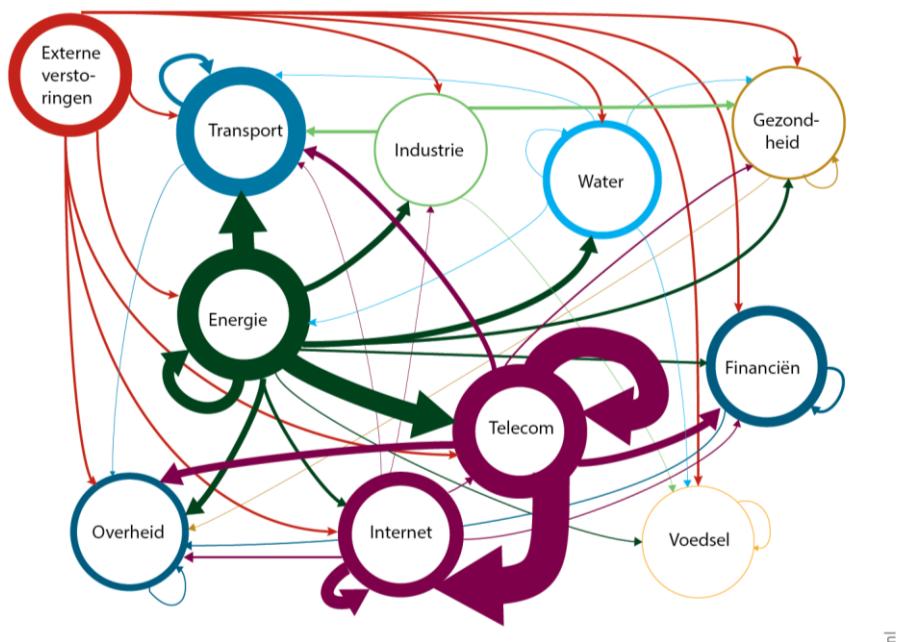
delen, die een grote mate van onderlinge samenhang kennen (Figuur 6). Hierdoor is het mogelijk dat een gebeurtenis die in eerste instantie een enkele sector treft, gevolgen heeft voor andere sectoren. De elektriciteitsvoorziening speelt, samen met de ICT-voorzieningen een centrale rol in dit netwerk (Luijf et al. 2003).

De energievoorziening en de ICT-infrastructuur kenmerken zich door een sterke gelaagdheid. Er is een (inter)nationaal hoofdnetwerk, dat een behoorlijke mate van redundantie kent. Hierdoor is dit netwerk robuust en komen grote black-outs in Nederland bijvoorbeeld weinig voor. Het hoofdnetwerk vertakt zich naar een regionaal en tenslotte lokaal netwerk, dat steeds minder redundant wordt. De kans op uitval van bijvoorbeeld elektriciteitsvoorziening door weerextremen is op lokaal niveau daardoor groter dan op nationaal niveau. De mate van impact is precies omgekeerd: beperkt op lokaal niveau, groot op nationaal niveau. Als een polder gedeeltelijk onderloopt door doorbraak van een boezemkade zal op veel plaatsen de elektriciteitsvoorziening getroffen worden. Daardoor valt onder andere de verkeersregulatie (stoplichten) uit in andere delen van de polder (Bollinger 2014). Een langdurige droge periode in heel Noordwest Europa kan daarentegen problemen geven voor de koelcapaciteit van energiecentrales en datacenters, waardoor de energievoorziening en ICT-diensten tegelijkertijd onder druk komen te staan. Uitval van deze twee vitale sectoren zal voor cascaderwerking zorgen, zoals het uitvallen van betalingsverkeer doordat er geen elektriciteit is en schade aan natuur en milieu als bijvoorbeeld ontheffingen worden verleend voor het lozen van koelwater bij hoge temperaturen.

In de pilotstudie *Waterbestendige Westpoort* wordt de kwetsbaarheid van de vitale infrastructuur uitgewerkt voor de haven van Amsterdam (Must en Witteveen en Bos 2014). Uit deze studie blijkt dat de bedrijven, instellingen en voorzieningen op allerlei manieren aan elkaar verbonden zijn. Uitval van vitale functies door een overstroming geeft dan ook cascade-effecten.

Figuur 6.

Relatieve uitval van vitale infrastructuur in Nederland (2005 - 2014) en cascade-effecten



Bron: TNO

pbl.nl

Sector-overschrijdende effecten in beeld. De dikte van de pijlen geeft het aantal sector-overschrijdende effecten weer nadat er een externe verstoring was opgetreden. Vooral de uitval van de energievoorziening heeft grote gevolgen voor andere sectoren.⁷

In dit rapport zijn bij het beoordelen van de mate van impact sector-overschrijdende effecten zo veel mogelijk meegenomen, waar deze informatie beschikbaar was. Uit de beoordeling van klimaatgebonden risico's in paragraaf 3.3 komt naar voren dat een aantal van de meest urgente risico's sector-overschrijdende effecten betreft. Ook overstromingen geven sector-overschrijdende effecten en zijn daarom in sterke mate ontwrichtend. De indirecte schade van weervextremen wordt minstens zo groot geschat als de directe kosten (Pant *et al.* 2014). Deze constatering benadrukt het belang om sector-overschrijdende effecten mee te nemen bij het nemen van maatregelen voor klimaatadaptatie.

Verwevenheid energievoorziening en ICT

Een opvallende ontwikkeling, die erg relevant is voor het anticiperen op klimaatverandering, is de steeds intensievere verwevenheid van de energievoorziening met onder meer ICT en de transportinfrastructuur (Luijff en Oort 2014, Maas en Vogel 2014). Dat geldt niet alleen voor de transport- en logistieke systemen (*internet of things*; maakt ook nu al bijvoorbeeld zeer lage voorraden mogelijk), maar bijvoorbeeld ook voor de volksgezondheid (toepassing van domotica en patiëntinformatie), bemaling van polders, toepassing van GPS in de landbouw en het functioneren van nooddiensten. Daar komt bij dat bedrijven steeds hogere eisen stellen aan hun levering, onder meer om de voorraadkosten zo beperkt mogelijk te houden. Valt een transportfunctie uit door bijvoorbeeld een stremming van de binnenvaart, dan komen producenten en afnemers van de vervoerde producten al snel in de problemen. Grote problemen kunnen bijvoorbeeld ontstaan als de binnenvaart gestremd raakt na een aanvaring bij laag water (Runhaar *et al.* 2014). Zo'n gebeurtenis is zeker niet uitgesloten: door versmalling van de vaarweg neemt de waarschijnlijkheid van een aanvaring toe. De rol van sector-overschrijdende effecten kan door de toenemende verwevenheid daarom groter worden dan zij nu is.

⁷ In deze figuur worden alle externe factoren weergegeven die het functioneren van onderdelen van de vitale infrastructuur kunnen verstoren (rode pijlen). Een deel van die verstoringen betreft weervextremen. Weervextremen zullen echter vrijwel alleen directe invloed hebben op de onderdelen Transport, Energie en ICT (Telecom en Internet).

Ontwikkeling van risico: veranderde energievoorziening

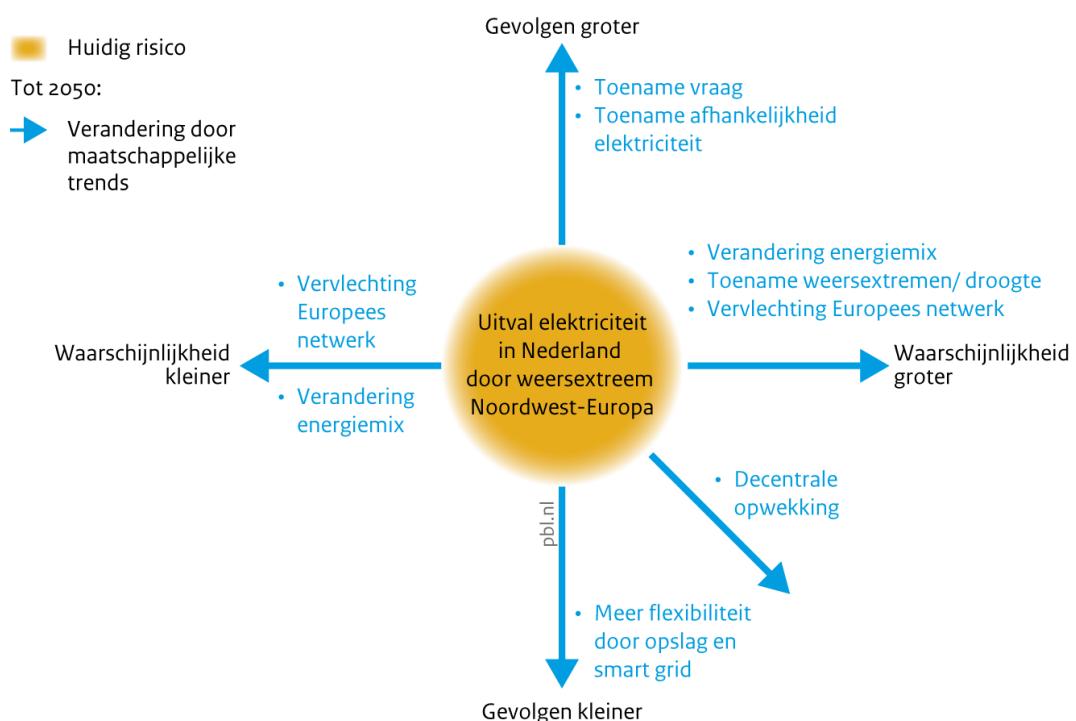
De uiteindelijke impact of mate van ontwrichting die kan optreden door een klimaateffect wordt bepaald door alle gevolgen samen, dus ook de gevolgen van autonome ontwikkelingen als economische groei, globalisering, bevolkingsgroei en technologische ontwikkelingen. Dit wordt geïllustreerd in figuur 7 met het voorbeeld van landelijke stroomuitval door weerextremen, zoals langdurige droogte of windstilte, in Noordwest Europa. Technologische ontwikkeling en de toenemende afhankelijkheid van onze samenleving van energie en ICT kunnen er voor zorgen dat de impact van stroomuitval toeneemt (PBL 2015a).

Aan de andere kant kan uitbreiding van de capaciteit van de energieopslag, wat ook een technologische ontwikkeling kan zijn door nieuwe vormen van energieopslag, de impact juist doen afnemen. Andere ontwikkelingen, zoals aanpassingen die het hoofdnetwerk van de EU robuuster maken, maken de waarschijnlijkheid van de gebeurtenis kleiner. Mondiale ontwikkelingen kunnen de vraag naar energie, het aanbod van fossiele brandstoffen en de energiepolitiek van Nederland en haar omringende landen sterk beïnvloeden (TenneT 2010).

Een overgang op grote schaal naar alternatieve energiebronnen als wind- en zonne-energie maakt het elektriciteitsnetwerk minder gevoelig voor één klimaatextrem, doordat het risico gespreid wordt. Aan de andere kant wordt de elektriciteitsproductie wel kwetsbaarder voor weersextremen, bijvoorbeeld door schade of uitval door extreme buien en langdurige periodes van windstilte waardoor de productie afneemt. Autonome ontwikkelingen zijn niet op zichzelf staand en de effecten ervan zijn niet eenduidig. Deze autonome ontwikkelingen zijn niet meegenomen in de beoordeling van risico's in deze studie.

Figuur 7.

Krachtenveld risico van elektriciteitsuitval tussen 2015 en 2050



Bron: PBL

Klimaatgebonden risico's worden beïnvloed door autonome ontwikkelingen.

Toekomstige ontwikkelingen

In dit rapport hebben wij de risicobeoordeling gemaakt op basis van de huidige ontwikkeling en de huidige adaptatiecapaciteit van de samenleving. Toekomstige ontwikkelingen beïnvloeden risico's op verschillende manieren. Deze ontwikkelingen zijn divers. De bevolking vergrijst en concentreert zich meer en meer in steden. Burgers en bedrijven worden steeds afhankelijker van elektriciteits- en ICT-netwerken, die ook steeds verder verweven raken. (PBL 2015). Als voorbeeld is de ontwikkeling van de energievoorziening uitgewerkt in de tekstbox *Ontwikkeling van risico: veranderde energievoorziening*. Al deze ontwikkelingen hebben consequenties voor de kwetsbaarheid van Nederland voor klimaatverandering. De risico's zoals in beeld gebracht in paragraaf 3.3 zijn gebaseerd op de huidige situatie. Om een goed beeld te krijgen van de toekomstige klimaatrisico's is voor een aantal sectoren een nadere analyse nodig waarin de invloed van alle verschillende krachten die relevant zijn voor de ontwikkeling van de klimaatrisico's in beeld worden gebracht. Dit is geen eenvoudige opgave, zoals blijkt uit het voorbeeld voor de elektriciteitsvoorziening (zie tekstbox *Ontwikkeling van risico: veranderde energievoorziening*).

3.3 Beoordeling op basis van waarschijnlijkheid en impact

In de onderstaande beoordeling worden klimaatgerelateerde risico's uit de verschillende sectoren naast elkaar gezet. Op deze manier maken we inzichtelijk welke risico's aandacht verdienen . Hierbij is (zoals in paragraaf 3.1 beschreven) een klasse-indeling van groot – midden – klein gehanteerd. We hebben er voor gekozen om risico's, waarvan het onwaarschijnlijk is dat we er deze eeuw mee te maken krijgen en een kleine impact uit de tabellen te filteren, omdat deze gebeurtenissen een lage urgentie hebben. Een gedetailleerde beschrijving van de beoordeling van een risico op waarschijnlijkheid en impact kunt u terugvinden in Bijlage 1.

Er volgen drie tabellen waarbij is uitgegaan van de klimaatsituatie in 2050, waarbij telkens is gekozen voor het KNMI W+-klimaatscenario (KNMI 2014) (Figuur 8-10). De tabellen gaan uit van de huidige sociaaleconomische en technologische situatie en houden dus geen rekening met veranderingen die zich tussen nu en 2050 zullen voltrekken. De tabellen beschrijven achtereenvolgens de impact voor economie, voor personen en voor natuur en milieu.

Figuur 8.

Economische impact per gebeurtenis

	Onwaarschijnlijk in deze eeuw (tot 2100)	Waarschijnlijk in deze eeuw (tot 2100)	Waarschijnlijk in dit decennium (2010-2020)
Groot (> 100 miljoen euro schade)	<ul style="list-style-type: none"> Overstroming door bezwijken van primaire kering Epidemie van voor Nederland nieuwe ziekte Oogstschade door plaag of dierziekte Overstroming in Oost-Nederland door dijkdoorbraak in Duitsland 	<ul style="list-style-type: none"> Uitval cruciale delen elektriciteitsnetwerk door langdurige hitte/droogte of windstilte Oogstschade door elkaar opvolgende droogteperiodes Beperking scheepvaart door extreem hoog of laag water Schade aan gebouwen en leidingen door extra bodemdaling 	
Midden (10-100 miljoen euro schade)		<ul style="list-style-type: none"> Overstroming door bezwijken secundaire waterkering Uitval cruciale ICT-knooppunten elders ter wereld door weerextremen Lokale uitval elektriciteitsvoorziening door weerextremen Verstoring (spoor)wegverkeer door stormschade of natuurbranden Oogstschade door weerextremen Prijsstijgingen voedsel door langdurige droogte in Europa 	<ul style="list-style-type: none"> Verkeershinder door extreme windstoten en regenval Beschadiging drinkwaterleidingen door wrikken boomwortels bij windstoten Toename medische kosten en arbeidsverlies door verlenging en intensivering pollenseizoen (hooikoorts, astma)
Klein (1-10 miljoen euro schade)			<ul style="list-style-type: none"> Lokale wateroverlast door extreme regenval Hinder (spoor)wegvervoer door hitte Stijgende elektriciteitsprijzen op Europese schaal door schaarste koelwater en/of windstilte Productieverlies Nederlandse bedrijven door klimaateffecten in het buitenland Prijschommelingen grondstoffen Beroep op noodhulp vanuit het buitenland

Risico

 Klein

 Gemiddeld

 Groot

Bron: PBL

pbl.nl

Klimaateffecten kunnen forse economische schade veroorzaken. Transport en verkeer kunnen ernstige hinder ondervinden door extreme regenval, windstoten of juist hitte; de landbouw kan grote schade lijden door droogte. De indirecte schade door uitval van voorzieningen, zoals het wegval van elektriciteit, ICT, de financiële dienstverlening en handhaving van de openbare orde, kan hoog oplopen. Vooral uitval de van elektriciteit en ICT veroorzaakt cascade-effecten die sectoroverschrijdend zijn. Deze sector-overschrijdende effecten zijn tot nu toe onderbelicht, hoewel de economische en maatschappelijke impact groot kan zijn.

Ook extra bodemdaling ten gevolge van klimaatverandering kan voor veel schade aan gebouwen en leidingen zorgen (Hoogvliet *et al* 2012). Naast grote schade door één incident, kan ook de schade van veel kleine incidenten samen oplopen. Wateroverlast door extreme regenval is hier een

goed voorbeeld van, net als het arbeidsverlies en de medische kosten ten gevolge van meer hooikoorts en astma.

Figuur 9.

Impact voor personen

	Onwaarschijnlijk in deze eeuw (tot 2100)	Waarschijnlijk in deze eeuw (tot 2100)	Waarschijnlijk in dit decennium (2010-2020)
Groot (> 100.000 getroffenen en/of > 10 doden)	<ul style="list-style-type: none"> Overstroming door bezwijken primaire kering Epidemie van voor Nederland nieuwe ziekte Gevolgen politieke conflicten elders ter wereld Overstroming in Oost-Nederland door dijkdoorbraak in Duitsland 	<ul style="list-style-type: none"> Uitval cruciale delen elektriciteitsnetwerk door langdurige hitte/droogte of windstilte Grootschalige uitval ICT door uitval cruciale ICT-knooppunten elders ter wereld Grootschalige uitval ICT-diensten door oververhitting 	<ul style="list-style-type: none"> Hittestress in steden
Midden (10.000 – 100.000 getroffenen en/of 1 – 10 doden)		<ul style="list-style-type: none"> Overstroming door bezwijken secundaire waterkering op lokale/regionale schaal Regionale uitval elektriciteitsvoorziening door weerextremen Verstoring (spoor)wegverkeer door stormschade Natuurbranden met lokale uitval ICT en transport 	<ul style="list-style-type: none"> Verlenging en intensivering pollenseizoen (hooikoorts, astma) Toename aantal Lyme-patiënten Infectieziekten door verslechtering waterkwaliteit Verkeersongevallen en -hinder door extreme windstoten en regenvall Beschadiging drinkwaterleidingen door wrikken boomwortels bij windstoten Nederlandse slachtoffers in het buitenland door weerextremen of (infectie)ziekten
Klein (< 10.000 getroffenen en 0 doden)			<ul style="list-style-type: none"> Lokale wateroverlast door extreme regenvall Hinder (spoor)wegvervoer door hitte Lokale uitval elektriciteitsvoorziening door storm of grondzetting

Risico

Klein Gemiddeld Groot

Bron: PBL

De effecten voor personen betreffen het aantal doden, gewonden en chronisch zieken dat kan vallen en het aantal mensen dat getroffenen wordt door uitval van vitale sectoren. Uitval van de energievoorziening, ICT, de financiële dienstverlening of drinkwater heeft directe impact op het dagelijkse leven van mensen en kan een groot aantal personen tegelijk treffen. De hoogste impactklasse voor getroffenen komt overeen met een verstoring voor het aantal inwoners van een middelgrote stad, zoals Leiden of Deventer.

Hittestress in steden is één van de belangrijkste risico's voor personen (Wuijts, Vros *et al.* 2014); vaker optredende hittegolven zorgen naar verwachting voor een verhoogde sterfte onder kwetsbare groepen zoals bejaarden. Bij andere gebeurtenissen, zoals een grote overstroming of pandemie kunnen weliswaar meer mensen overlijden, maar deze gebeurtenissen zijn minder waarschijnlijk.

Figuur 10.

Impact op natuur en milieu

	Onwaarschijnlijk in deze eeuw (tot 2100)	Waarschijnlijk in deze eeuw (tot 2100)	Waarschijnlijk in dit decennium (2010-2020)
Groot (nationaal en/of onomkeerbaar)	<ul style="list-style-type: none"> Verlies soorten door verschuiven klimaatzones Verdwijnen kwelders en wadplaten door overstroming vanuit zee 	<ul style="list-style-type: none"> Verlies soorten en habitats door extreem laag water rivierarmen Veranderen migratiepatronen van trekkende diersoorten 	
Midden (regionaal en/of moeilijk omkeerbaar)		<ul style="list-style-type: none"> Tijdelijke verstoring habitats door herhaaldelijk optreden extreme droogte Verstoring van de bodem en van archeologisch bodemarchief door versterkte bodemdaling Versterken natuur- en milieueffecten van verdroging en vermeting 	<ul style="list-style-type: none"> Verslechtering ecologische waterkwaliteit Achteruitgang van inheemse soorten door verschuiven klimaatzones
Klein (lokaal en/of omkeerbaar)			<ul style="list-style-type: none"> Lokale verstoring habitats door weerextremen Extra CO₂-uitstoot door versterkte bodemdaling

Risico

 Klein

 Gemiddeld

 Groot

Bron: PBL

pbl.nl

De ernst van klimaateffecten voor natuur en milieu wordt in belangrijke mate bepaald door de onomkeerbaarheid van deze effecten. Bepaalde dier- en plantensoorten en habitatten, zoals kwelders en wadplaten, kunnen verdwijnen door overstromingen of droogte. Door temperatuurstijging veranderen de migratiepatronen van trekvogels en vissen. Het gaat hierbij om nationaal of internationaal unieke of belangrijke natuur, reden waarom de impact als groot beoordeeld is.

De waterkwaliteit verslechtert. Dit is een sluipend effect, dat lokaal versterkt wordt door de lozing van koelwater. Het is zeer waarschijnlijk dat er ook dier- en plantensoorten zullen verdwijnen op lokale of regionale schaal door weerextremen. Dit effect is minder ernstig, omdat de soort elders nog wel voorkomt en dus terug zou kunnen komen.

3.4 Conclusie

Uit de vergelijking en beoordeling van klimaatgerelateerde risico's komt naar voren dat er een groot spectrum aan klimaatrisico's valt te onderscheiden, van incidenten met kleine waarschijnlijkheden en grote gevolgen op nationale schaal tot frequent optredende incidenten met beperkte overlast en gevolgen op regionale en lokale schaal. De klimaatrisico's hebben wij opgedeeld in economische risico's (schades), persoonsgebonden risico's (overlijden, ziektelast, overlast) en risico's voor milieu en natuur. In aanvulling op het Deltaprogramma is vooral extra aandacht nodig voor de robuustheid van elektriciteits-, ICT- en transportnetwerken (inclusief drinkwater), verkeershinder, gezondheidseffecten en daarmee gepaard gaand arbeidsverlies, oogstschade, natuurbranden en gevolgen van klimaatverandering voor de ecologische kwaliteit van de Nederlandse natuur. Deze risico's kunnen ten opzichte van hun waarschijnlijkheid namelijk tot forse impact leiden. De toename van economische schade en risico's voor personen komt vooral voort uit de gevolgen van weerextremen, die de komende decennia intenser worden en frequenter zullen voorkomen: hoge rivierafvoeren, hitte, droogte, zware regen- en onweersbuien en daarmee samengaande windstoten.

Vanwege het maatschappelijk belang vraagt vooral de kwetsbaarheid van de vitale infrastructuur, met name elektriciteits- en ICT-netwerken, aandacht, zowel op nationale schaal, regionale schaal en lokale schaal. De klimaatrisico's worden versterkt door de onderlinge afhankelijkheid van deze sectoren. Uitval van een van deze netwerken door optredende weerextremen heeft snel grote consequenties voor andere vitale sectoren, zoals het betalingsverkeer en de transportsector. De effecten weerspiegelen zich ook duidelijk in de natuur: verspreidingsgebieden van planten- en diersoorten zijn al aan het verschuiven, levenscycli veranderen en de stijgende watertemperatuur leidt in de zeeën tot verschuivingen in visstanden. Dat brengt tegelijkertijd risico's voor de volksgezondheid met zich mee. Opwarming van open wateren kan leiden tot blauwalgenbloei. Verwacht wordt dat door de verlenging van het groeiseizoen de effecten van hooikoorts fors zullen toenemen.

De vergelijking en beoordeling van risico's is uitgevoerd op basis van de beschikbare data. Bij het uitvoeren van de beoordeling werd duidelijk dat de impact en omvang van klimaatgerelateerde incidenten in Nederland niet systematisch wordt geregistreerd. Waar kwantitatieve gegevens niet beschikbaar waren, is gebruik gemaakt van expertinschattingen, ook in de onderliggende studies die zijn uitgevoerd onder regie van PBL en Kennis voor Klimaat. Voor een actualisatie van de beoordeling in de toekomst geldt dat deze verbeterd kan worden door de impact van gebeurtenissen wel systematisch te registreren.

4 Strategieën voor adaptatiemaatregelen

Nu de belangrijkste risico's in beeld zijn gebracht die te maken hebben met effecten van klimaatverandering, komen we toe aan de vraag: wat te doen?

In dit hoofdstuk beschrijven we in algemene zin hoe je van de inschatting van klimaatgerelateerde risico's naar adaptatiestrategieën kunt komen. Hierbij speelt het begrip urgentie een sleutelrol (paragraaf 4.1). Een probleem dat als urgent ervaren wordt, zet immers aan tot actie. Het is belangrijk om te beseffen dat urgentie niet alleen bepaald wordt door het risico zelf, maar ook door de maatschappelijke context. Het al dan niet nemen van maatregelen wordt in de praktijk ook bepaald door de reactie van de samenleving op gevolgen van klimaatverandering (paragraaf 4.2) en door de mogelijkheden die zich aanbieden bijvoorbeeld in de vorm van nieuwbouw- of herstructureringsplannen en geplande vervangingen van onderdelen van de vitale infrastructuur. De maatschappelijke context, de beleidscontext en de eigenschappen van het risico bepalen samen in welke mate er kan worden gekozen voor inzet op preventie, gevolgbeperking of herstelbevordering na de gebeurtenis en hoe bij die keuze om kan worden gegaan met de onzekerheid die er altijd is rondom risico's (paragraaf 4.3). We gebruiken een aantal voorbeelden om deze algemene aanpak te verduidelijken.

4.1 Beleidsurgentie van adaptatie

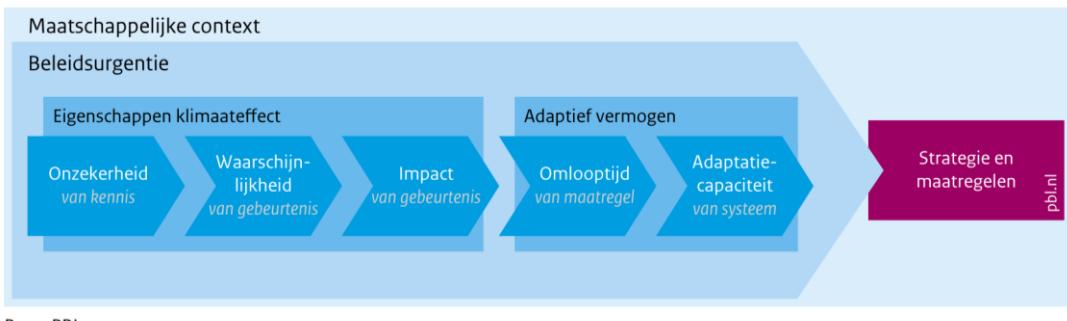
Bij de vergelijking van risico's zoals die in hoofdstuk 3 is weergegeven, hebben we getracht een objectief en waar mogelijk kwantitatief beeld te geven. De urgentie van een klimaatrisico bepaalt tenslotte of maatregelen op de korte termijn gewenst zijn, of dat er gewacht kan worden. Of een situatie als urgent wordt beschouwd hangt niet alleen af van de eigenschappen van het klimaateffect, maar ook van het adaptief vermogen van de samenleving en de maatschappelijke context (Figuur 11). Een (bijna)ramp leidt bijvoorbeeld dikwijls tot snel handelen. Er is dan vaak veel mogelijk en politieke en andere barrières spelen nauwelijks een rol. Rampen liggen aan de basis van onder meer de aanleg van de Afsluitdijk en de Deltawerken. Ook op lokale schaal kan (water-)overlast tot zo veel onrust leiden dat maatregelen genomen gaan worden, zoals na de wateroverlast in Kockengen in de zomer van 2014 (zie tekstbox *Lokale gebeurtenissen kunnen veel onrust veroorzaken*).

In de praktijk ontstaat vaak een overshoot in beleid en is dit reactief handelen vaak veel minder efficiënt dan proactief handelen op het moment dat zich daarvoor een goede gelegenheid aandient (Ten Dam 2013). Het is veel goedkoper om nieuwbouwwijken meteen aan te passen aan een toekomstige wateropgave dan te wachten tot het mis gaat. Maar zonder 'ramp' ligt het gevoel van urgentie daarentegen weer veel lager. Het doorbreken van dit dilemma is één van de grootste opgaven van de NAS.⁸

⁸ Het gebrek aan gevoel van urgentie is één van de vele hindernissen in het adaptatieproces, naast onder andere onduidelijkheid over de verdeling van verantwoordelijkheden, conflicterende belangen en gebrek aan menskracht en financiële middelen. In de literatuur worden deze hindernissen beschreven in de vorm van obstakels of meer als processen, die het gehele beleidsproces of specifiek één van onderdelen daarvan kunnen belemmeren, zodat uitvoering ernstig vertraagd wordt of zelfs helemaal niet meer van de grond komt. Framing speelt hierbij een belangrijke rol. (Zie Hulme, Adger et al. 2007, Burch 2010, Moser and Ekstrom 2010, De Graaff 2011, Clar, Prutsch et al. 2012, Productivity Commission 2012, Vink en Mulligen 2013, Biesbroek, Termeer et al. 2014).

Figuur 11.

Beleidsurgentie bepaalt de strategie voor adaptatiemaatregelen



Bron: PBL

De beleidsurgentie bepaalt voor welke strategie gekozen wordt bij het nemen van adaptatiemaatregelen. De eigenschappen van het klimaateffect zijn eerder in hoofdstuk 3 in beeld gebracht (zie Figuur 8-10).

De voorbeelden laten zien dat de beleidsurgentie van verschillende factoren afhankelijk is. Hoe snel er een beslissing moet worden genomen en hoe zwaar de adaptatiemaatregelen moeten zijn, hangt af van zowel de eigenschappen van het risico als van de beleidscontext. Uiteindelijk maakt men expliciet of implicit een kosten en baten afweging van een mogelijke maatregel.

In de Britse CCRA wordt *urgency* begrepen als een losstaande dimensie van een klimaateffect of risico, naast de waarschijnlijkheid en impact (HR Wallingford 2012). *Urgency* wordt vooral bepaald door de factor tijd. Tijd speelt bij klimaatadaptatie op verschillende manieren een rol. Gegeven het tempo waarmee kansen op ongewenste effecten door klimaatverandering toenemen, is de tijdigheid van grote beleidsbeslissingen belangrijk (bijv. noodzakelijk vóór 2020 of pas na 2050). Daarnaast speelt de doorlooptijd van maatregelen in relatie tot tempo en voorspelbaarheid van de opbouw van (klimaat)risico's een rol, net als het adaptiecapaciteit van het beleid of van de betreffende sector. De landbouwsector kan zich bijvoorbeeld relatief snel aanpassen als de omstandigheden wijzigen. Als het adaptievermogen hoog is, ligt de urgentie bij het beleid lager dan bijvoorbeeld bij een sector of een lagere overheid waar de bewustwording ten aanzien van de mogelijke gevolgen van klimaatverandering nog heel laag is of de mogelijkheden om aanpassingen door te voeren een lange doorlooptijd vragen. In deze studie hebben we er voor gekozen om de factoren tijd, waarschijnlijkheid en impact samen te vatten om tot een goed begrip van beleidsurgentie te komen (zie Figuur 11). Bij de beslissing of er wel of niet gehandeld moet worden en op welke termijn, ligt het voor de hand om de waarschijnlijkheid en de impact van een gebeurtenis mee te wegen. De ernst van een gebeurtenis wordt tenslotte daardoor bepaald.

Ernst van gebeurtenis bepalend voor urgentie...

Een risico met een lage waarschijnlijkheid en een lage impact staat al gauw onderaan de prioriteitenlijst. Andere risico's, zoals het uitvallen van de energievoorziening in Europa door aanhoudende hitte en droogte, worden veel waarschijnlijker geacht en hebben potentieel een hoge impact. De urgentie om maatregelen te nemen is daarom hoger. Hierbij kunnen de autonome ontwikkeling uit de samenleving de impact en de waarschijnlijkheid verhogen of verlagen, zoals we in paragraaf 3.2 hebben geïllustreerd. Zo maakt de steeds groter wordende afhankelijkheid van elektriciteit en ICT-voorzieningen de urgentie groter om maatregelen te nemen ten behoeve van een robuuste energievoorziening.

Ook kan de impact van een klimaateffect fors toenemen doordat er maatschappelijke onrust ontstaat. De zogenoemde morele of kwalitatieve aspecten zouden de urgentie kunnen beïnvloeden. Als er bijvoorbeeld sprake is van mogelijke verwijtbaarheid (een incident of ramp had voorkomen kunnen worden – zie tekstbox *Lokale gebeurtenis kunnen veel onrust ver-*

oorzaken), kan het vanuit het oogpunt van de overheid verstandig zijn om preventieve maatregelen te nemen.

... maar urgentie is niet hetzelfde als ernst

De ernst van een klimaateffect is een belangrijke factor, maar niet de enige factor die de urgentie bepaalt. Zoals de CCRA onderkent, speelt de factor tijd een belangrijke rol. Een voorbeeld dat dit illustreert, is hittestress in steden. Als de volgende langdurige hittegolf zich aandient, lopen duizenden bejaarden, chronisch zieken en andere kwetsbaren een flinke kans voortijdig te sterven. Dit maakt hittestress in steden vanuit het oogpunt van beleid een belangrijk aandachtspunt. Hittestress is meteen ook een goed voorbeeld van de noodzaak om risico's vanuit meerdere dimensies te beschouwen. De economische impact van hitte is zeer gering. Het grote gevoel van urgentie komt door het potentieel grote aantal getroffen (risico voor personen).

Naast de potentieel grote impact speelt ook tijd een belangrijke rol bij het vaststellen van de mate van urgentie. Zo worden we waarschijnlijk dit decennium met de volgende hittegolf geconfronteerd (zie Figuur 9). Hittegolven zoals die van 2006 komen eens in de 10 à 20 jaar voor en het is aannemelijk dat de frequentie onder invloed van klimaatverandering langzaam toeneemt (bovendien neemt ook het aantal kwetsbare personen toe) (KNMI 2014, PBL 2013). Daarnaast speelt tijd een belangrijke rol bij de keuze voor het type adaptatiestrategie en type maatregelen die genomen kunnen worden. Vergroting van de bewustwording onder de bevolking en het nemen van tijdelijke maatregelen, zoals beschreven in de hitteplannen die sinds 2003 zijn gemaakt, zijn flexibel en kunnen snel worden gerealiseerd. Structurele maatregelen, zoals het uitvoeren van een aangepast bouwbesluit of de realisatie van meer groen in steden, kan het stedelijk gebied naar voorbeeld van Zuid-Europese steden hittebestendiger maken. Daar gaan echter decennia van herstructurering en stadsvernieuwing overheen, doordat de omlooptijd van deze maatregelen groter is. Dergelijke projecten hebben een eigen agenda, die nu nog niet door klimaatadaptatie bepaald zal worden. Toch bieden deze agenda's een kans om de robuustheid te vergroten. Dit alles kan gevolgen hebben voor de beleidsurgentie als er minder tijd is om maatregelen te nemen, terwijl deze maatregelen wel tijd vragen. Dit maakt dat de urgentie om adaptatiemaatregelen te nemen groter kan zijn.

Ook de onzekerheid omtrent een klimaateffect of beperkt inzicht in relevante oorzaakgevolgketens speelt een rol bij de bepaling van de mate van urgentie . De verspreiding en virulentie van infectieziekten verandert onder invloed van klimaatverandering, maar het is niet duidelijk hoe dit uitpakt voor de mens. Oorzaken van de verandering zijn divers en complex en worden bovendien nog slecht begrepen. Voorbeelden hiervan zijn de verandering van verspreidingsgebieden van zogenoemde vectororganismen (denk aan de teek), of warmere, vochtigere condities die invloed hebben op het bewaren van voedingsmiddelen. Soms worden fatale gastheerwisselingen (AIDS, Ebola) geweten aan ecologische veranderingen, zoals verlies van natuurlijk habitat; bij vogelvirussen (griepachtig) wordt ook wel naar (veranderend) gedrag van trekvogels gewezen. De urgentie om voorbereid te zijn op klimaatverandering kan dan ook groter zijn door onzekerheden. Gegeven de grote onzekerheden rond de verspreiding van infectieziekten zal het beleid voornamelijk bestaan uit monitoring en surveillance om tijdig maatregelen te kunnen treffen.⁹

Omlooptijd van maatregelen en adaptatiecapaciteit

Urgentie wordt dus niet alleen bepaald door de aard van een risico, maar ook door de adaptiecapaciteit van de betreffende sector en door de omlooptijd of levensduur van onderdelen

⁹ In Nederland bestaat een goed werkend monitorings- en surveillancesysteem voor infectieziekten. Dit systeem is niet ontwikkeld met het oog op klimaatgerelateerde risico's, maar kan (uiteraard) ook ingezet worden als we getroffen worden door een epidemie waarvan klimaatverandering wel één van de oorzaken is.

die kunnen worden aangepast. Omlooptijd en adaptatiecapaciteit bepalen samen het adaptief vermogen van de samenleving, wat relevant is voor de beleidscontext. De beleidscontext heeft een heel eigen dynamiek in vergelijking met de eigenschappen van het klimaateffect. In *Aanpassen aan klimaatverandering* (PBL 2015b) wordt daarnaast ingegaan op de rol van de Rijksoverheid bij het nemen van adaptatiemaatregelen.

Er bestaat een nauwe relatie tussen het tempo (en de grilligheid) van de risico-opbouw onder invloed van klimaatverandering en de noodzakelijke omlooptijd en –inspanning om een dreiging te keren (zowel technisch als uit oogpunt van ‘governance’). Deze omlooptijd is gerelateerd aan de ‘turnover’ binnen een bepaalde sector: snelwegen hebben een andere economische en technische levensduur dan ICT-toepassingen (Figuur 12). Weinig ‘flexibele’ ingrepen, zoals het aanpassen voor de lange termijn van het riool aan extreme buien, kunnen daarom uit oogpunt van klimaateffecten beleidsmatig ook urgent zijn op het moment dat er onderhoud of vervanging plaats vindt. Vooral ruimtelijke ontwikkelingen en de ruimtelijke inrichting zijn trage processen met een lange omlooptijd en ze zijn op termijn van een generatie al min of meer onomkeerbaar. Als er geen (of de verkeerde) maatregelen worden genomen, ontstaat er op den duur een ‘lock in’ van specifieke adaptatietajecten of een gebrek aan adaptatieopties. Men zit als het ware opgesloten in het ingezette adaptatietaject. Er is dan geen mogelijkheid meer om toch nog voor een andere strategie van maatregelen te kiezen, die achteraf gezien beter was geweest.

Adaptatietajecten zijn nauw verbonden met de adaptatiecapaciteit van een systeem. Aan die adaptatiecapaciteit zit een fysiek aspect (bijvoorbeeld de fysieke mogelijkheid om de grondwaterstand te verhogen zodat bodemdaling wordt tegengegaan). De adaptatiecapaciteit wordt echter vooral bepaald door organisatorische en bestuurlijke aspecten die te maken hebben met de complexiteit van het werkveld, het besluitvormingsproces, de implementatiekracht en de beschikbare personele en financiële middelen. Als systemen zelf een groot aanpassingsvermogen hebben (bijvoorbeeld vitale natuur en de landbouw) dan is er minder reden om als overheid in te grijpen. Systemen, zoals vitale infrastructuur, die vallen onder de systeemverantwoordelijkheid van de Rijksoverheid verdienen daarom speciale aandacht.

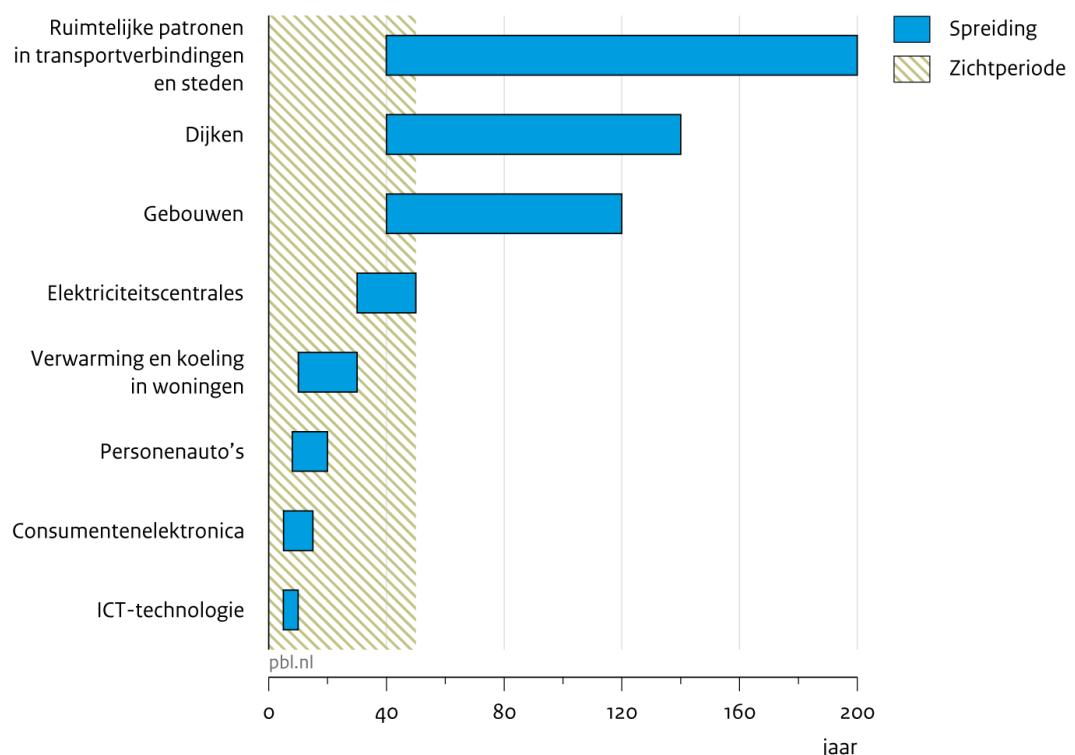
Adaptief vermogen van Nederland

Een analyse van de urgentie van een klimaatgerelateerd risico biedt de sleutel tot een passende adaptatiestrategie. Oog hebben voor kansen om adaptatiemaatregelen in te bedden in bestaand of voorgenomen beleid kan de adaptatiecapaciteit van het hele systeem op een efficiënte wijze verhogen. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door actief te zoeken naar aanknopingspunten die diverse beleidsuitvoeringsagenda’s bieden om klimaatadaptatie mee te laten koppelen. Dit houdt in dat nieuwbouw, regulier onderhoud en vervanging kunnen worden aangegrepen om adaptatiemaatregelen te nemen. Een voorbeeld hiervan is dat bij uitbreiding van het hoofdwegennet er rekening wordt gehouden met de effecten van klimaatverandering en er wordt afgewogen welke adaptatiemaatregelen genomen kunnen worden, zoals het verbeteren van de waterafvoer van de weg. Ook biedt adaptatie perspectieven om de ruimtelijke kwaliteit, bijvoorbeeld meer groen in stedelijke gebieden, te verhogen.¹⁰ Daarnaast kunnen ook verandermomenten worden aangegrepen om adaptatiemaatregelen te nemen, die anders te kostbaar of omvangrijk zouden zijn. Zo kan een daadwerkelijk klimaatgerelateerd incident of ongeval tijdelijk de urgentie verhogen om maatregelen te nemen.

¹⁰ In de huidige praktijk blijken juist de mogelijkheden om met adaptatiemaatregelen de ruimtelijke kwaliteit te verhogen van doorslaggevend belang te zijn voor het al of niet nemen van maatregelen in de stedelijke omgeving (Nijhuis 2014).

Figuur 12.

Omlooptijd van installaties en infrastructuur



Bron: Philibert and Pershing 2002; bewerking PBL

Omlooptijd, uitgedrukt in levensduur van installaties en infrastructuur, is een factor bij het bepalen van urgentie van adaptatiemaatregelen.

Het adaptief vermogen van de verschillende sectoren in Nederland laat een zeer gevarieerd beeld zien (zie Bijlage 2). Nederland is een goed georganiseerd land maar is in belangrijke mate nog ingesteld op het 'oude klimaat'. De voor Nederland essentiële adaptatieopgave op het gebied van de veiligheid tegen overstromen is goed belegd in het Deltaprogramma. Gegeven de goede organisatie, de duidelijke verdeling van verantwoordelijkheden en de beschikbare middelen in het Deltafonds is het adaptief vermogen groot, ondanks de lange omlooptijd van de maatregelen. Uit onze risicoanalyse in hoofdstuk 3 komt naar voren dat in aanvulling op het Deltaprogramma op basis van waarschijnlijkheid en impact die zij kunnen veroorzaken, extra aandacht nodig is voor de robuustheid van elektriciteits-, ICT- en transportnetwerken, verkeershinder, gezondheidseffecten, natuurbranden en gevolgen voor de ecologische waterkwaliteit en natuur. Vanwege de lange omlooptijd is aandacht voor klimaatadaptatie bij investeringen in vitale infrastructuur (elektriciteits- ICT- en transportnetwerken) en de ruimtelijke inrichting het meest urgent.

4.2 Maatschappelijk belang van risicobeheersing

Bij het beoordelen van klimaatgerelateerde risico's op hun urgentie om tot aanpassen aan klimaatverandering over te gaan, speelt de maatschappelijke context een belangrijke rol. De uitbraak van een nieuwe dierziekte met grootschalige ruimingen tot gevolg wordt anders beleefd dan omgewaaide bomen op elektriciteitsleidingen ten gevolge van een hevige storm. Het eerste voorbeeld kan tot grote maatschappelijke onrust leiden, die niet direct te verkla-

ren is uit bijvoorbeeld de geleden economische schade. Met andere woorden: de beleving van het risico verschilt, waarbij dit verschil niet geheel gevangen kan worden in schade of slachtoffers. Het verschil kan wel worden begrepen door te kijken naar de kwalitatieve eigenschappen van een risico.

De volgende kwalitatieve aspecten spelen een rol bij het beoordelen van risico's gerelateerd aan klimaateffecten (RIVM 2003, RLI 2014, BZK 2009):

- Verwijtbaarheid en verantwoordelijkheidsverdeling
Is de overheid (of het bedrijfsleven) verantwoordelijk voor een bepaalde gebeurtenis of veiligheid op een bepaald gebied? Had zij zaken anders kunnen of moeten regelen?
- Rampzaligheid, beleving en (on)natuurlijkheid
Draagt dit risico de mogelijkheid tot een catastrofe in zich? Wat is het ergst denkbare scenario? Kan men zich de gevolgen enigszins voorstellen? Heeft men iets dergelijks (op kleinere schaal) al eens meegemaakt? Is er sprake van een "act of God" of falend menselijk handelen?
- Beheersbaarheid
Zijn er handelingsperspectieven voor zowel burger, bedrijven als overheid om iets te doen aan het risico? Of zit men als een rat in de val?
- Billijkheid
Hoe is het risico verdeeld? Wie profiteert en wie draagt de lasten? Is die lastenverdeling te rechtvaardigen? Zijn er kwetsbare groepen in het geding en worden daarvoor wel/niet extra maatregelen ter bescherming getroffen?

Het antwoord op de gestelde vragen kan aanleiding geven om een risico anders te behandelen dan men op basis van alleen kwantitatieve gegevens over schade en slachtoffers zou doen. De perceptie van een risicotolle gebeurtenis wordt beïnvloed door onbekendheid met het risico en de gevolgen. Het handelingsperspectief van de bevolking hangt af van de ervaring die men heeft met een risico of gebeurtenis en de mogelijkheden die men heeft om de eigen situatie te beheersen. Het vertrouwen in overheid en bedrijfsleven draait vooral om de (gevoelde) mate van verwijtbaarheid: had men iets kunnen doen om de gebeurtenis te voorkomen of te beheersen?

In de NRB wordt er ook aandacht gegeven aan de maatschappelijke beleving van risico's. De NRB-systematiek biedt een manier om bovengenoemde aspecten te beoordelen en op te nemen in de classificatie van risico's voor het (vijfde) vitale belang, sociale en politieke stabiliteit (BZK 2009). Hierbij worden drie criteria onderscheiden: (1) verstoring van het dagelijks leven, (2) aantasting democratische rechtstaat en (3) sociaalpsychologische impact en maatschappelijke onrust.

In de tabellen in hoofdstuk 3 is bij de beoordeling van impact voor personen de verstoring van het dagelijks leven meegewogen in het aantal getroffenen. Voor rampen met een natuurlijke oorzaak, waar we klimaatverandering ook onder rekenen, speelt het criterium 'aantasting democratische rechtstaat' niet, hoewel Luijff (2003) aangeeft dat indirekte (cross-sectorale) effecten een probleem kunnen vormen voor het handhaven van de openbare orde als gevolg van uitval van bijvoorbeeld communicatiemiddelen. In de NRB-methodiek leidt uitval van communicatiemiddelen echter niet tot een score op het criterium 'aantasting democratische rechtstaat'. Het derde criterium, sociaalpsychologische impact en maatschappelijke onrust, sluit nauw aan bij de hierboven genoemde kwalitatieve aspecten.

Zo zullen sommige klimaateffecten alleen in zeer extreme gevallen tot maatschappelijke onrust leiden: meer vertragingen op de weg door hevigere regenval is daar een voorbeeld van. Op basis van de overwegingen in de vorige alinea is ook te begrijpen waarom: mensen zijn bekend met het fenomeen 'regenval' en weten wat ze kunnen doen (beheersbaarheid). De oorzaak is bekend en natuurlijk, en ook de lasten zijn ongeveer gelijk verdeeld. Heel anders ligt het met een mogelijke uitbraak van een nieuwe dierziekte, die voor grootschalige ruimingen zorgt. De ziekte is onbekend, er is weinig handelingsperspectief en de uitbraak had in de ogen van de getroffenen voorkomen moeten worden (verwijtbaarheid). De kans op

maatschappelijke onrust is nu vele malen groter. Bij het afwegen welke maatregelen er genomen kunnen worden om Nederland aan te passen aan klimaatverandering, zal dus rekening gehouden moeten worden met de eerder genoemde kwalitatieve aspecten van risico's.

Lokale gebeurtenissen kunnen veel onrust veroorzaken

Lokale gebeurtenissen kunnen uitgroeien tot zaken die veel maatschappelijke onrust veroorzaken. Een voorbeeld daarvan is wateroverlast door hevige regenval. Dit kan op lokale schaal tot reacties leiden die niet in verhouding staan tot de getalsmatige omvang van de schade. Zo'n voorbeeld heeft zich voorgedaan in Kockengen (provincie Utrecht) in de zomer van 2014. Er werden gedurende drie dagen zo'n 900 mensen getroffen en er waren 5 woningen met grote waterschade, enkele auto's ondergelopen en de landbouw leed schade. De totale schade wordt geschat op 300.000 tot 400.000 euro. Inmiddels is er voor 20 miljoen euro aan maatregelen toegezegd, onder andere voor de verbetering van wegen.

De kosten waren vermoedelijk veel lager uitgevallen als de infrastructuur destijds meteen was aangepast. De gemeente Kockengen heeft op dit moment plannen om verder uit te breiden in overstromingsgevoelig gebied. Hoge herstekosten kunnen worden vermeden door klimaatadaptatie mee te nemen in deze uitbreidingsplannen.



Wateroverlast in Kockengen door hevige regenval (Foto: Remko de Waal, ANP)

4.3 Van beleidsurgentie naar strategie

Als duidelijk is dat een klimaateffect tot risico's voor de samenleving leidt en als duidelijk is dat er beleidsurgentie is om dit risico te beperken, dan blijft de vraag over: wat te doen? Het kiezen van een strategie of maatregel wordt bepaald door de combinatie van de eigenschappen van het risico en van de beleidscontext, terwijl daarnaast ook de beschikbare mogelijkheden en middelen om iets te doen een rol spelen. Beschadigingen aan drinkwaterleidingen door het wrikken van boomwortels bij windstoten vragen om een andere

strategie dan arbeidsverlies en medische kosten door verlengingen en intensivering van het hooikoortsseizoen. De omlooptijd van het drinkwaternet is groot en het ligt voor de hand om adaptatiemaatregelen te koppelen aan regulier onderhoud. Het beperken van de effecten van hooikoorts zal eerder gezocht worden in de hoek van gedragsadviezen en de ontwikkeling van medicijnen.

We onderscheiden drie hoofdtypen adaptatiestrategieën: preventie, gevolgbeperking en herstelbevordering (Runhaar et al 2014). Bij elk van die drie hoofdtypen kan vervolgens worden gekozen voor flexibele of structurele maatregelen. Flexibele maatregelen kunnen snel worden ingezet, terwijl structurele maatregelen een grotere omlooptijd hebben. De keuze voor flexibel of structureel wordt dan ook bepaald door de omlooptijd van de betrokken sector of het systeem en de adaptatiecapaciteit. Zijn er mogelijkheden en is er de noodzaak om snel en gericht te reageren? Dan kan een flexibele maatregel bijvoorbeeld een nieuwe technologie adequaat zijn. Flexibele maatregelen kunnen direct worden ingezet en worden bijgestuurd naar behoeften.

De keuze voor een strategie hangt in de eerste plaats af van de mate van de onzekerheid omtrent mogelijke risico's, die afhangt van de beschikbare kennis en de betrouwbaarheid daarvan (zie paragraaf 3.1 en figuur 11). Hoe groter de onzekerheid hoe meer het beleid zich allereerst zal focussen op monitoring en surveillance. Een voorbeeld hiervan is de monitoring van infectieziektes, waar een goed werkend systeem voor bestaat. Ook maatregelen die tot doel hebben respons en herstel te bevorderen, mocht een klimaateffect toch optreden, kunnen ingezet worden bij grote onzekerheid omtrent een risico.

Als er meer zekerheid is omtrent een risico, kunnen andere maatregelen een optie zijn. De onzekerheid wordt dan meegenomen in een afweging van de kosten en de baten van mogelijke maatregelen.¹¹ Startpunt voor een afweging van kosten en baten zijn de risico-eigenschappen impact en waarschijnlijkheid. Van belang zijn zowel de mogelijke omvang van één enkele gebeurtenis, als de verwachte impact op jaarbasis. Een lage impact op nationale schaal voor één enkele gebeurtenis wil dan ook niet zeggen dat er geen maatregelen genomen hoeven te worden. De jaarlijkse schade in Nederland door kleine, lokale overstromingen wordt in dezelfde ordegrootte geschat als de verwachtingswaarde voor de jaarlijkse gemiddelde schade van een overstroming van dijkring 14.¹² Bovendien neemt de wateroverlast toe ten opzichte van de huidige situatie door de toename van extreme buien als gevolg van klimaatverandering.

¹¹ In Nederland bestaat hiervoor het instrument van de MKBA (Romijn and Renes 2013a). De toepassing van een MKBA bij klimaatadaptatie biedt een goed kader om alle relevante aspecten systematisch in beeld te brengen. Het verdient dan ook aanbeveling om de MKBA in een vroeg stadium toe te passen in het proces van projectontwikkeling (Koetse, Koomen et al. 2011; Romijn and Renes 2013a; Romijn and Renes 2013b).

Tekortschietende kennis over de projecteffecten kunnen in de praktijk knelpunten zijn bij de kwantificering van kosten en baten. Daarnaast kunnen onzekerheden bij projecten met een lange tijdshorizon een dermate grote rol spelen, dat op zijn best alleen nog bandbreedten in de projecteffecten zijn aan te geven. Lange termijn projecten bieden vaak wel de gelegenheid voor aanpassingen in de tijd (fasering, dimensionering in stappen, koppeling met regulier onderhoud etc.). In de toekomst kan dan met de daar beschikbare kennis het project worden aangepast op de daan geldende behoeften en mogelijkheden. Deze vorm van adaptief management zal echter niet altijd mogelijk zijn (rioolbuizen bijvoorbeeld stop je eenmalig in de grond voor een groot aantal decennia en bieden in de tussentijd geen mogelijkheden om anders te dimensioneren). In dat geval kan worden overwogen om te kiezen voor een zogenaamde 'minimax regret approach' (spijtminimalisatie) of in het uiterste geval het voorzorgsbeginsel te hanteren (Van den Bergh 2004; Koetse, Koomen et al. 2011).

¹² De schade van een overstroming van dijkring 14 wordt geschat op enige tientallen miljard euro (NRB 2010). De kans van deze overstroming ligt in de ordegrootte van 1:10.000. De verwachtingswaarde voor de schade ligt daarmee rond de 5 miljoen Euro per jaar voor dijkring 14. De jaarlijkse schade van wateroverlast in Nederland schatten wij in de ordegrootte van tien miljoen euro (Verbond van Verzekeraars 2014). In 2014 kostte wateroverlast in Kockengen een paar honderdduizend euro. In datzelfde jaar waren er meer ernstige situaties, zoals Opheusden waar deze zomer 20 huizen waterschade opliepen en ook de bibliotheek behoorlijke schade opliep door lekkage (Omroep Zeeland 2014, Ouderenzjournaal 2014). De schade door wateroverlast per woning ligt daarbij rond de 1000 Euro (Interpolis 2010). De twee gebeurtenissen hebben dus op jaarbasis dezelfde ordegrootte van schade. Daarbij moet nog worden aangetekend dat dat de overstromingskansen van dijkring 14 alleen maar omlaag zullen gaan door het nieuwe beleid in het Deltaprogramma, terwijl de kans op extreme regenval en de intensiteit van de buien toe zal nemen onder invloed van klimaatverandering.

Bij de keuze voor preventieve of gevolgbeperkende maatregelen, is het belangrijk om oog te hebben voor kansen in de vorm van verandermomenten. Men kiest voor preventie als het risico zo groot is, dat men wil voorkomen dat het misgaat, of als er op een bepaald moment voor relatief geringe kosten een grotere robuustheid kan worden gerealiseerd. Een voorbeeld hiervan is het verstevigen van elektriciteitsmasten of het vergroten van de capaciteit van het riool vervanging of vernieuwing. Bij een lagere urgentie of hoge kosten van preventie kan er ook worden gekozen voor gevolgbeperking. Gevolgbeperking kan ook een rol spelen bij hele snelle veranderingen of grote onzekerheden rondom het risico of als er geen preventiemaatregelen voor handen zijn. Het gebruik van noodaggregaten in ziekenhuizen is hier een voorbeeld van. Ten slotte kan er ook voor gekozen worden om de herstelkosten te dragen als de gebeurtenis zich voordoet. Het ligt voor de hand om deze strategie alleen te kiezen bij minder ernstige problemen, waarvan de urgentie klein is. Het voordeel van deze maatregel is dat het nooit tot overinvesteringen leidt, maar het aspect verwijtbaarheid moet daarbij wel goed in het oog gehouden worden. De betrokkenen zullen goed op de hoogte gebracht moeten worden van de mogelijke gevolgen van bijvoorbeeld wateroverlast of uitval van elektriciteit en over de mogelijkheid om daarvoor een schadevergoeding te krijgen.

Vragen veranderingen zorgvuldige planning en duurt het jaren voordat adaptatiemaatregelen kunnen worden uitgevoerd? Dit betekent dat de omlooptijd groot is en de reactietijd laag. Structurele maatregelen, zoals het benutten van verandermomenten en wet- en regelgeving zijn dan op hun plaats. Dit betreft vaak veranderingen in de ruimtelijke ordening en stedenbouw of infrastructuur. Deze processen zijn traag, maar bieden juist kansen om structurele aanpassingen aan klimaat te realiseren, zoals een gebiedsgerichte aanpak om lokale overstromingen door extreme regenval te voorkomen. In Tabel 4 worden de verschillende typen maatregelen beschreven, waarbij een voorbeeld wordt gegeven voor elk hoofdtype.

Ontwikkelen adaptatiestrategie is maatwerk

Gezien het diverse karakter van de effecten van klimaatverandering, de daaruit voortvloeiende risico's en kansen, en de benodigde inzet van vele partijen is de transitie naar een klimaatbestendiger Nederland geen eenvoudige opgave. In beginsel is er al veel kennis en ervaring met maatregelen waarmee klimaatgerelateerde risico's in de verschillende domeinen beheerst kunnen worden. Het feit dat het klimaat nu verandert en over het algemeen een duidelijke richting heeft, vraagt wel een herijking van de manier van werken en op onderdelen een aanpassing van de inzet en dimensionering van de verschillende maatregelen. Per domein is echter de opgave zeer verschillend evenals het type maatregelen dat passend en effectief is. Een eerste globaal overzicht van de mogelijke preventieve, gevolgbeperkende en herstelmaatregelen voor een aantal domeinen laat een enorm gevarieerd beeld zien (zie bijlage 3). Het ontwikkelen van een effectieve strategie is dan ook maatwerk.

Tabel 4.

**Enkele voorbeelden van preventieve, gevolg-beperkende en herstelmaatregelen
(zie Bijlage 3 voor een uitgebreider overzicht per sector).**

Strategie	Type Maatregel	Voorbeeld klimaatrisico
Preventie	Flexibel	Bewustwording vergroten
		Ziekte en sterfte door hittestress in steden, nieuwe infectieziekten
	Structureel	Nieuwe technologie inzetten
		Verkeersongevallen en beperkte verkeerscapaciteit door extreme regenval
		Monitoring en surveillance
		Nieuwe infectieziekten mens en dier
		Redundantie aanbrengen in systemen
Gevolg-beperking	Flexibel	Gebiedsgerichte aanpak (o.a. stedelijke herstructureren)
		Ziekte en sterfte door hittestress in steden; lokale wateroverlast door extreme regenval en doorbraak regionale keringen
		Regulier onderhoud uitbreiden of aanpassen (meekoppelen of mainstreamen)
		Uitvallen elektriciteitsvoorziening door omwaaien elektriciteitsmasten
		Normstelling, wet- en regelgeving
		Ziekte en sterfte door hittestress in steden; verslechtering waterkwaliteit door temperatuurstijging
	Structureel	"Incident-management"
		Lokale uitval ICT en transport door natuurbranden
Herstel	Flexibel	Voorlichting en gedragsadviezen
		Ziekte en sterfte door hittestress in steden
	Structureel	Evacuatieplannen
		Overstroming door dijkdoorbraak
		Zelfredzaamheid verhogen (o.a. door generatoren en noodvoorraden)
	Flexibel	Lokale uitval elektriciteitsvoorziening door extreme regenval of langdurige hitte/droogte
		Vervanging materiaal
		Hinder (spoor-) wegvervoer door hitte
		Compensatie voor schade (o.a. noodfondsen, verzekeringen)
		Oogstverlies en schade aan woningen door wateroverlast

5 Referenties

- AGF (2014), *2014: Veel schade door wateroverlast*. URL:
<http://www.groentennieuws.nl/artikel/120011/2014-Veel-schade-door-wateroverlast>
- Alblasserdams nieuws (2014), *Drinkwaterleiding breekt; deel Streefkerk zonder water*. URL:
<http://www.alblasserdamsnieuws.nl/wordpress/tag/leiding/>
- Algemene Rekenkamer (2012), *Adaptatie aan klimaatverandering: strategie en beleid*. Den Haag: Algemene Rekenkamer.
- Attema et al. (2014), *Extreme precipitation response to climate perturbations in an atmospheric mesoscale model*, Env. Res. Lett (9-1).
- Bergh van den, J. C. J. M. (2004), *Optimal climate policy is a utopia: from quantitative to qualitative cost-benefit analysis*. Ecological Economics 48(4): 385-393.
- Biesbroek, G. R., Termeer, C. J. A. M. et al. (2014), "Rethinking barriers to adaptation: Mechanism-based explanation of impasses in the governance of an innovative adaptation measure." Global Environmental Change 26(0): 108-118.
- Bollinger, L. A. (2014), *Fostering Climate Resilient Electricity Infrastructure*. Delft: Technische Universiteit Delft, thesis.
- Braakhekke, W. G., Berendse, F., De Jong, M., Van Kreveld, A., en Van Winden, A. (2014), *Klimaatverandering en natuur. Een verkenning van risico's, kansen, en aangrijppingspunten voor klimaatadaptatiebeleid*. Wageningen: Bureau Stroming en Wageningen UR.
- Brinke, W.B.M ten, Kolen, B., Dollee, A., Van Waveren, H. en K. Wouters, (2010), *Contingency planning for large-scale floods in the Netherlands*. Journal on Contingencies and Crisis management 18 (1): 55-69.
- Bruggeman, W. en Dammers, E. (2013), *Deltascenario's eindrapport 2012-2013*. Delft: Deltares, Planbureau voor de Leefomgeving, Koninklijk Meteorologisch Instituut, Centraal Planbureau en Landbouw Economisch Instituut.
- Burch, S. (2010), "Transforming barriers into enablers of action on climate change: Insights from three municipal case studies in British Columbia, Canada." Global Environmental Change 20(2): 287-297.
- BZK (2009 - 2013), *Nationale Veiligheid. Werken met scenario's., risicobeoordeling en capaciteiten in de Strategie Nationale Veiligheid*. Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- Clar, C., Prutsch, A. et al. (2012), *Barriers and guidelines in adaptation policy making: Taking stocks, analyzing congruence and providing guidance*. Wenen: Institute of Forest, Environmental, and Natural Resource Policy.
- CPB en PBL (2006), *Welvaart en Leefomgeving - een scenariostudie voor Nederland in 2040*. Den Haag: CPB/PBL.
- Dam, ten M. C. (2013), *Naar een nuchtere kijk op risico's*. Haarlem: Provincie Noord-Holland.
- De Gelderland (2010), *Zes hoogspanningsmasten omgewaaid*. 14 juli 2010. URL:
<http://www.gelderlander.nl/regio/achterhoek/zes-hoogspanningsmasten-omgewaaid-1.3022380>
- De Graaff, R. J. (2011), *Omgevingsanalyse Sturing Nieuwbouw en Herstructurering*. Leiden: ORG-ID.
- De Morgen (2010), *Drinkwaterleiding in Olen lekgeslagen*. 22 november 2010. URL:
<http://www.demorgen.be/binnenland/drinkwaterleiding-in-olen-lek-geslagen-a1185800/>
- Deltacommissie (2008), *Samen werken met water*. Den Haag: Deltacommissie.
- Deltaprogramma (2014), *Deelprogramma Nieuwbouw en Herstructurering - Synthesizedocument*. Den Haag: Deltaprogramma.

- Dessai, S. en Van de Sluijs, J. (2007), *Uncertainty and Climate Change Adaptation - a Scoping Study*. Utrecht: Copernicus Institute of the University of Utrecht.
- Doll, C. en Sieber, N. (2011), *Weather - Deliverable 2, annex 3: Vulnerability Assessment for Road Transport*. Karlsruhe: Fraunhofer-ISI.
- Enei, R., Doll, C. et al (2011), *Weather - Deliverable 2: Vulnerability of Transport systems - main report*. Karlsruhe: Fraunhofer-ISI.
- Europese Commissie (2013), *Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's, een EU-strategie voor aanpassing aan klimaatverandering*. Brussel: Europese Commissie.
- Hilbers, H. en Snellen, D. (2010), *Hoe bestendig zijn de scenario's uit de WLO?* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Hilbers, H., Snellen, D. et al. (2012), *The Netherlands in 2040: A country of regions - Spatial Outlook 2011*. Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Hoogheemraadschap van Rijnland (2009), *Flood control in the Netherlands*. Leiden: Hoogheemraadschap van Rijnland.
- Hoogvliet, M., Van der Ven, F. et al. (2012), *Schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied*. Delft: Deltares.
- HR Wallingford (2012). *Climate Change Risk Assessment - Methodology Report*. Londen: Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra).
- Hulme, M., Adger, W.N. et al. (2007), *Limits and barriers to adaptation: four propositions*. Norwich (Verenigd Koninkrijk): Tyndall Centre for Climate Change Research.
- Innovation Booster (2015), *Een klimaatadaptief Nederland: sneller, makkelijker en goedkooper*.
- Interpolis (2010), *Schade door wateroverlast*. URL: <https://www.interpolis.nl/over-interpolis/media/nieuwsberichten/2010/Paginas/herfstweer.aspx>
- IPCC (2007), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*. Cambridge, Cambridge University Press, United Kingdom en New York, USA: IPCC.
- IPCC (2010), *Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties*. Cambridge, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA: IPCC.
- IPCC (2013), *Climate change 2013, the physical science basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5*. Cambridge, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA: IPCC.
- IPCC WGII (2014), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA: IPCC.
- KNMI (2013), *Nader verklaard. Hittegolf*. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. URL: <http://www.knmi.nl/cms/content/28253/hittegolf>
- KNMI (2014a), *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland. Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.
- KNMI (2014b), *Hoe vaak komt extreme neerslag zoals op 28 juli tegenwoordig voor, en is dat anders dan vroeger?* De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. URL: http://www.knmi.nl/cms/content/120817/hoe_vaak_komt_extreme_neerslag_zoals_op_28_juli_tegenwoordig_voor_en_is_dat_anders_dan_vroeger
- KNMI en PBL (2015 in prep), *Klimaatverandering. Samenvatting van de IPCC rapporten en de vertaling naar Nederland*. De Bilt/ Den Haag.
- Klopstra, D. en Kok, M. (2009), *Van neerslag tot schade*. Lelystad: HKV lijn in water, Twente University, KNMI, eindrapport.

- Knoop, J. M., Bouwman, A. et al. (2013), *Sensitivity of the ESPON Climate framework, on the basis of the case study on flooding in the Netherlands*. In: European Climate Vulnerabilities and Adaptation - A Spatial Planning Perspective, P. Schmidt-Thomé and S. Greiving. Chichester (Verenigd Koninkrijk): Wiley Blackwell.
- Koetse, M., Koomen, E. et al. (2011), *Klimaatverandering en klimaatonzekerheid in MKBA's*. Amsterdam: Vrije Universiteit.
- Kok, M. (2005). *Een waterverzekering in Nederland: mogelijk en wenselijk?* Lelystad: HKV lijn in water.
- Luijf, H. A. M., Burger, H.H. et al. (2003), *Bescherming vitale infrastructuur; Quick-scan naar vital producten en diensten (managementdeel)*. Den Haag: TNO.
- Luijf, H.A.M. en Van Oort, S.H. (2014), *Klimaatadaptatie en de sector Informatie- en Communicatie Technologie (ICT)*. Den Haag: TNO, rapport 2014 R11293.
- Maas, N. en Vogel, R. (2014), *Klimaatverandering en transport en infrastructuur. Actualisatie van de risico's en kansen voor klimaatadaptatiebeleid*. Delft: TNO, rapport 2014 R11324.
- Mastrandrea, M. en Mach, K. (2011), "Treatment of uncertainties in IPCC Assessment Reports: past approaches and considerations for the Fifth Assessment Report." *Climatic Change* 108(4): 659-673.
- Mastrandrea, M., Mach, K. et al. (2011), "The IPCC AR5 guidance note on consistent treatment of uncertainties: a common approach across the working groups." *Climatic Change* 108(4): 675-691.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2013), *Klimaatagenda: weerbaar, welvarend en groen*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Moser, S. C. en Ekstrom, J.A. (2010), "A framework to diagnose barriers to climate change adaptation." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(51): 22026-22031.
- Must en Witteveen en Bos (2014), *Waterbestendige Westpoort, pilotstudie vitaal en kwetsbare functies in de haven van Amsterdam*. Amsterdam: Must, Deventer: Witteveen en Bos.
- Nijhuis, L. (2014), *Climate Adaptation in the Rotterdam Region - a Practitioners story*. Presentatie gegeven op het symposium 'The Governance of Adaptation to Climate Change', Utrecht 31 oktober. URL: http://www.kennisvoorklimaat.nl/gfx_content/documents/bijeenkomsten/governance%20of%20adaptation%202014/Climate%20Adaptation%20in%20the%20Rotterdam%20Region%20-%20a%20Practitioners%20story,%20Lissy%20Nijhuis.pdf
- Omroep Zeeland (2014), *Wateroverlast in Opheusden door wolkbreuk*. URL: <http://mobiel.omroepzeeland.nl/inhoud/wateroverlast-opheusden-door-wolkbreuk-update-1255>
- Ouderendjournaal (2014), *Extreme regenval Opheusden beschadigt boeken*. URL: <http://www.ouderendjournaal.nl/gelderland/2014/07/11/19306/>
- Pant, R., Hall, J., Thacker, S., Barr, S. en Alderson, D. (2014), *National scale risk analysis of interdependent infrastructure network failures due to extreme hazards* Infrastructure Transitions Research Consortium Working Paper series.
- PBL (2007), *Zeespiegelstijging in het IPCC-rapport – betekenis voor Nederland*. Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2009), *Wegen naar klimaatbestendig Nederland*. Den Haag/Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2012), *Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2013), *Welvaart en Leefomgeving. Horizonscan*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2014), *Veilig wonen met water*. Infographic. Bilthoven. URL: <http://www.pbl.nl/infographic/veilig-wonen-met-water>

- PBL (2015a), *Wereldwijde klimaateffecten – Risico’s en kansen voor Nederland*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2015b), *Aanpassen aan klimaatverandering, kwetsbaarheden zien, kansen grijpen*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Phillibert, C. en Pershing, J. (2002), *Beyond Kyoto – Energy Dynamics and Climate Stabilisation*. Parijs: OECD/IEA.
- Productivity Commission (2012), *Barriers to Effective Climate Change Adaptation*. Canberra: Productivity Commission.
- Renn, O., en Klinke, A. (1998), 'Risk Evaluation and risk management for institutional and regulatory policy', Scoping paper prepared by AFTA-BW for ESTO project on 'Technological Risk and the Management of Uncertainty', conducted for the EC Forward Studies Unit.
- Rijnsdorp, A.D., Buisman, E., Beukers, R., Deerenberg, C., De Graaf, M., Kamermans, P., Poelman, M., Teal, L. en Turenhout, M. (2014), *Klimaatverandering: risico’s en kansen voor de Nederlandse visserij- en aquacultuursector*. Wageningen: IMARES Wageningen UR, rapport C096.14.
- Risbey, J. en Kandlikar, M. (2007), "Expressions of likelihood and confidence in the IPCC uncertainty assessment process." *Climatic Change* 85(1-2): 19-31.
- RIVM (2003), *Nuchter Omgaan met Risico’s*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, rapport 251701047/2003.
- RIVM (2013), *Nationale Risicobeoordeling 2012*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- RIVM (2015), *Nationaal Kompas Volksgezondheid, lemma Astma*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. URL: <http://www.nationaalkompas.nl/gezondheid-en-ziekte/ziekten-en-aandoeningen/ademhalingswegen/astma/omvang/>
- Rli (2003), *Verantwoorde risico’s, veilige ruimte*. Den Haag: Raad voor Verkeer en Waterstaat en de VROM-raad, advies 37.
- Rli (2014), *Risico’s gewaardeerd. Naar een transparant en adaptief risicobeleid*. Den Haag: Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.
- Romijn, G. en Renes, G. (2013a), *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyses*. Den Haag: CPB/PBL.
- Romijn, G. and G. Renes (2013b), Plannen voor de stad. Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.
- Runhaar, H., Gilissen, H.K., Uittenbroek, C., Mees, H., Van Rijswick, M. en Gerretsen, A. (2014), *Publieke en/of private verantwoordelijkheden voor klimaatadaptatie. Een juridis-ch-bestuurlijke analyse en eerste beoordeling*. Utrecht: Universiteit Utrecht.
- Schaap, B.F., Reidsma, P., Agricola, H. en Verhagen, A. (2014), *Klimaatrisico’s en -kansen voor de landbouw*. Wageningen: PRI Wageningen UR.
- Schaik, L van, Dinissen, R., Maasen, E. en Vos, J. (2015), *International consequences of climate change: implications for Dutch Foreign Policy*. Den Haag: Instituut Clingendael.
- TenneT (2010), *T-prognoses - nut en noodzaak*. Arnhem: TenneT TSO B.V.
- Verbond van Verzekeraars (2014), *Zware regenval levert forse schade op*. URL: <https://www.verzekeraars.nl/actueel/nieuwsberichten/Paginas/Zware-regenval-levert-forse-schade-op.aspx>
- Vink, M. J. en Mulligen, E. (2013), *Evaluatie Lerend Proces Delta Programma IJsselmeergebied*. Lelystad: Delta Programma IJsselmeergebied.
- Vogel, R., Luijif, E., Maas, N., Dijkema, G. en Zielstra, A. (2014), *Klimaatadaptatie en energie-infrastructuur. Actualisatie van de risico’s en kansen door klimaatverandering op de Nederlandse energie-infrastructuur*. Den Haag: TNO, rapport 2014 R11294.
- Waterforum (2014), *Lastige Duits-Nederlandse samenwerking langs de Rijn bij Lobith*. URL: <http://www.waterforum.net/Nieuws/8385-Lastige-Duits-Nederlandse-samenwerking langs-de-Rijn-bij-Lobith>

- WRR (2014), *Consistent maatwerk – handreikingen voor dossieroverstijgend risico- en veiligheidsbeleid*. Den Haag: Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid.
- Wuijts, S., Vros, C. et al. (2014), *Effecten van klimaat op gezondheid. Actualisatie voor de Nationale Adaptatiestrategie (2016)*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, rapport 121011001/2014.

Bijlage 1 Toelichting bij de beoordelingen naar impact en waarschijnlijkheid

Voor de beoordeling is in eerste instantie gebruik gemaakt van de verschillende deelstudies die zijn uitgevoerd door TNO, WUR, RIVM, Imares en Bureau Stroming (Luijf and Oort 2014, Vogel et al. 2014, Maas and Vogel 2014, Schaap et al. 2014, Braakhekke et al. 2014, Wuijts et al. 2014, Rijnsdorp et al. 2014). Waar mogelijk zijn deze vergeleken met scenario's die zijn uitgewerkt in het kader van de NRB (NRB 2009, NRB 2010).¹³ In een aantal gevallen is aanvullende informatie gebruikt om de inschatting te onderbouwen. Bij de inschatting van risico's is onderscheid gemaakt tussen economische risico's, sociale risico's (impact voor personen) en risico's voor natuur en milieu (risicodimensies). Bij de inschattingen zijn alleen die risico's aangegeven die als significant zijn beoordeeld.

Risico's worden bepaald door de natuurlijke variatie van het klimaat, door de blootstelling die daar het gevolg van kan zijn en door de kwetsbaarheid van de samenleving (Figuur 5 en tekstbox *Wat verstaan we onder risico's en adaptatie?* op p.9). In de toekomst zal door de klimaatverandering de natuurlijke variatie en daarmee ook de potentiële blootstelling veranderen. Ook de kwetsbaarheid verandert door toename van de bevolking, van de bebouwing, van de economische waarde, van onze afhankelijkheid van energie en ICT en door maatregelen die we nemen om onze kwetsbaarheid te verlagen. Die maatregelen hangen weer af van het adaptief vermogen van bepaalde sectoren. Voor de schatting van de risico's zijn we uitgegaan van de huidige kwetsbaarheid in combinatie met een klimaat zoals geschat in het meest ongunstige scenario voor 2050, namelijk het W+ scenario (KNMI 2014).

Zowel de potentiële impact als de waarschijnlijkheid zijn ingeschat in drie klassen. Deze inschatting is in grote lijnen gebaseerd op de methodiek zoals gehanteerd door de CCRA (HH HR Wallingford 2012) en binnen de NRB (NRB 2010). Daarbij is het belangrijk om te onthouden dat de grenzen van de klassen altijd arbitrair blijven en vooral een aanduiding zijn van ordegrootte. Het doel is om in grote lijnen een beeld te krijgen van de meest belangrijke risico's die Nederland kan lopen. Hieronder volgt een beschrijving per sector hoe we tot de beoordeling van het risico zijn gekomen. De totale beoordeling wordt gepresenteerd in de Figuren 8-10 in hoofdstuk 3.

¹³ In de NRB-systematiek wordt met 10 impactcriteria gewerkt, waarvan drie slachtoffers betreffen (doden, gewonden en ernstig getroffenen), drie de sociaalpsychologische stabiliteit betreffen (verstoring dagelijks leven, aantasting rechtstaat –met o.a. veiligheid-, sociaal psychologische impact –o.a. vertrouwen in de overheid, gevoel van onveiligheid), één de economische schade betreft en één de natuur- en milieuschade. Zie ook tekstbox *De Nationale Risicobeoordeling* op p.15.

Vitale infrastructuur

De vitale infrastructuur bestaat uit vele onderdelen, die een grote mate van onderlinge samenhang kennen (Figuur 6). Het transportsysteem (water, weg, rail, lucht en drinkwater), de energievoorziening en de ICT vormen dat deel van onze vitale infrastructuur dat direct getroffen kan worden door weersextremen of de gevolgen daarvan, zoals overstromingen. Door hun sterke onderlinge afhankelijkheid, kunnen ook andere onderdelen van de vitale infrastructuur worden getroffen. Dit kan tot een ontwrichting van de samenleving leiden, zoals het uitval van het betalingsverkeer door uitval van de elektriciteitsvoorziening of de uitval van hulpdiensten door de uitval van ICT-diensten. De elektriciteitsvoorziening speelt, samen met de ICT-voorzieningen een centrale rol in dit netwerk (Luijf et al. 2003).

De huidige energievoorziening is een mix van olie, gas en elektriciteit. De olie- en gasvoorziening is vrijwel ongevoelig voor weersextremen. Het is vooral de elektriciteitsvoorziening, waaronder ook de productie van elektriciteit, die kwetsbaar is voor weersextremen. De productie is nu vooral gevoelig voor het eventuele gebrek aan koelwater, maar wordt in de toekomst ook steeds meer afhankelijk van wind en zon en daarmee kwetsbaar voor meer vormen van weersextremen.

De energievoorziening en de ICT-infrastructuur kenmerken zich door een sterke gelaagdheid, in de vorm van (inter-)nationaal hoofdnetwerk, regionaal netwerk en lokaal distributienetwerk. Hoofd- en regionale netwerken, zoals het door TenneT beheerde hoofddistributienetwerk voor de elektriciteitsvoorziening,¹⁴ hebben ringvormige structuren (redundantie), waardoor uitval van componenten of zoals bij uitval van het distributienetwerk van aanleverende producenten van elektriciteit, niet direct tot uitval van diensten leidt. De lokale distributienetwerken hebben die ringvormige structuren niet, waardoor de kans op effecten relatief hoger ligt. De gelaagdheid houdt ook in dat de kans dat centrale onderdelen worden getroffen relatief klein is, maar dat de gevolgen navenant groot zullen zijn. De kans op het uitval van onderdelen ten gevolge van weersextremen in de lagere distributienetwerken is echter veel groter, terwijl de gevolgen veel kleiner zullen zijn. Het transport over de weg kent een vergelijkbare structuur met rijkswegen, provinciale wegen en met fijnmazige lokale netwerken van wegen en straten. Ook in deze netwerken is redundantie te herkennen, maar door de relatief lage snelheid en beperkte capaciteit leidt het gebruik van omwegen, in tegenstelling tot bij de elektriciteits- en ICT-voorziening, tot tijdverlies dat behoorlijk op kan lopen zeker als het om de uitval van rijkswegen gaat.

ICT

Het ICT-netwerk kenmerkt zich door gelaagdheid en door verschillende wijzen van distributie. In Nederland bevinden zich computer-, data- en schakelcentra, waaronder een paar van de belangrijkste internetknooppunten in de wereld. Transport van data gaat via kabels en door de lucht. Uitval van centrale onderdelen kan een grote impact hebben, zowel direct als indirect. In de NRB zijn een aantal ICT-scenario's uitgewerkt (NRB 2010, 2013). Het gaat hierbij weliswaar om moedwillige verstoring van diensten (software), maar ze geven wel een beeld van de mogelijke impact als centrale componenten van de ICT-infrastructuur uitvalLEN. In een van de scenario's wordt via de ICT grote delen van het elektriciteitsnetwerk platgelegd. Binnen twee dagen is de verstoring opgeheven, maar meer dan 1 miljoen mensen worden getroffen. De economische schade door omzetverlies wordt als gemiddeld tot groot ingeschat. In het andere scenario wordt moedwillig het IP-netwerk platgelegd en daarmee de telefonie en het betalingsverkeer. In dit scenario worden ook de communicatiemiddelen van hulpdiensten getroffen, waardoor de openbare orde en veiligheid worden bedreigd. De duur is minimaal twee dagen tot ca. één week. Ook hier gaat het weer om extreem veel getroffenen en om een aanzienlijke economische schade, onder meer door omzetverliezen.

¹⁴ Ook wel transportnetwerk voor de elektriciteit, hoofdstroomnetwerk of elektriciteitstransmissienetwerk genoemd.

Door TNO wordt een verstoring van een dergelijke omvang enkel voorstelbaar geacht bij ernstige overstromingen en bij uitval van centrale datacentra door oververhitting. Kabelverbindingen kunnen worden getroffen door grondzetting, omwaaïende bomen of blikseminslag. De gevolgen daarvan worden echter zeer klein ingeschat. Antennemasten kunnen omwaaïen door extreme windstoten of uitvallen door natuurbranden.¹⁵ Wateroverlast kan lokale schakelkasten treffen maar ook ondersteunende installaties (o.a. stroomvoorziening) voor centrale elementen, hetgeen een grote impact kan hebben.¹⁶ Ten slotte kan de uitval van ICT-knooppunten elders in de wereld behoorlijke gevolgen hebben voor Nederland.

Gebeurtenissen met relatief grootste risico's¹⁷

- grootschalige uitval ICT-diensten door uitval knooppunten elders in de wereld
score: waarschijnlijkheid – midden, impact economisch - midden, personen – groot
- grootschalige uitval ICT-diensten door oververhitting
score: waarschijnlijkheid – midden, personen – groot
- lokale uitval ICT door storm of natuurbranden (inclusief uitval hulpdiensten)
score: waarschijnlijkheid – midden, impact personen – midden

Elektriciteit

De productie en distributie van elektriciteit is het onderdeel van de energievoorziening dat het meest gevoelig is voor weerextremen. Aanvoer en distributie van olie en gas lopen enkel significante risico's bij grootschalige overstromingen. De verdeling van elektriciteit via het (internationale) hoofddistributienetwerk kan in de problemen komen door technische schade (zoals omwaaïen van masten) of door disbalans tussen vraag en aanbod. Deze disbalans kan worden veroorzaakt door uitval van productie-eenheden en door overbelasting, zowel binnen Nederland als daarbuiten (zie paragraaf 3.2). Tekort aan koelwater door te lage waterstanden ten gevolge van langdurige droogte kan één van de oorzaken zijn van het uitval van elektriciteitscentrales. Dit kan tot op zekere hoogte worden opgevangen, maar als te veel centrales tegelijkertijd moeten worden afgeschakeld, is de kans op uitval van het hele (internationale) hoofddistributienetwerk reëel. De gevolgen van zo'n zogenaamde black-out kunnen zeer ontwrichtend zijn voor de samenleving (NRB 2010). De kans dat een dergelijke extreme droogte zich voordoet zal aanzienlijk zijn rond 2050, maar of dit tot grootschalige uitval van de elektriciteitsvoorziening zal leiden, hangt onder andere af van de maatregelen die in de tussentijd worden genomen om de veerkracht van het systeem te vergroten.

Het hoofd- en regionale transmissienetwerk loopt veelal bovengronds en is daarmee relatief ongevoelig voor overstromingen. Wel kunnen hoogspanningsmasten omwaaïen: In 2010 vielen door windstoten bij Ulft hoogspanningsmasten om en kregen 30.000 klanten geen stroom. Dat zou >100.000 getroffenen betekenen. Herstel van de stroomvoorziening kostte ca. 1 uur (De Gelderlander 2010). In de diagrammen is deze mogelijkheid niet opgenomen. De lokale elektriciteitsnetwerken liggen vooral in de grond en kunnen worden beschadigd door grondzetting en omwaaïende bomen. Inundatie of blikseminslag kan koppelstations treffen en daarmee een behoorlijke impact hebben (Bollinger 2014). Alternatieve energieproductie op basis van wind- of zonne-energie kan enerzijds worden gezien als spreiding van risico's, maar maakt anderzijds de levering van elektriciteit wel gevoeliger voor meer vormen van weerextremen. Windenergieparken worden afgeschakeld bij te zware stormen. Door langdurige periodes van windstilte of droogte kan de elektriciteitsproductie onder druk komen te staan, waardoor de energieprijzen zullen stijgen.

¹⁵ Effect natuurbranden op basis van persoonlijke informatie

¹⁶ Dit item vormt een onderdeel van de 4 items die overstromingen en wateroverlast betreffen.

¹⁷ De terminologie in de beschrijving en de score van de gebeurtenissen in deze bijlage komt niet altijd volledig overeen met de termen die zijn weergegeven in de figuren 8-10. Om de figuren overzichtelijk te houden zijn de omschrijvingen daarin zo kort mogelijk gehouden. Hier is er een enkele keer voor gekozen om ze voor de duidelijkheid iets uitgebreider weer te geven.

Gebeurtenissen met relatief grootste risico's

- grootschalige uitval elektriciteitsvoorziening (met tal van cascade-effecten) door langdurige droogte of windstilte hier of in het buitenland.
score: waarschijnlijkheid – midden,¹⁸ impact economisch - groot, personen – groot
- regionale uitval elektriciteitsvoorziening door inundatie of blikseminslag
score: waarschijnlijkheid – midden, impact economisch - midden, personen – midden
- lokale uitval elektriciteitsvoorziening door grondzetting of omwaaien bomen
score: waarschijnlijkheid – groot, sociaal – klein
- stijgende energieprijzen op Europese schaal door koelwatertekorten of windstilte
score: waarschijnlijkheid – groot, impact economisch – klein

Transport

De hele transportsector (weg, rail, water en lucht) kan in toenemende mate hinder ondervinden van weersextremen als regenval, storm en droogte. Als de winters minder streng worden, zal de sector ook voordeel ondervinden. Net als bij de ICT en de elektriciteitsvoorziening kent met name de infrastructuur voor het wegtransport ook een gelaagdheid in de vorm van rijkswegen, provinciale wegen en lokale wegen, waarbij de kans op uitval van een rijksweg relatief kleiner is, maar de gevolgen veel groter.

De scheepvaart ondervindt hinder doordat de vaargeulen bij droogte ondiep worden. Als dit zeer regelmatig voorkomt, vormt het een vast onderdeel van de bedrijfsvoering. Extreme droogte met extreme lage waterstanden komen minder vaak voor maar leiden tot aanzienlijke economische schade voor de sector. Ook extreem hoog water kan de scheepvaart aanzienlijk belemmeren.

Het luchtverkeer ondervindt vooral hinder van winterse omstandigheden. Klimaatverandering zal voor deze sector derhalve eerder overwegend positieve effecten hebben.

Het railverkeer zal ook gebaat zijn bij het minder vaak voorkomen van winterse omstandigheden, maar zal daarentegen vaker getroffen worden door omgewaaide bomen en door hitte, waardoor schakelstations oververhit kunnen raken en de uitzetting van rails tot problemen kan leiden.

Het wegverkeer zal soortgelijke voor- en nadelen ondervinden. Hier kan uitzetting leiden tot uitval van bruggen. Daarnaast kunnen stormen en vooral extreme regenval zorgen voor een aanzienlijk aantal getroffenen en een omvangrijke economische schade. De gevolgen die het wegverkeer kan ondervinden bij extreme regenval worden groot ingeschat, maar de kennisbasis lijkt niet groot.¹⁹ Rail- en wegverkeer kunnen ook meer hinder ondervinden van natte branden in tijden van droogte.

Een aparte sector vormt het transport van drinkwater. Leidingen kunnen beschadigd worden door boomwortels tijdens een storm, vooral als die wortels losser zijn komen te zitten door

¹⁸ In de tekst wordt weliswaar aangegeven dat uitval in de toekomst mede wordt bepaald door mitigerende maatregelen die de sector in de toekomst mogelijk gaat nemen, maar voor de score van de waarschijnlijkheid is enkel uitgegaan van het klimaat in 2050. De kwetsbaarheid is ingeschat op basis van de huidige situatie.

¹⁹ Door TNO (Maas en Vogel 2014) wordt de impact als 'hoog' ingeschat, vooral op basis van een Europese inventarisatie van kosten voor wegtransport door weersextremen (Enei et al. 2011). De verkeersschade ten gevolge van regen en overstromingen wordt daarbij voor driekwart bepaald door schade aan de infrastructuur. Die schade zal in Europa echter vooral worden veroorzaakt door overstromingen (inclusief afschuivingen) die in Nederland vrijwel niet voor zullen komen. De overige kosten bedragen voor heel Europa ca. 200 miljoen euro. Voor Nederland zal dit bedrag daarom zeker lager zijn dan 100 miljoen euro per jaar (de zelfde bron geeft ook aan dat voor Nederland schattingen voor de schade voor de transportsector ten gevolge van regenval veel kleiner zijn dan voor de schade ten gevolge van storm, winterse omstandigheden of hitte (Dolle & Sieber 2011, tabel 30). Dat zou een reden kunnen zijn om de schade zelfs als 'laag' te kwalificeren).

hevige regenval.²⁰

Gebeurtenissen met relatief grootste risico's

- beperking scheepvaart door extreme waterstanden
score: waarschijnlijkheid – midden, impact economisch - groot
- verstoring weg- en railvervoer door omgewaaide objecten of bomen of door natuurbranden
score: waarschijnlijkheid – midden, impact economisch - midden, personen - midden
- verkeershinder (ongevallen en beperkte wegcapaciteit) door extreme windstoten en regenval
score: waarschijnlijkheid – groot, impact economisch - midden, personen - midden
- verstoring weg- en railverkeer door hitte (uitzetting, oververhitting)
score: waarschijnlijkheid – groot, impact economisch - klein, personen - klein
- beschadiging drinkwaterleidingen door wortels van omgewaaide bomen in combinatie met eerdere hevige regenval
score: waarschijnlijkheid – groot, impact economisch - midden, personen - midden

Landbouw, visserij en natuur

Landbouw²¹

De impact van klimaatverandering op de landbouw kan zowel positief als negatief uitvallen. Gemiddeld hogere temperaturen en CO₂-gehaltes kunnen de opbrengsten verhogen en de teelt van nieuwe gewassen mogelijk maken (bijvoorbeeld wijndruiven). Door meer en intense hagelbuien, wateroverlast (zie o.a. AGF 2014) en aanhoudende droogte kunnen daarentegen de oogstverliezen in de toekomst groter worden. Welke economische gevolgen dat kan hebben, is echter veel minder duidelijk. Voor kleinschalige effecten (o.a. veroorzaakt door wateroverlast en hagelbuien) zal dit vrijwel direct tot inkomstenderving leiden. Kleinschalige oogstverliezen zullen namelijk vrijwel geen effect hebben op de prijs. Het inschatten van de schade die de landbouw lijdt door droogte, is daarentegen veel lastiger, omdat droogte veel grootschaler is dan andere weerextremen. De daling van het aanbod kan zó groot zijn, dat de prijzen zullen stijgen, waardoor uiteindelijk economische schade voor de agrarische sector kan meevallen. De landbouwsector heeft altijd de nodige veerkracht getoond. De schade van één jaar met minder opbrengsten kan gecompenseerd worden door opvolgende jaren met goede inkomsten. Het zijn vooral opeenvolgende jaren met inkomstenderving door bijvoorbeeld droogte die een bedreiging vormen voor de landbouw.

De trend van de afgelopen decennia laat toenemende handel in landbouwproducten op wereldschaal zien. Dat brengt met zich mee dat de prijzen steeds meer gaan afhangen van de oogsten in andere landen (voor graan zijn de oogsten in de Oekraïne van belang bijvoorbeeld), waardoor de landbouw in Nederland steeds meer af gaat hangen van klimaateffecten elders in de wereld. Dit effect kan voor de landbouw ook positief zijn als oogsten in het buitenland zijn mislukt, maar dat heeft dan weer een prijsstijging voor de consumenten tot gevolg. In toenemende mate worden ook grondstoffen voor de landbouw uit het buitenland betrokken. Misopgisten door klimaatextremen elders kunnen daarmee leiden tot productieverlies in Nederland of tot grote prijsschommelingen. Naast de agrarische sector kunnen dergelijke prijsschommelingen ook andere Nederlandse handelsketens treffen (zie PBL

²⁰ Meestal zijn andere factoren de oorzaak van breuken in de drinkwaterleidingen, maar dergelijke gebeurtenissen geven wel een indruk van de mogelijke omvang (De Morgen 2010, Alblasserdams nieuws 2104). Die is meestal gering, maar het is niet uit te sluiten dat hoofdleidingen getroffen kunnen worden. De omvang zal dan veel groter zijn.

²¹ Onder landbouw wordt hier de hele agrarische sector inclusief de tuinbouw verstaan.

2015a).

Ten slotte kan met name stijging van de gemiddelde temperatuur leiden tot forse schade voor landbouwbedrijven door een toenemende kans op plagen of dierziektes. De sociaalpsychologische impact van dierziektes kan behoorlijk zijn, maar is vaak lokaal. De kennisbasis voor de relatie met klimaatverandering is echter zeer beperkt (PBL 2015a).

Gebeurtenissen met relatief grootste risico's

- oogstschade voor de landbouw door elkaar opvolgende droogteperiodes
score: waarschijnlijkheid – midden, impact economisch - groot
- oogstschade voor de landbouw bij overige extremen (wateroverlast, hagel)
score: waarschijnlijkheid – midden, impact economisch - midden
- prijsstijging voedsel door langdurige droogte elders in Europa
score: waarschijnlijkheid – midden, impact economisch - midden
- productieverlies Nederlandse bedrijven door klimaateffecten in het buitenland
score: waarschijnlijkheid – klein, impact economisch - klein
- prijsschommeling grondstoffen voor de agrarische sector en andere handelsketens
score: waarschijnlijkheid – groot, impact economisch - klein
- landbouwschade door plaag of dierziekte
score: waarschijnlijkheid – klein, impact economisch - groot

Visserij (Aquacultuur sector)

Er worden voor de visserij geen omvangrijke klimaatgerelateerde risico's verwacht met een redelijke waarschijnlijkheid van optreden in deze eeuw. Door temperatuurstijging kunnen de migratiepatronen van zeevissen verschuiven. Daarnaast kan verzuring van oceanen de visproductie negatief beïnvloeden. Deze effecten zijn echter hoogst onzeker en het is de verwachting dat de sector zich zal aanpassen (de verdeling van visrechten kan daar wel een probleem bij vormen). De binnenvisserij en schelpdiervisserij kan eveneens te maken krijgen met afnemende productie, maar ook hier is de verwachting dat de sector zich zal aanpassen.²²

Natuur

De natuurkwaliteit kan op verschillende manieren achteruit gaan door de gevolgen van klimaatverandering. Veel onderdelen van de Nederlandse natuur staan al onder druk door andere factoren, zoals verdroging, verzilting, eutrofiëring en versnippering. Klimaatverandering kan dit proces van achteruitgang versterken. De Nederlandse natuur kan verder onder druk komen te staan als er onvoldoende rekening wordt gehouden met natuur bij de implementatie van andere adaptatiemaatregelen zoals het versterken van keringen.

De effecten kunnen lokaal zijn en omkeerbaar, maar er kan ook onherstelbare schade optreden aan internationaal waardevolle natuurgebieden. De mogelijkheid bestaat dat het Europees gezien zeer waardevolle Nederlands stelsel van schorren en platen de zeespiegelstijging niet meer bij kan houden. Dat zal de komende eeuw al plaats vinden, maar zeer waarschijnlijk op beperkte schaal. Vanwege de geringe kennisbasis wordt het onwaarschijnlijk geacht dat dit deze eeuw al op hele grote schaal tot onomkeerbare effecten zal leiden. Ook de waardevolle natuurgebieden rond rivierarmen kunnen verdwijnen als ze te vaak worden getroffen door extreem lage waterstanden. Door temperatuurverandering verschuiven klimaatgordels en zullen soorten achteruitgaan en uiteindelijk geheel verdwijnen uit Nederland. Door stijging van de gemiddelde temperatuur kunnen ook de migratiepatronen van trekvogels en -vissen verschuiven naar gebieden die minder gunstige omstandigheden hebben voor vogels en vissen.

²² De huidige binnenvisserij bestaat uit ongeveer 200 bedrijven die in 2010 een gezamenlijke omzet hadden <10 miljoen euro (Rijnsdorp et al 2014).

De verhoging van de gemiddelde temperatuur kan het eutrofiëeringsproces versnellen, gebieden die afhankelijk zijn van regenwater zullen vaker last krijgen van watertekorten door de verwachte toename van perioden met droogte. Ook zullen habitatten de komende tijd al frequent te maken krijgen met lokale verstoringen door weersextremen; de impact wordt door de lokale schaal en omkeerbaarheid echter als klein ingeschat.²³

Klimaatverandering kan het proces van mineralisatie in veenbodems verhogen, waardoor de CO₂-uitstoot verhoogd wordt, naast een versnelling van de bodemdaling. Ten slotte kan bodemdaling en verandering in de hydrologische, chemische en biologische processen tot schadelijke effecten leiden op ons archeologisch bodemarchief.

Gebeurtenissen met relatief grootste risico's

- verlies van soorten door verschuiven van klimaatgordels
score: waarschijnlijkheid – klein, impact natuur - groot
- verdwijnen kwelders en wadplaten door te snelle stijging zeespiegel
score: waarschijnlijkheid – klein, impact natuur - groot
- verlies van soorten en habitatten door extreem lage waterstanden rivierarmen
score: waarschijnlijkheid – midden, impact natuur - groot
- veranderen migratiepatronen trekvogels en -vissen
score: waarschijnlijkheid – midden, impact natuur - groot
- tijdelijk verstoring habitatten door herhaaldelijk optreden extreme droogte
score: waarschijnlijkheid – midden, impact natuur - midden
- veranderingen door bodemdaling en hydrologische (verdroging), chemische en biologische processen in de bodem; verstoring archeologisch bodemarchief
score: waarschijnlijkheid – midden, impact natuur en milieu - midden
- versterking natuur- en milieueffecten door verdroging en vermeting
score: waarschijnlijkheid – midden, impact natuur en milieu – midden
- achteruitgang van soorten door verschuiven van klimaatgordels
score: waarschijnlijkheid – groot, impact natuur - midden
- verslechtering ecologische waterkwaliteit door temperatuurstijging (lokaal versterkt door lozing koelwater)
score: waarschijnlijkheid – groot, impact natuur - midden
- tijdelijk lokale verstoring ecosystemen door weersextremen (uitgezonderd extreme droogte)
score: waarschijnlijkheid – groot, impact natuur – klein
- extra uitstoot CO₂ door versterkte bodemdaling
score: waarschijnlijkheid – groot, impact natuur - klein

Volksgezondheid

De mens wordt nu al regelmatig geconfronteerd met weerseffecten die een nadelig effect kunnen hebben op gezondheid en zelfs tot (vervroegde) sterfte kunnen leiden. Naast de dreiging van overstromingen, stormen en blikseminslag, zullen het vooral weersextremen die

²³ Lokaal ondervinden soorten nu al hinder van het spuien van grote hoeveelheden zoet water vanuit het IJsselmeer op de Waddenzee. De impact hiervan is niet heel groot, maar de verwachting is dat door de klimaatverandering het spuiten kan toenemen en ook onregelmatiger kan worden. De kennisbasis is echter te gering om dit item op te nemen in het overzicht van de belangrijkste risico's (Figuur 10). Of de effecten positief of negatief zijn hangt sterk af van de invalshoek die wordt gekozen (statisch in de vorm van grenzen in de zoet-zout-overgangen die niet mogen worden overschreden of dynamisch in de vorm van zoet-zout-overgangssystemen waar de omstandigheden voortdurend wisselen). Bovendien is het nog niet duidelijk hoe het toekomstige spuiregime er uit zal zien. Dit wordt niet zozeer bepaald door het toekomstige afvoerregime van de IJssel maar vooral door het gebruik van de bufferende werking van het IJsselmeer en van het gebruik van pompen die in de toekomst geplaatst zullen worden als de capaciteit van het spuien onder vrij verval te gering is geworden door de stijging van de zeespiegel.

vrij direct zijn gekoppeld aan de stijging van de gemiddelde temperatuur, de grootste risico's met zich meebrengen. Het aantal en de intensiteit van hittegolven zullen toenemen, met de verwachting dat dit vooral in de binnensteden kan leiden tot het vervroegd overlijden van grote aantallen ouderen. De NRB maakt in een hittescenario schattingen van 1.000 - 10.000 slachtoffers (NRB 2010).

Verlenging en intensivering van het pollenseizoen zal leiden tot toename van hooikoorts- en astmaklachten en daardoor toename van het medicijngebruik en van het ziekteverzuim. Ononder astmapatiënten kan het aantal sterf gevallen toenemen. Het gaat daarbij om grote aantallen: 1.2 miljoen mensen hebben medicatie voor/tegen hooikoorts, bij astma ligt het huidige aantal rond de half miljoen (met in 2012 71 personen die aan deze aandoening zijn overleden (Nationaal Kompas Volksgezondheid, RIVM)). Verhoging van de temperatuur kan ook leiden tot een toename van het aantal Lymepatiënten. Denkbaar is verder het binnendringen van nieuwe infectieziektes die grote aantallen personen kunnen treffen. De kennisbasis voor de relatie met klimaatverandering is echter zeer gering.²⁴ Met name door de verwachte toename van eutrofiëring (blauwalgen) en van het aantal overstorten, zal de waterkwaliteit verslechteren en neemt de kans op (infectie)ziektes toe.

Elk jaar worden Nederlanders het slachtoffer van natuurverschijnselen in het buitenland. De kans dat deze gebeurtenissen in aantal en omvang toe zullen nemen als gevolg van klimaatverandering en daarmee de kans dat er meer Nederlanders slachtoffer worden van natuurgeweld, lijkt reëel. Het beroep op noodhulp door het buitenland op Nederland zal eveneens toenemen als het buitenland vaker wordt getroffen door natuurgeweld.

Gebeurtenissen met relatief grootste risico's:

- toename hooikoorts en astma door toename pollen
score: waarschijnlijkheid – groot, impact economie - midden, personen - midden
- hittestress in steden
score: waarschijnlijkheid – groot, impact personen – groot
- toename aantal Lyme patiënten
score: waarschijnlijkheid – groot, impact personen - midden
- toename (infectie)ziektes door verslechtering waterkwaliteit
score: waarschijnlijkheid – groot, impact personen - midden
- epidemie door voor Nederland nieuwe infectieziekten
score: waarschijnlijkheid – klein, impact economie - groot, personen – groot
- slachtoffers door extreme gebeurtenissen in het buitenland
score: waarschijnlijkheid – groot, impact personen – midden
- beroep op noodhulp vanuit het buitenland
score: waarschijnlijkheid – groot, impact economisch - klein

Overige

Overstromingen

Er zijn in de tabellen drie typen overstromingen opgenomen:

1) Bezwijken primaire kering(en). Het is onwaarschijnlijk dat we de komende eeuw getroffen zullen worden door een dergelijke overstroming, maar de gevolgen zullen zeer groot zijn (het bezwijken van meerdere secundaire kerings tegelijkertijd valt ook onder deze categorie).
score: waarschijnlijkheid - klein, impact economisch en personen – groot.

²⁴ De (denkbare) impact van infectieziektes kan heel hoog zijn, maar omdat er vrijwel geen (tot helemaal geen) aanwijzingen zijn dat dit op ons af komt c.q. kan komen – met als randvoorwaarde dat klimaatverandering daar een rol bij speelt-, wordt het (vooralsnog) onwaarschijnlijk geacht dat Nederland er de komende eeuw mee te maken zal krijgen.

2) Bezwijken secundaire kering. Bij gebeurtenissen met een kans van optreden kleiner of gelijk aan 1:100 zijn de schattingen voor de (primaire) economische schade lager dan 100 miljoen euro = score 'midden' (Kok 2005, HH Rijnland 2009, Klopstra en Kok 2009); De kans op slachtoffers is gering, maar grote delen tot zelfs hele polders kunnen langere tijd buiten gebruik zijn, met grote aantallen evacuees tot gevolg (inschatting sociale schade 'midden').

score: waarschijnlijkheid - midden, impact economisch en personen - midden;

3) lokale inundatie ofwel wateroverlast door overvloedige regenval (zoals in Kockengen in 2014). Nu al treden vrijwel jaarlijks dergelijke gebeurtenissen op en dit zal zeer waarschijnlijk in de nabije toekomst vaker gebeuren. De gevolgen zijn echter over het algemeen (zeer) beperkt (de schade van de wateroverlast in Kockengen in 2014 bedroeg minder dan 1 miljoen euro).

score: waarschijnlijkheid - groot, impact economisch en personen – klein.

Alle overstromingen leiden tot wateroverlast (inclusief doden en gewonden bij het bezwijken van primaire keringen), maar ook tot uitval van onderdelen van de vitale infrastructuur (Bollinger 2014:163-186 en Pant *et al.* 2014). Deze onderdelen zijn verder niet apart benoemd, omdat ze vrijwel altijd tegelijkertijd voor zullen komen (zeker bij overstromingen die het gevolg zijn van het bezwijken van keringen).

Een aanvullend scenario is het bezwijken van dijken in Duitsland dicht bij de Nederlandse grens. De meningen over de huidige kansen lopen sterk uiteen (Ten Brinke *et al.* 2010, Waterforum 2014). De economische schade is vergelijkbaar met het worst case scenario dat in de NRB is uitgewerkt voor het rivierengebied (het Rijn-IJssel scenario), namelijk 9 miljard euro. Het aantal doden zal beperkt zijn, maar het aantal getroffenen ligt in de ordegrootte van honderdduizend personen (NRB 2010).

score: waarschijnlijkheid - klein, impact economisch en personen – groot.

Grondzetting door daling grondwaterpeilen

Daling van grondwaterstanden kan onder meer leiden tot verzakking van woningen. De schattingen voor schades in 2050 lopen op tot 25 miljard euro (Hoogvliet 2012).

score: waarschijnlijkheid - midden, impact economisch - groot.

Bos- en bermbranden

De kans op bosbranden neemt toe als de kans op langere periodes met extreme droogte toeneemt. Natuurbranden kunnen het verkeer verstören (bijvoorbeeld de A1 en de A28, waar die over de Veluwe lopen) en negatieve effecten hebben op ICT-voorzieningen door uitval van steunmasten. Dit kan de communicatie van hulpdiensten belemmeren.

In het kader van de NRB is een natuurbrandscenario uitgewerkt voor de Veluwe. Het aantal getroffenen wordt ingeschatt rond de 60.000 (midden), de schade wordt klein ingeschatt. Op basis van de KNMI 2006-scenario's wordt waarschijnlijkheid geacht dat een natuurbrand van een dergelijke omvang deze eeuw op kan treden. Zie voor de scores bij ICT en transport.

Spanning in de Nederlands samenleving door politieke conflicten elders in de wereld

Nederland zal te maken krijgen met de gevolgen van klimaatverandering, maar de verwachting is dat de impact elders in de wereld veel groter zal zijn. Met name de armere landen zijn veel gevoeliger voor zeespiegelstijging, extremer regenval en langere periodes van droogte. De mogelijkheid wordt niet uitgesloten dat dit kan leiden tot omvangrijke stromen vluchtingen die een goed heenkomen willen zoeken in meer welvarende landen, zoals Nederland. Dit kan grote gevolgen hebben voor de Nederlandse samenleving, maar de onzekerheid over de waarschijnlijkheid is zeer groot.

score: waarschijnlijkheid - klein, impact personen – groot.

Bijlage 2 Adaptief vermogen van Nederland

In deze bijlage vatten we voor de verschillende thema's het adaptief vermogen samen (tabel B2.1). Het adaptief vermogen wordt in belangrijke mate bepaald door de mogelijke maatschappelijke of sectorale reactiesnelheid in verhouding tot de snelheid (en voorspelbaarheid) van de ongewenste gevolgen van de klimaatveranderingen. De reactiesnelheid hangt daarbij vooral af van de omloopijd van maatregelen (zie figuur 11 en 12) en van het bestuurlijk reactievermogen. Hoe meer bestuurslagen en andere actoren betrokken zijn, hoe complexer en trager doorgaans het afwegings- en besluitvormingsproces. Tabel B2.1 geeft per thema de belangrijkste bevindingen weer, uitgaande van de een geleidelijke en gematigde klimaatverandering conform de KNMI-scenario's en van een worstcasescenario.

Tabel B2.1

Indicatief overzicht adaptief vermogen van Nederland (Naar PBL 2009).

Thema	Adaptief vermogen		Toelichting adaptief vermogen
	Gematigde klimaatverandering 2-4 °C in 2100	Worstcase- klimaatverandering max. 6°C in 2100	
Waterveiligheid	Zeespiegelstijging	Groot	Groot tot 2100; na 2100 onzeker Idem
	Rivieraafvoeren	Groot	
Water	Zoetwatervoorziening	Beperkt	Beperkt
	Waterkwaliteit	Beperkt	Beperkt
Wateroverlast landelijk gebied	Groot	?	Temperatuur is belangrijkste stuurfactor; moeilijk beïnvloedbaar; opwarming rivierwater in buitenland door koelwatergebruik neemt niet af.
Wateroverlast stedelijk gebied	Beperkt	Beperkt	Waterbergend vermogen in stedelijk gebied weinig flexibel.
Natuur			
Soortbehoud	Beperkt	Ongewis	Effecten treden nu al op; kennis aanpassingsvermogen op soortniveau beperkt.
Functioneren ecosystemen	Ongewis	Ongewis	Kennis te verwachten ecosysteemveranderingen beperkt; omslagpunten/grillige veranderingen niet uit te sluiten.
Veenafbraak	Beperkt	Beperkt	Veenafbraak kan snel worden gestopt, trage reactiesnelheid in verband met bestuurlijke besluitvorming en implementatie.

Thema	Adaptief vermogen		Toelichting adaptief vermogen
	Gematigde klimaatverandering 2-4 °C in 2100	Worstcase- klimaatverandering max. 6°C in 2100	
Aanpassing Nationaal Ecologisch Netwerk	Beperkt	Beperkt	Aanpassing ruimtelijke structuur traag; verbetering water- en miliecondities beperkt door intensief grondgebruik omgeving.
Landbouw			
Temperatuur/watercondities	Groot	?	Landbouw is adaptieve sector, ook positieve effecten (verlengd groeiseizoen, toename CO2 concentraties); waterbeschikbaarheid mede bepalend; concurrentievoordeel ten opzichte van Zuid Europa.
Weersextremen	Beperkt	Beperkt	Landbouw vooral beducht voor weersextremen, ziekten en plagen. Infrastructuur is aanwezig (o.a. ervaring met BSE).
Ziekten/plagen	Ongewis	Ongewis	
Gezondheid			
Hittestress (zie Stedelijk gebied)	Groot/Beperkt	?	Snelle aanpassing mogelijk met voorlichting, koeling, inrichting zorginstellingen, extra zorg. Trage aanpassing via aanpassing bebouwing en groen/blauwe infrastructuur. Snelle ontwikkeling van ICT-mogelijkheden om zowel klimaat in de woning als gezondheidstoestand van kwetsbare bewoners op afstand te monitoren.
Ziekten/plagen	Ongewis	Ongewis	Grillig karakter van risico's, moeilijk voorspelbaar; stedelijk gebied met bevolkingsconcentraties meest gevoelig. Uitstekende infrastructuur door internationale monitoring en surveillance en goed georganiseerde gezondheidszorg maken Nederland relatief minder kwetsbaar.
Elektriciteitsvoorziening			
Temperatuur/watercondities	Groot	?	Aanpassing aan geleidelijke veranderingen via normale vervanging binnen afschrijvingstermijnen.
Weersextremen	?	?	Gevoelig voor toename temperatuur/droogte-extremen, piekbuien en windhozen
ICT-voorziening			
Weersextremen	?	?	Datacentra zijn gevoelig voor toename temperatuur en kunnen onderlopen. Componenten hebben hoge omloopsnelheid, gebouwen een lage. Netwerken zijn vooral gevoelig voor piekbuien en windhozen.
Transport			
Temperatuur/weerscondities	Groot	?	Aanpassing infrastructuur aan geleidelijke veranderingen via normale vervanging binnen afschrijvingstermijnen.
Weersextremen	?	?	Weg- en vliegverkeer gevoelig voor mist, stormen, piekbuien, hagel; scheepvaart rivieren voor toename lage en hoge rivieraafvoeren. Verdeling verantwoordelijkheden verschilt per modaliteit en daarmee ook de adaptatiecapaciteit. Soms zijn meerder actoren betrokken, soms één enkele (zoals de scheepvaartsector, RWS), waardoor de adaptiecapaciteit hoger ligt
Recreatie en toerisme			

Thema	Adaptief vermogen		Toelichting adaptief vermogen
	Gematigde klimaatverandering 2-4 °C in 2100	Worstcase- klimaatverandering max. 6°C in 2100	
Temperatuur/weerscondities	Groot	?	Overwegend positief.
Weersextremen: hittegolven; neerslag	?	?	Onduidelijk hoe toename extremen kunnen doorwerken.
Stedelijk gebied			
Klimaatverandering en weersextremen	Beperkt	Beperkt	Intrinsieke traagheid in aanpassing bebouwing en inrichting stedelijk gebied.

Uit het overzicht in tabel B2.1 komt een gevarieerd beeld naar voren. Het adaptief vermogen ten aanzien van veiligheid tegen overstroomen is het best onderzocht en bekend. Tot 2100 lijkt die veiligheid beheersbaar, ook als wordt uitgegaan van een *worst case*-scenario voor de zeespiegelstijging en de rivierafvoeren. Na 2100 is dat wat betreft de zeespiegelstijgingen boven de 1,5 meter onzekerder. Dit zal veelal afhangen van de snelheid van de stijging. De flexibiliteit in de zoetwatervoorziening is in de huidige setting beperkt, en kan bij een toenemende temperatuurstijging en groeiend neerslagtekort op de termijn van 2050 tot forse problemen leiden.

Veranderingen in de natuur doen zich nu al voor. De kennis over de mogelijk te verwachten effecten op het functioneren van ecosystemen is echter beperkt. Kritische omslagpunten zijn niet uitgesloten. Wel is er kennis over de mogelijke maatregelen die kunnen worden getroffen om de klimaatbestendigheid van de natuur te versterken. Een klimaatbestendiger Nationaal Ecologisch Netwerk vraagt op nationaal niveau een aanpassing van de ruimtelijke configuratie en overeenstemming met de provincies over de realisatie. Ook omdat nieuwe gronden voor het Ecologisch Netwerk niet gemakkelijk beschikbaar komen, is het vermogen om de doelen en de ruimtelijke structuur aan te passen beperkt.

De landbouw-, energie- en transportsector kunnen door de relatief korte reactietijd (gekoppeld aan wijzigingen in de gewasteelten of landbouwsystemen en de vervanging van infrastructurele werken) goed reageren op geleidelijke veranderingen. Bij een *worstcasescenario* is dit minder duidelijk. Het stedelijk gebied is beperkt in zijn adaptief vermogen als het gaat om aanpassing in de bebouwing, herinrichting en ruimtelijke aanpassingen. Aan de andere kant is de dynamiek en investeringsbereidheid in het stedelijk gebied en in bebouwing hoog, waardoor er kansen liggen om de klimaatbestendigheid te vergroten.

De risico's rond ziekten en plagen zijn ongewis en grillig van karakter en hebben niet alleen te maken met klimaatverandering, maar vooral met de intensieve mondiale transportbewegingen. Het adaptief vermogen is beperkt; monitoring en surveillance is van groot belang voor een tijdige signalering.

Kwetsbaarheid Nederland voor worstcaseklimaatverandering onvoldoende in beeld

Uit tabel B2.1 komt naar voren dat voor veel thema's de kwetsbaarheid en het adaptief vermogen van Nederland nog onvoldoende bekend zijn, vooral als het gaat om *worst case*-ontwikkelingen. Zo zijn er wat betreft de zeespiegelstijging volgens het *worstcasescenario* vooral onduidelijkheden op de lange termijn na 2100 (PBL 2007; Deltacommissie, 2008). Gegeven de grote onzekerheden rond klimaatverandering is een analyse van de mogelijke kwetsbaarheid van Nederland bij *worst case*-ontwikkelingen van belang als bouwsteen voor een adaptatiestrategie voor de lange termijn. Hiervoor kunnen stresstesten worden ingezet. Vragen die daarbij richtinggevend zijn, zijn: wat kan er op Nederland afkomen, hoe groot zijn de mogelijke effecten, welke reactiemogelijkheden zijn er, en wat zijn de komende decennia consequenties voor beleidskeuzes?

Bijlage 3 Overzicht mogelijke adaptatiemaatregelen

We maken onderscheid in flexibele en structurele maatregelen voor preventie, gevolgbeperking en herstel en noodhulp. Structurele maatregelen hebben doorgaans een lange omlooptijd en kunnen dus niet flexibel worden ingezet. Bij klimaatadaptatie vragen in het bijzonder de structurele maatregelen een goede analyse van de mogelijke toekomstige klimaatontwikkelingen om onder- en overinvesteringen te voorkomen. Monitoring en kennisontwikkeling is uiteraard voor alle dossiers belangrijk en noodzakelijk, maar in de tabel alleen weergegeven waar het een centrale rol speelt in de adaptatiestrategie. De voorbeelden zijn bedoeld als inspiratie voor de Nationale Adaptatie Strategie. Uitputtend zijn ze allerminst.

Tabel B3.1

Overzicht mogelijke inzet maatregelen beperken klimaatrisico's.

Thema	Preventie		Gevolgbeperking		Herstel en noodhulp	
	Flexibel	Structureel	Flexibel	Structureel	Flexibel	Structureel
Waterveiligheid						
Overstroming door bezwijken primaire of secundaire kering	<ul style="list-style-type: none">• Zandsuppletie• (Elektronische) dijkbewaking• Zandzakken op de dijk• Tijdelijke kades rondom kwetsbare voorzieningen (in afwachting van structurele oplossing)	<ul style="list-style-type: none">• Waterkeringen• Stormvloedkeringen• Eco-engineering/bouwen met natuur• Aanleg 'sponsgebieden' in Duitsland en België• Gebiedsgerichte aanpak zoals in Amsterdam Westpoort• Klimaatkwetsbaarheid meewegen in vestigingsbeleid	<ul style="list-style-type: none">• Voorlichting• Weersvoorspellingsystemen• Waarschuwingssystemen• Rampenplannen• Evacuatie• Zandzakken, tijdelijke extra keringen	<ul style="list-style-type: none">• Waterrobuust bouwen• Vluchtplaatsen en evacuieroutes• Vergroten zelfredzaamheid• Markerden vitale transportroutes	<ul style="list-style-type: none">• Noodhulp• Opvang• Schadefonds	<ul style="list-style-type: none">• Wederopbouw

Thema	Preventie		Gevolgbeperking		Herstel en noodhulp	
	Flexibel	Structureel	Flexibel	Structureel	Flexibel	Structureel
Wateroverlast		<ul style="list-style-type: none"> • Herinrichting stedelijk gebied met meer ruimte voor waterberging • Aanleg waterbergingsgebieden (waar mogelijk integrale aanpak) • Vergroten riolering • Dimensionering waterafvoersysteem • Keuze bouwlocatie laten afhangen van de wateropgave 	<ul style="list-style-type: none"> • Zandzakken, tijdelijke extra keringen • Inzet pompen • Voorlichting • Weersvoorspellingsystemen • Waarschuwingssystemen 	<ul style="list-style-type: none"> • Waterrobuust bouwen • Markerden vitale transportroutes • Vergroten zelfredzaamheid • Waterrobuust plannen • Inzet pompen 	<ul style="list-style-type: none"> • Opvang • Schadecompensatie (noodfondsen, verzekeringen) • Inzet pompen 	
Water						
Zoetwatervoorziening: toename droogte		<ul style="list-style-type: none"> • Verbeteren waternaansupplies • Vergroten watervoorraden 	<ul style="list-style-type: none"> • Voorlichting • Weersvoorspellingsystemen • Waarschuwingssystemen • Aanpassen watergebruik • Verdelen waterstromen conform verdringingsreeks • Tijdelijke extra waternaansupplies 	<ul style="list-style-type: none"> • Inzet ontziltingsinstallaties 	<ul style="list-style-type: none"> • Schadecompensatie (noodfondsen, verzekeringen) 	
Temperatuurstijging water + toename blauwalgenbloei		<ul style="list-style-type: none"> • Terugdringen nutriëntbelasting • Isoleren waardevolle natuurgebieden 	<ul style="list-style-type: none"> • Voorlichting • Bellensystemen (kleinschalig water) • Verbod gebruik zwemwater 		<ul style="list-style-type: none"> • Baggeren • Bevissen • Vis uitzetten 	
Natuur						
Verlies van soorten	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring • Kennisontwikkeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergroten gebieden • Verbindingszones nationaal en internationaal • Gericht beheer • Gerichte beschermingsgebieden • Verbetering milieucondities 				
Verdwijnen van habitats	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring • Kennisontwikkeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Herstel natuurlijke processen • Afspraken over verbindingszones nationaal en internationaal 				

Thema	Preventie		Gevolgschade		Herstel en noodhulp	
	Flexibel	Structureel	Flexibel	Structureel	Flexibel	Structureel
	<ul style="list-style-type: none"> Vergroten en verbinden natuurgebieden 					
Versterking milieueffecten van verdroging, vermeesting en verslechtering ecologische waterkwaliteit	<ul style="list-style-type: none"> Monitoring Kennisontwikkeling 	<ul style="list-style-type: none"> Voortzetting/intensivering beleid gericht op verbeteren ecologische kwaliteit Elektriciteitscentrales uitplaatsen uit rivierengebied 				
Veenafbraak / bodemdaling	<ul style="list-style-type: none"> Monitoring Kennisontwikkeling 	<ul style="list-style-type: none"> Verhoging waterpeil in veengebieden Peil gestuurde drainage 				
Landbouw						
Stijging temperatuur + verandering watercondities		<ul style="list-style-type: none"> Aanpassen landbouwsysteem Aanpassen gewaskeuze Verbetering bodemkwaliteit 	<ul style="list-style-type: none"> Voorlichting Monitoring Kennisontwikkeling Vergroten waterefficiëntie 	<ul style="list-style-type: none"> Ontwikkelen en implementeren van zuinige irrigatiesystemen Gewasveredeling Monitoringsystemen tbv teeltoptimalisatie 		
Oogstschade door weersextremen		<ul style="list-style-type: none"> Verbetering bodemkwaliteit 	<ul style="list-style-type: none"> Waarschuwingssystemen Tijdelijke mitigerende maatregelen 		<ul style="list-style-type: none"> Noodfondsen Verzekeringen 	
Oogstschade door droogte	<ul style="list-style-type: none"> Internationale monitoring en surveillance Protocollen die snel en effectief ingezet kunnen worden bij uitbraak van ziekte 			<ul style="list-style-type: none"> Voorlichting: risicospreiding door teelt van meerdere gewassen 		
Oogstschade door ziekten en plagen	<ul style="list-style-type: none"> Monitoring en surveillance preventief gebruik diergeesmiddelen, pesticiden en gewasbeschermingsmiddelen 	<ul style="list-style-type: none"> Ruimtelijke inrichting 	<ul style="list-style-type: none"> Curatief gebruik diergeesmiddelen, pesticiden en gewasbeschermingsmiddelen 	<ul style="list-style-type: none"> Gewasveredeling 	<ul style="list-style-type: none"> Noodfondsen Verzekeringen 	
Visserij						
Verplaatsing vis naar gebieden waar Nederlandse vissers geen vangstrechten hebben		<ul style="list-style-type: none"> Aanpassing (Europese) afspraken over vangstrechten 				

Thema	Preventie		Gevolgbeperking		Herstel en noodhulp	
	Flexibel	Structureel	Flexibel	Structureel	Flexibel	Structureel
Gezondheid						
Hittestress		<ul style="list-style-type: none"> • Hittebestendiger bouw Groene daken e.d. • Herinrichting stedelijk gebied: meer ruimte voor groen en blauw 	<ul style="list-style-type: none"> • Voorlichting • Weersvoorspelling • Hitteplannen • Gerichte zorg • Gedragsaanpassing • Buurtzorg 	<ul style="list-style-type: none"> • Aanpassing zorg ouderen en kwetsbare • ICT-systemen voor monitoring woningklimaat en gezondheidstoestand kwetsbare personen 	<ul style="list-style-type: none"> • Inzet speciale zorgteams 	
Verlenging en intensivering van pollenseizoen		<ul style="list-style-type: none"> • Aanpassen beplanting met anti-allergene pollen 	<ul style="list-style-type: none"> • Voorlichting • Waarschuwingssystemen • Bestrijding organismen • Medicijnen • Gedragsaanpassing 	<ul style="list-style-type: none"> • Kennisontwikkeling nieuwe medicijnen 		
Uitbraak (nieuwe) vectorziekten	<ul style="list-style-type: none"> • Internationale monitoring en surveillance • Protocollen die snel en effectief ingezet kunnen worden bij uitbraak van ziekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Adequaat gezondheidszorgsysteem • Bij herinrichting van stedelijk gebied zorgen voor doorstroming van water 	<ul style="list-style-type: none"> • Beperken verspreiding • Medicijnen • Ziekenzorg 			
Elektriciteitsvoorziening						
Aanpassen aan geleidelijke veranderingen temperatuur/weerscondities	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring • Kennisontwikkeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Centrales verplaatsen naar zee of grote meren • Aanpassing bij vervanging of vernieuwing • Decentrale energieopwekking • Uitbreiding alternatieve bronnen • Verhoging opslagcapaciteit 				
Uitval door weersextremen		<ul style="list-style-type: none"> • Redundantie aanbrengen in systemen • Weersbestendiger componenten (hoger, steviger) • Verhoging opslagcapaciteit (accu's elektrische auto's) 	<ul style="list-style-type: none"> • Voorlichting • Waarschuwingssystemen • Tijdelijk lagere elektriciteitsproductie • Vergroten zelfredzaamheid 	<ul style="list-style-type: none"> • Noodsystemen 	<ul style="list-style-type: none"> • Herstel schade 	
ICT-voorziening						
Aanpassen aan geleidelijke veranderingen temperatuur	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring • Kennisontwikkeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Aanpassing bij vervanging, vernieuwing • Klimaatkwetsbaarheid mee- 				

Thema	Preventie		Gevolgbeperking		Herstel en noodhulp	
	Flexibel	Structureel	Flexibel	Structureel	Flexibel	Structureel
tuur/weersomstandigheden		wegen in vestigingsbeleid • Voldoende hoog bouwen				
Lokale uitval door natuurbranden	• Voorlichting	• Aanpassen begroeiing • Aanpassen ruimtelijk beleid: scheiden van wonen (incl. recreatiewoningen) en natuur	• Bestrijden brand • Inzet gespecialiseerde brandweerlieden en apparatuur • Waarschuwingssystemen	• Optimaliseren verantwoordelijkheidsverdeling	• Herbeplanting • Noodfondsen	
Uitval door weersextremen		• Redundantie aanbrengen in systemen • Weersbestendiger componenten • Back-up systemen	• Voorlichting • Waarschuwingsystemen • Incident-management		• Herstel schade	
Uitval door hitte/droogte		• Locatiekeuze kwetsbare onderdelen aanpassen bij vervanging of vernieuwing • Hittebestendigheid vergroten				
Transport						
Aanpassen aan geleidelijke veranderingen temperatuur/weersomstandigheden	• Monitoring • Kennisontwikkeling	• Aanpassing bij vervanging, vernieuwing • Slimmere voertuigen		• Voorlichting gericht op gedragsaanpassing		
Verstoring (spoor)wegverkeer door weersextremen		• Weersbestendiger materialen • Stormbestendig bouwen	• Waarschuwingsystemen • Verkeersregulerende maatregelen • Gedragsaanpassing	• Voorlichting gericht op gedragsaanpassing	• Herstel schade	
Beperking scheepvaart door extreem hoog of laag water	• Beladingsgraad aanpassen • Verbod op recreatievaart	• Normen aanpassen (bijv. brughoogte)		• Protocol voor omschakelen naar andere modaliteit beschikbaar en toepassen (incl. verdringingsreeks)		
Schade aan leidingen		• Leidingen robuuster maken	• Transport drinkwater omleiden via onbeschadigde leidingen		• Herstel schade	