



Verkenning Klimaatverandering en infrastructuur





Verkenning Klimaatverandering en infrastructuur

Authors

Sten de Wit ¹⁾

Wouter Jonkhoff ¹⁾

Irene Immink ¹⁾

Wietske Roos ¹⁾

Mirjam Nelisse ¹⁾

Theo Reijs ¹⁾



1) TNO Bouw en Ondergrond

KvK rapportnummer
ISBN

KvK 008/09
978-94-90070-08-3

Dit project (VBR 05 Verkennen klimaatverandering en infrastructuur) is uitgevoerd in het kader van het nationaal onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. Dit onderzoekprogramma wordt medegefinancierd door het Ministerie van VROM.

Disclaimer

De voorliggende verkenning maakt deel uit van een reeks verkenningen naar de *State of Art* voor een aantal belangrijke adaptatie thema's die ter voorbereiding op de daadwerkelijke start van het nationaal onderzoeksprogramma *Kennis voor Klimaat* op verzoek van de directie van *Kennis voor Klimaat* is uitgevoerd. Het betreffen verkenningen op zowel natuurwetenschappelijke en technische als sociaal wetenschappelijke onderwerpen. Doel van de verkenningen was om na te gaan welke kennis beschikbaar is voor het betreffende adaptatie thema en welke kennisleemtes er zijn. De *State of Art* overzichten zijn niet alleen bedoeld als advies aan de directie en programmaraad van *Kennis voor Klimaat* m.b.t. de inhoudelijke afbakening van het onderzoeksprogramma, maar ook als achtergrond informatie over een aantal belangrijke adaptatie thema's voor een brede doelgroep. *Kennis voor Klimaat* stelt daarom de *State of Art* verkenningen via haar website www.kennisvoorklimaat.nl vrij beschikbaar, maar de inhoud van de verkenning valt onder verantwoordelijkheid van de auteurs die ook zelf de review van de verkenningen hebben georganiseerd door een concept aan een groep van wetenschappers, experts en betrokkenen voor te leggen.

Copyright @ 2009

Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (KvK). Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, in geautomatiseerde bestanden opgeslagen en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. In overeenstemming met artikel 15a van het Nederlandse auteursrecht is het toegestaan delen van deze publicatie te citeren, daarbij gebruik makend van een duidelijke referentie naar deze publicatie.

Aansprakelijkheid

Hoewel uiterste zorg is besteed aan de inhoud van deze publicatie aanvaarden de Stichting Kennis voor Klimaat, de leden van deze organisatie, de auteurs van deze publicatie en hun organisaties, noch de samenstellers enige aansprakelijkheid voor onvolledigheid, onjuistheid of de gevolgen daarvan. Gebruik van de inhoud van deze publicatie is voor de verantwoordelijkheid van de gebruiker.



Inhoudsopgave

1.	Inleiding	7
1.1.	Klimaatadaptatie	7
1.2.	Rol van infrastructuur	7
1.3.	Kennisvragen	7
1.4.	Afbakening	8
1.5.	Context	8
2.	Klimaatverandering en infrastructuur	9
2.1.	Klimaatverandering	9
2.2.	Drie perspectieven	9
2.3.	Brede scenario's als vertrekpunt	9
3.	Fysiek perspectief	11
4.	Ruimtelijk perspectief	15
5.	Economisch perspectief	19
5.1.	Veiligheid en infrastructuur	19
5.2.	Overstromingen	20
6.	Samenvatting en aanbevelingen	23
7.	Referenties	25
A.	Scenariostudies	29
B.	Directe effecten van klimaatverandering op infrastructuur	31





1. Inleiding

1.1. Klimaatadaptatie

Het klimaat verandert. Ook als het beleid gericht op vermindering van de uitstoot van broeikasgassen mondiaal en ambitieus wordt opgepakt, zal het klimaatsysteem blijven veranderen. Dit betreft niet alleen de opwarming van de aarde en een verhoging van de zeespiegel, maar ook neerslagpatronen, windrichting en -sterkte, en extreme weersomstandigheden. Willen we voorkomen dat deze veranderingen de veiligheid, economie, ecologie, gezondheid en maatschappelijke en sociale structuren negatief zullen beïnvloeden, dan is adaptatie aan klimaatverandering noodzakelijk.

1.2. Rol van infrastructuur

Bij het vormgeven van klimaatadaptatie verdient infrastructuur bijzondere aandacht. Een goed functionerende infrastructuur is een belangrijke randvoorwaarde voor een gezonde economie. Klimaatverandering vormt een bedreiging voor dit functioneren. Zo kan frequente wateroverlast extra congestie in de hand werken en kunnen grondlichamen van (spoor)wegen instabiel worden door veranderingen in het grondwaterpeil. Het is dan ook van belang te zorgen dat de effecten van klimaatverandering de veiligheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid van de Nederlandse infrastructuur niet nadelig beïnvloeden.

'Opwarming aarde bedreigt infrastructuur VS'

Gepubliceerd: dinsdag 11 maart 2008 19:52
pdf rapport: dinsdag 11 maart 2008 20:43

De opwarming van de aarde vormt een bedreiging voor wegen, metro's, rails, bruggen en andere infrastructuur in de Verenigde Staten. De Amerikaanse Nationale Onderzoeksraad stelt dit in een dinsdag verschenen rapport (pdf).

Bij de aanleg van transportsystemen moet de recentste wetenschappelijke kennis worden gebruikt om de dreiging tegen te gaan, stelt de Onderzoeksraad. Vijf verschijnselen bedreigen de infrastructuur. Het aantal hittegolven neemt toe, de zeespiegel stijgt, er doen zich vaker zware regenbuien en orkanen voor en het poolijs smelt.

De Onderzoeksraad wijst erop dat de Amerikaanse infrastructuur is aangelegd met het plaatselijke klimaat in gedachten, maar dat dit klimaat veranderingen ondergaat. De aanpassingen aan de infrastructuur zullen duur zijn, waarschuwt de Onderzoeksraad.

Soms hebben klimaatveranderingen positieve gevolgen. De scheepvaart kan profiteren van het smelten van het poolijs, omdat hierdoor nieuwe en kortere vaarroutes beschikbaar komen.

Bron: www.depers.nl

Daarnaast kunnen infrastructuurele elementen een belangrijk onderdeel vormen van adaptatiemaatregelen. Zo staat of valt evacuatie bij (dreigende) overstromingen met de beschikbaarheid van voldoende infrastructuurele voorzieningen, en is ook het herstellend vermogen van een gebied na een overstroming sterk afhankelijk van de mate waarin de infrastructuurele verbindingen nog of weer functioneren.

1.3. Kennisvragen

Op dit moment ontbreekt nog veel kennis over de effecten die klimaatverandering kan hebben op het functioneren van de infrastructuur. Ook over de rol van infrastructuur in klimaatadaptatiestrategieën,



en de eisen die daarbij aan de infrastructuur worden gesteld, is nog onvoldoende bekend. Dit paper heeft tot doel in kaart te brengen welke aspecten een rol spelen bij het beschrijven van de relatie tussen klimaatverandering en infrastructuur, welke kennis hierover beschikbaar is, en welke kennis er (nog) nodig is. Op basis hiervan wordt een researchagenda voorgesteld.

1.4. Afbakening

In deze studie wordt relatie tussen klimaatverandering en fysieke infrastructuur gekeken. Fysieke infrastructuur kan worden onderverdeeld in verkeersinfrastructuur, waarover mensen en goederen worden vervoerd, en nutsinfrastructuur waarover bijvoorbeeld elektriciteit, water en data worden vervoerd. Dit onderzoek beperkt zich tot infrastructuur met als functie het vervoer van mensen en goederen en/of het keren van water. Hieronder vallen: wegen, spoorwegen, waterwegen, kunstwerken (bruggen, tunnels, viaducten, waterkeringen) en knooppunten (luchthavens, stations, havens).

1.5. Context

Deze studie is uitgevoerd als een voorstudie voor Kennis voor Klimaat.

Kennis voor Klimaat richt zich vooral op kennis en de organisatie van kennis om Nederland 'climate proof' te maken. Daarbij heeft het programma de ambitie om de Nederlandse kwetsbaarheid om te zetten in een kans. Een kans om Nederland klimaatbestendiger te maken en dit met de bijbehorende kennis en ervaring te etaleren ter versterking van het vestigingsklimaat en de exportpositie op het gebied van klimaat- en deltatechnologie.

De missie van het programma luidt: *'het publiek beschikbaar krijgen van wetenschappelijk gefundeerde en vanuit de maatschappelijke praktijk gevoede kennis met betrekking tot klimaat en daaraan gerelateerde thema's als ruimte, infrastructuur en duurzaamheid, zodat overheden en bedrijven samen - in het licht van de effecten van klimaatverandering - weloverwogen ruimtelijke- en investeringsbeslissingen kunnen nemen.'*

In Kennis voor Klimaat is gekozen om:

- De ontwikkeling van adaptatiestrategieën in eerste instantie via een geïntegreerde, multi-stakeholder en participatieve aanpak te richten op een beperkt aantal kwetsbare gebieden en op regionale kennisprogrammaliijnen, de zogenaamde hotspots;
- Een Klimaat Kennis Faciliteit in te richten die zich richt op de meer generieke kennisvragen en de vragen op de langere termijn;
- Actief in te zetten op kennistransfer om de via Kennis voor Klimaat gegenereerde kennis zowel in Nederland als internationaal beschikbaar te maken.

Het programma werkt dus met centrale (de Kennis Klimaat Faciliteit en de Kennistransfer, waaronder internationale hotspots) en decentrale programmaliijnen (de hotspots en regionale programmaliijnen).



2. Klimaatverandering en infrastructuur

In dit paper wordt een tweezijdige relatie tussen klimaatverandering en infrastructuur beschouwd. Op de eerste plaats wordt gekeken naar de invloed van klimaatverandering op de veiligheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid van infrastructuur. Daarnaast wordt onderzocht welke rol infrastructuur kan spelen bij het beheersen van de gevolgen van klimaatverandering.

2.1. Klimaatverandering

De effecten van de klimaatverandering verschillen van gebied tot gebied. Het KNMI heeft voor Nederland de zogenaamde “KNMI’06 scenario’s” [KNMI, 2006] opgesteld. Deze vier klimaatscenario’s vertalen de veranderingen in het mondiale klimaatsysteem in klimaateffecten voor Nederland:

- Gemiddelde temperatuursstijging van 1 tot 6 graden Celsius
- Zeespiegelstijging van 20 tot 110 cm (tot enkele meters na 2100)
- De hoeveelheid winterneerslag stijgt met 6 tot 25 %, en de hevigheid van winterneerslag stijgt met 10 tot 40 %
- De kans op extreme zomerneerslag wordt 2 tot 10 keer zo groot
- De kans op zomerverdroging neemt toe
- Een toename van hoge rivierafvoeren in de winter

De verschillen tussen de vier scenario’s weerspiegelen de onzekerheden in de voorspellingen die met de bestaande kennis en inzichten gemaakt kunnen worden. Een deel van deze onzekerheden komt voort uit incomplete kennis over het klimaatsysteem. Daarnaast is ongeveer de helft van de onzekerheid over hoe ons klimaat er rond 2100 uitziet toe te schrijven aan onzekerheid omtrent wereldwijde technologische en demografische ontwikkeling zoals bevolkingsomvang en landgebruik [WRR, 2006, blz. 34-5].

2.2. Drie perspectieven

We bekijken in dit paper de relatie tussen klimaatverandering en infrastructuur vanuit drie verschillende, maar onderling sterk gerelateerde perspectieven.

Het eerste perspectief beschouwt de fysieke aspecten van de infrastructuur. Dit zijn o.a. de materiaalkundige, constructieve en geotechnische aspecten die samen de fysieke conditie van infrastructurele elementen bepalen, en daarmee de veiligheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid ervan. Als gevolg van klimaatverandering kan de fysieke conditie van de infrastructuur tijdelijk of permanent verminderen. De consequenties die dit heeft hangen onder meer af van de vitaliteit van de betreffende infrastructuur voor de economie en de ruimtelijke inpassing van de infrastructuur. Zie op dit punt ook het position paper vanuit Mobiliteit en Logistiek [Snelder e.a., 2008].

Het tweede perspectief is het ruimtelijk perspectief. De ruimtelijke inrichting van Nederland is een belangrijk aandachtspunt in het denken over klimaatadaptatie. Daarbij wordt verhoogd overstromingsgevaar gezien als een van de belangrijkste klimaateffecten. De manier waarop met ruimtelijke planning van infrastructuur op de beheersing van deze toenemende dreiging kan worden ingespeeld staat in dit perspectief centraal. Daarbij wordt niet alleen ingegaan op preventie, maar komen alle schakels van de veiligheidsketen aan bod.

Tot slot komt het economisch perspectief aan bod. Het economisch perspectief richt zich op de economische consequenties van de door klimaatverandering beïnvloede infrastructuur. Op basis hiervan kan een idee worden verkregen van de economische wenselijkheid van maatregelen en de keuze van de meest kosteneffectieve vormen van beleid.

2.3. Brede scenario’s als vertrekpunt

Op basis van de huidige klimaatscenario’s is te verwachten dat significante effecten zich ontwikkelen op een tijdschaal van 50-100 jaar. Op deze tijdschaal zullen zich naast klimaatverandering nog verschillende andere ontwikkelingen voordoen op demografisch, ruimtelijk, economisch en technologisch gebied. Deze ontwikkelingen zijn mede bepalend voor de toekomstige inrichting van Nederland en de rol van infrastructuur daarin. Bovendien hebben deze ontwikkelingen invloed op de uitstoot van broeikasgassen en daarmee op de klimaatverandering. Het is dan ook van belang om bij het vormgeven van een klimaatbestendig Nederland uit te gaan van brede scenario’s, waarin naast klimaatontwikkeling ook demografische, economische en ruimtelijke ontwikkelingen worden meegenomen.



De studie Welvaart en Leefomgeving van de samenwerkende planbureaus is een dergelijke opzet tot brede scenario's gebaseerd op de Europese scenario's Global Economy, Transatlantic Market, Strong Europe en Regional Communities van het Centraal Planbureau [Huizinga en Smid, 2004]. Hierin spelen twee onzekerheden een rol: internationalisering en de mate waarin Europese overheden hun collectieve sector hervormen. Combinatie deze twee onzekerheden brengt de vier scenario's voort.

De WLO-scenario's [CPB/RPB/MNP, 2006] kunnen als uitgangspunt dienen voor het in kaart brengen van toekomstige ontwikkeling van infrastructuur tot 2040. Hierbij is klimaatverandering van belang, maar ook andere ontwikkelingen zoals inkomensontwikkeling, toenemend ruimtegebruik per persoon en huishoudensverkleining. De toekomstscenario's uit tabel 1 worden in de studie voor infrastructuur onderscheiden.

Tabel 1. Infrastructuur in de WLO-scenario's 2040

Scenario	Strong Europe	Global Economy	Regional Communities	Transatlantic Market
Uitgangspunten	<ul style="list-style-type: none"> • Mondiale handel met voortgaand Europees milieubeleid • Voortgaande infrastructuuruitbreiding en 	<ul style="list-style-type: none"> • Mondiale vrijhandel • Voortgaande infrastructuuruitbreiding en 	<ul style="list-style-type: none"> • Handelsblokken en heffingen ter bescherming van het milieu • Accent op nationaal milieubeleid • Voortgaande infrastructuuruitbreidingen 	<ul style="list-style-type: none"> • Handelsblokken en heffingen ter bescherming nationale productie • Geen sterk milieubeleid • Voortgaande infrastructuuruitbreidingen
Inwoners	18,9 miljoen	19,7 miljoen	15,8 miljoen	17,1 miljoen
BBP/hoofd (2001=100)	156	221	133	195
Huishoudens	8,6 miljoen	10,1 miljoen	7,0 miljoen	8,5 miljoen
Personenautobezit	9,7 miljoen	11,8 miljoen	7,7 miljoen	9,5 miljoen
Ontwikkeling				
Reizigerskilometers	+30%	+40%	+5%	+20%
Goederenvervoer ton/km	+40%	+120%	-5%	+65%
Congestie-uren	0%	+70%	-70%	-10%
NOx-emissies	-70%	-40%	-75%	-55%
CO2-emissies	+20%	+70%	-5%	+35%

Bron: CPB/RPB/MNP (2006)

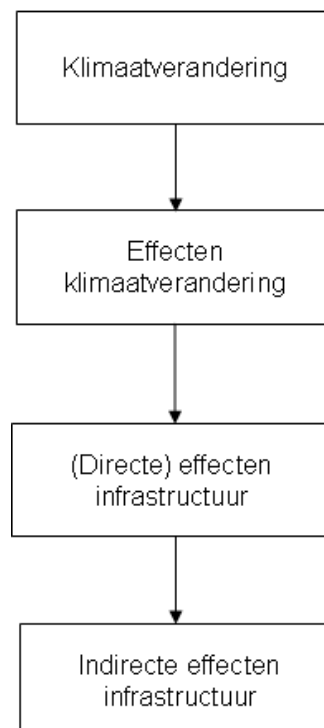
De WLO-scenario's zijn voor deze studie pragmatisch gecombineerd met KNMI-komaatscenario's. Daarbij zijn twee kanttekeningen op zijn plaats. Op de eerste plaats dient er bij het combineren van scenario's rekening te worden gehouden met onderlinge oorzakelijkheid tussen bepaalde onzekerheden. Ten tweede vereist de combinatie met klimaatscenario's tot 2100 wel dat aannames worden gedaan omtrent de mate van mitigatie van klimaatverandering: in hoeverre zal er loskoppeling optreden van economische en ruimtelijke groei en klimaatverandering? Een van de belangrijke implicaties voor onder andere infrastructuur is vervolgens dat economische groei meer bepalend is voor de verwachte schade door overstroming dan klimaatverandering [WRR, 2006].

Op dit moment zijn geen goede gecombineerde scenario's voor handen waarin trends in economie, ruimte en klimaat in samenhang worden beschreven. De ontwikkeling van samenhangende, brede scenario's is van belang voor het ontwerp van adaptatiestrategieën [Dorland e.a., 2008]. In bijlage A wordt een suggestie gedaan hoe tot bruikbare scenario's gekomen zou kunnen worden.

3. Fysiek perspectief

Het fysieke perspectief gaat in op de directe effecten van klimaatverandering op de fysieke conditie van infrastructuur. De fysieke conditie wordt bepaald door o.a. materiaalkundige, constructieve, ontwerptechnische en geotechnische aspecten en zijn bepalend voor de veiligheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid van de infrastructuur. Een direct effect is dus bijvoorbeeld spoorvorming in asfalt door hogere temperaturen. Bij veranderingen in gemiddelde temperatuur, neerslag, etc. verandert ook de kans op extreme gebeurtenissen [Kabat e.a.,2003]. Hierdoor kan de fysieke conditie van de infrastructuur tijdelijk of permanent verminderen.

Het verminderen van de fysieke conditie van infrastructuur als gevolg van klimaatverandering kan tot een – gedeeltelijke of volledige – beperking van vervoer en/of de waterkerende functie van die infrastructuur leiden. Beide effecten kunnen nadelige gevolgen hebben voor o.a. de economie, de veiligheid en de leefbaarheid. Dit zijn indirecte effecten van klimaatverandering op infrastructuur (zie figuur 1). Gezien de impact van het niet functioneren van infrastructuur is het van groot belang om de infrastructuur voor te bereiden op klimaatveranderingen. Welke effecten kunnen we verwachten? En wat kunnen we hier aan doen?



Figuur 1. Schematisering effect klimaatverandering op infrastructuur

De aandacht voor directe effecten van klimaatverandering op infrastructuur blijkt echter mager. Uitzondering hierop is de aandacht voor waterkeringen. Over de gevolgen van de vergrote belasting op waterkeringen ten gevolge van de klimaatverandering zijn al vele studies uitgevoerd. Deze vallen buiten de context van deze studie.

Specifiek voor andere infrastructuur dan waterkeringen zijn in Nederland twee studies verricht, zie van Oostroom (2008) en van Hove (2007). De studie van van Hove (2007) richt zich op de fysieke conditie van wegen. Oostroom e.a. (2008) gaat ook in op de effecten op het spoor, luchthavens, vaarwegen en zeehavens. De effecten van klimaatverandering op wegen zijn in beide studies beschouwd. Onderzoek naar maatregelen om deze effecten te beheersen is belegd bij Rijkswaterstaat [Oostroom e.a., 2008]. De onderzoeksresultaten zullen deels (onderbouw) van toepassing zijn voor andere infrastructuur. In bijlage B is een overzicht gegeven van de in deze literatuur genoemde directe effecten.

Een quick scan¹ van op het internet gepubliceerde onderzoeksresultaten van de directe effecten van klimaatverandering op infrastructuur laat zien dat in andere landen dit onderwerp ook slechts beperkt is onderzocht. De meeste studies zijn inventariserend van aard en richten zich nog vooral op de

¹ Zoekactie op internet (google) met zoektermen "infrastructuur en klimaatverandering", "infrastructure en climate change"



effecten en niet op maatregelen. Waarbij de focus niet altijd ligt op de directe effecten maar vooral op indirecte effecten zoals de economische effecten van de uitval van infrastructuur. In Canada en Australië is wel aandacht besteed aan directe effecten van klimaatverandering op infrastructuur. In Canada is bijvoorbeeld onderzoek gedaan naar het effect van het terugtrekken van de permafrost [Infrastructure Canada, 2006]. In Australië worden vergelijkbare klimaatveranderingen maar met andere extremen als in Nederland beschouwd [State of Victoria, 2006]. De directe effecten die in Australië zijn geïdentificeerd voor infrastructuur zijn vergelijkbaar met de directe effecten die zijn geïnventariseerd in de genoemde Nederlandse studies.

De meeste directe effecten doen zich in ons huidige klimaat ook al voor, zij het in mindere mate. Naar verwachting zullen deze effecten door de klimaatverandering intensiever, langduriger en frequenter voorkomen [Oostroom e.a., 2008]. Het gaat hierbij met name om de effecten die veroorzaakt worden door temperatuurstijging, verdroging/ verweking, meer neerslag en hoge rivierafvoeren, waarvan hierna enkele voorbeelden worden genoemd.

Temperatuur

Door temperatuurfluctuaties met hogere temperaturen zullen materialen frequenter en meer uitzetten. Voor wegen betekent dit dat het asfalt sneller degradeert (spoorvorming, smelten). Hier tegenover staat dat door hogere temperaturen in de winter minder vorstindringing optreedt alsook minder ijsgang op waterwegen. Spoorwegen zullen echter vaker te kampen hebben met spoorspattingen en de bewegende delen van bruggen en sluizen zullen door uitzetting minder goed sluiten.

Verdroging en verweking

Zowel door verdroging als verweking (natter worden) van de ondergrond kunnen de eigenschappen van de grond veranderen, waardoor bijvoorbeeld de grond inklinkt. Dit kan tot gevolg hebben dat de stabiliteit van de ondergrond of opgebrachte grondlichamen (onderbouw infrastructuur of dijken) wordt aangetast.

Verweking

Door het natter worden van de ondergrond

Neerslag

Bij grote hoeveelheden neerslag kunnen problemen met de afwatering van het water van bijvoorbeeld wegen en start- en landingsbanen ontstaan. Dit kan gladheid veroorzaken. Andere effecten zijn het onderlopen van onderdoorgangen en tunnels en te geringe doorvaarhoogten (hoge rivierafvoeren). Daarnaast kan de grond verzadigd raken waardoor verweking van de onderbouw kan optreden.

Een nog niet in dit hoofdstuk genoemd effect zijn overstromingen. De kans op overstromingen, bij huidige waterkeringen, zal door een combinatie van klimaateffecten (zeespiegelstijging, hogere rivierafvoeren) vergroten. Bijzonder aan overstromingen in relatie tot infrastructuur is dat de eisen aan infrastructuur bij een overstroming zich met name concentreren op beschikbaarheid. Getroffenen willen het overstroomde gebied uit en hulpverleners willen het gebied in. De infrastructuur moet dus beschikbaar zijn om deze vervoersbewegingen te faciliteren. Aspecten als veiligheid, betrouwbaarheid en duurzaamheid zijn in een dergelijke situatie minder van belang dan in een reguliere situatie.

De huidige materiaalkundige, ontwerptechnische en geotechnische oplossingen zullen waarschijnlijk op termijn niet afdoende zijn om de effecten te beheersen. Aanpassingen zullen daarom nodig zijn. De vraag is echter op welke termijn aanpassingen noodzakelijk zijn. De klimaatveranderingen vinden geleidelijk plaats. Aanpassing aan bijvoorbeeld de bovenbouw van wegen (asfalt) om hogere temperaturen op te vangen zijn daarom nu nog niet relevant. Om te bepalen wat wel relevant is, is het belangrijk om rekening te houden met de levenscyclus van infrastructuur (planning, aanleg, gebruik en onderhoud). Planning heeft meestal een zeer lange termijn als horizon en vergt dus nu al anticipatie op klimaatverandering. Onderhoud heeft een veel kortere tijdshorizon.

Uitgewerkte maatregelen om de fysieke conditie van infrastructuur (m.u.v. waterkeringen) voor te bereiden op de klimaatveranderingen zijn niet in de literatuur gevonden. Slechts voor de hand liggende maatregelen worden genoemd zoals verbetering water afvoer, aanpassen ontwerp. Innovatie in maatregelen is dus nog mogelijk. Wat zijn bijvoorbeeld de mogelijkheden van het combineren van functies (waterkeren en vervoer) in klimaatadaptatie?

Voorgaande laat zien dat zowel de inventarisatie van de directe effecten van klimaatverandering als de benodigde maatregelen nog aandacht behoeven. Echter, gezien de tijdschaal van klimaatverandering, is de urgentie niet groot. De impact van de effecten (de indirecte effecten) zal afhankelijk zijn van de duur en omvang van de verstoringen die de directe effecten veroorzaken [Van



Hove, 2007]. Zo zal gladheid door overvloedige regenval een kortere en plaatselijker verstoring van het vervoer veroorzaken dan een overstroming. De impact van overstroming is daarmee groot. Speciale aandacht zou bij bovenstaande moeten gaan naar de specifieke omstandigheden in Nederland. Zoals slappe bodem, bodemdaling, de lange kuststrook etc.

- Welke directe (fysieke) effecten heeft de klimaatverandering op infrastructuur in Nederland?
 - Wat is de omvang van deze effecten (inclusief duur van falen en frequentie van falen)?
 - Wat zijn de belangrijkste faalmechanismen in de infrastructuursystemen?
 - Wat is de doorwerking van het falen van het infrastructuursysteem op het gebruik van de infrastructuur?
 - Welke indirecte effecten heeft het tot gevolg en wat is de omvang van de indirecte effecten?
 - Worden directe effecten van klimaatverandering door specifieke Nederlandse omstandigheden negatief versterkt?

Maatregelen kunnen bestaan uit de verdere ontwikkeling van bestaande producten of technieken maar ook uit de ontwikkeling van nieuwe materialen en technieken. In het kader van klimaatadaptatie is het van belang om te weten in hoeverre de bestaande infrastructuur de toekomstige effecten kunnen opvangen, welke aanpassingen zijn nog mogelijk binnen de bestaande kaders en waar zijn nieuwe oplossingen nodig.

- Welke fysieke maatregelen kunnen worden genomen om de effecten van klimaatverandering op infrastructuur te voorkomen?
 - Welk incasseringsvermogen is impliciet aanwezig in het huidige infrastructuurnetwerk voor de te verwachte klimaatveranderingen?
 - Welke denkrichtingen en type maatregelen zijn mogelijk om de faalkans zo klein mogelijk te houden en de schade zoveel mogelijk te beperken, daarbij rekening houdend met kosteneffectiviteit versus technische haalbaarheid?
 - Wat is de invloed van het gedrag van de gebruikers van infrastructuur op de impact van het effect van klimaatverandering? Bijvoorbeeld: wat als automobilisten sowieso langzamer gaan rijden bij harde regenval en extra afvoer hier niets aan afdoet?

Naast de inventarisatie van effecten en maatregelen is het van belang om de eisen die in de toekomst aan infrastructuur worden gesteld in kaart te brengen. Ook de afweging van maatregelen hangt hiermee samen.

- Welke eisen moeten nu worden gesteld om te anticiperen op de vervoers- en waterkerende vraag in de toekomst?
 - Hoe kan flexibel omgegaan worden met toekomstige aanpassingen aan infrastructuur. (Denk aan innovatief, flexibel en demontabel bouwen)?
- Hoe kunnen maatregelenpakketten worden afgewogen, zodat de infrastructuur op alle aspecten voldoet?





4. Ruimtelijk perspectief

Infrastructuur heeft verschillende ruimtelijke functies, zoals een vervoersas, verbinding tussen steden en ontsluiting van locaties. Er is een sterke samenhang tussen het ruimtegebruik en infrastructuur. De Tweede Duurzaamheidsverkenning [MNP, 2007] stelt dat politieke en bestuurlijke besluitvorming overwegend plaats vindt vanuit sectorale, gedeeltelijke invalshoeken. Bijvoorbeeld, de twee functies van infrastructuur die in deze studie worden bekeken (waterkeren en vervoer) vallen onder verschillende beleidsvelden: waterkeren maakt onderdeel uit van het waterbeleid en vervoer maakt onderdeel uit van het vervoers- en mobiliteitsbeleid. Ook ruimtelijke ordening is een zelfstandig beleidsterrein dat als doel heeft het accommoderen van ruimteclaims vanuit de diverse sectoren. Het is vanuit deze drie partiële benaderingen moeilijk om inzicht te krijgen in samenhangen tussen ruimte, infrastructuur en klimaateffecten.

Scenario's zijn nuttig als hulpmiddel bij het opstellen van strategisch ruimtelijk beleid voor de langere termijn, maar ook voor de afstemming tussen beleidsterreinen van ruimte, water, verkeer & vervoer en klimaat. De ruimtescanner scenario's illustreren de samenhang tussen ruimtelijke ordening en infrastructuur. De vier ruimtescanner scenario's zijn uitgewerkt voor de provincie Zuid-Holland [MNP, 2006; Atelier Zuidvleugel, 2006]. In alle scenario's is sprake van uitbreiding van verstedelijking rondom de grote steden. De verschillen tussen de scenario's hebben onder meer betrekking op geconcentreerde verstedelijking, verstedelijking van de Bollenstreek en tussen Den Haag en Rotterdam, of in meer verspreide vorm in het Groene Hart of op de Zuid-Hollandse Eilanden. Inzicht in samenhang is essentieel voor adaptatie van klimaateffecten. Samenhangen die in de scenario's naar voren komen, betreffen [MNP, 2006; Atelier Zuidvleugel, 2006]:

- Toename van klimaateffecten (overstromingsrisico's en wateroverlast);
- De consequenties voor groene, open tussenruimten in de Zuidvleugel bij een inkrimpende landbouw;
- De afnemende bereikbaarheid van transport- en vervoersnetwerken;
- Ruimteclaims beïnvloeden de verstedelijkingsdynamiek en -vorm.

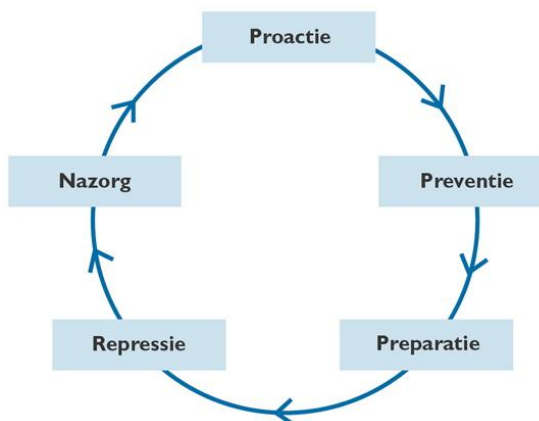
Geconcentreerde verstedelijking of verspreide verstedelijking heeft grote implicaties op de bereikbaarheid en voor de capaciteit van infrastructuur. De scenario's laten dus zien dat ruimtelijke ontwikkelingen en planning van infrastructuur afhankelijk zijn van elkaar.

Overstromingsrisico's en wateroverlast vormen de belangrijkste klimaateffecten in relatie tot infrastructuur [Burdy et al., 1998; Mileti et al., 1999]. De manier waarop met infrastructuurplanning op deze toenemende dreiging kan worden ingespeeld staat in dit perspectief centraal. Daarbij wordt niet alleen ingegaan op preventie, maar komen alle schakels van de veiligheidsketen aan bod.

Eén van de meest onderzochte effecten van klimaatverandering is overstromingsgevaar [Mitchell et al., 1999; Cutter et al., 2001; Smith et al., 2001]. Hogere rivierafvoeren plus een stijgende zeespiegel zorgen ervoor dat bij een ongewijzigd beleid de overstromingsrisico's zullen toenemen. Er bestaan verschillende adaptatiestrategieën om dit tegen te gaan. Deze strategieën worden vaak geschematiseerd in termen van de veiligheidsketen.

Het beleid voor de beheersing van klimaateffecten is opgesplitst in verschillende onderdelen met behulp van de veiligheidsketen. De veiligheidsketen bestaat uit vijf elementen: pro-actie, preventie, preparatie, respons en nazorg (zie figuur 2). De veiligheidsketen maakt onderscheid in beleid voor en na het plaatsvinden van een ramp [Ministerie van Binnenlandse Zaken, 2004]:

1. Het risicobeleid (proactie en preventie): preventie: beleid ter voorkoming van een ramp.
2. De rampenbestrijding (preparatie, repressie en nazorg): gericht op het beheersen van situaties waarbij een ramp heeft plaatsgevonden.



Figuur 2. De veiligheidsketen, bron Handboek Voorbereiding Rampenbestrijding. Deel A: Rampenbestrijding. Bron: Ministerie van Binnenlandse Zaken, 2004.

Pro-actie

Pro-actie slaat op het voorkomen van onveiligheid en betreft het voorkomen van structurele oorzaken van onveiligheid. Hierbij kan gedacht worden aan het verwijderen van gevaarlijke installaties of het verbieden van bouwen in overstromingsgevoelige gebieden. Pro-actie bestaat uit het wegnemen van structurele oorzaken van onveiligheid ter voorkoming van het ontstaan ervan. Dat betekent dat vooral op het terrein van ruimtelijke ordening en infrastructuur vroegtijdig rekening wordt gehouden met mogelijke risico's. Zo kunnen gebouwen en/of infrastructuur verhoogd worden gebouwd (zie kader project Nederland omhoog), kan in diepgelegen gebieden niet of aangepast worden gebouwd, of kunnen dijkeringen worden gecompartmenteerd. Pro-actie omvat activiteiten zoals normstelling, wetgeving en planvorming, gericht op het uitsluiten of minimaliseren van het kunnen ontstaan van gevaarlijke situaties.

Hoe kunnen de inzichten uit scenario's worden betrokken in strategische vraagstukken gericht op infrastructuur en klimaat?

Hoe kan de kennis over wederzijds afhankelijke processen (samenhangen tussen ruimte, infrastructuur en klimaat) door beleidsmakers worden benut bij intersectorale samenwerking en beleidsontwikkeling?

Hoe is de verantwoordelijkheidsverdeling tussen publiek-publiek, publiek-privaat, nationaal-internationaal?

Welke institutionele en financiële belemmeringen moeten worden geslecht en welke kansen kunnen worden benut om adaptatiestrategieën te realiseren?

Welk beleid en wetgeving zijn nodig om adaptatiestrategieën te ontwikkelen?

Aan welke eisen moet infrastructuur voldoen om een adequate rol te kunnen vervullen in de verschillende fasen van de veiligheidsketen voor klimaatadaptatie? Hoe kunnen deze eisen worden gerealiseerd?

Leveren bepaalde combinaties van effecten van klimaatverandering andere bedreigingen voor infrastructuur op? Wat zijn de randvoorwaarden waaronder de bedreigingen optreden?

Project Nederland omhoog

Leven met Water is niet per sé Leven in Water. TNO rekende uit dat het consequent flink ophogen van laag Nederland op plekken waar gebouwd gaat worden, binnen 100 jaar tot een hoge mate van 'klimaatbestendigheid' leidt. Hoger wonen biedt intrinsieke veiligheid tegen overstromen en wateroverlast, en lijkt qua zandhoeveelheden haalbaar.



Preventie

De tweede schakel in de veiligheidsketen is preventie. Preventie is erop gericht om de risico's zo klein mogelijk te houden en de (soort) gevolgen van eventuele ongevallen te beperken. Dit is een dominant element in het huidige beleid voor hoogwaterbescherming, gekoppeld aan waterkeringen. Maar ook tunnels en wegen (groene weg) die kunnen dienen als kanalen waarlangs water kan worden afgevoerd/tijdelijk geborgen. Preventie richt zich voornamelijk op het beperken van de effecten van een ramp voordat een ramp heeft plaatsgevonden. Preventie omvat bijvoorbeeld het verkleinen van dijkeringen om de schade bij een eventuele overstroming te beperken of het verplicht laten dragen van een helm tijdens een bouwactiviteit.

In noodsituaties kan infrastructuur (wegen en spoorwegen) ook worden ingezet als bescherming van een gebied. De infrastructuur kan verhoogd worden aangelegd en zo fungeren als dijklichaam. Dit levert de volgende kennisvragen op:

Wat zijn de mogelijkheden voor multifunctionaliteit van de infrastructuur? Welke functies kunnen gestapeld worden dan wel gecombineerd en welke eisen stelt dit? Wat zijn de kosten en baten van multifunctionaliteit van infrastructuur?

Met welke aanpassingen is huidige infrastructuur geschikt te maken voor multifunctioneel gebruik.

Welke combinatie van fysieke en ruimtelijke factoren zijn per regio/hotspot bepalend voor de kwetsbaarheid van bestaande infrastructuur en van belang voor de planning van nieuwe infrastructuur?

Hoe kunnen regionale/lokale adaptatiestrategieën (met mede een rol voor infrastructuur) worden opgesteld die tevens draagvlak hebben onder lokale bestuurders en belangen?

Op welke wijze kunnen adaptatiestrategieën ten uitvoer worden gebracht?

Voorbeeld SMART tunnel in Maleisië

De Stormwater Management And Road Tunnel in Kuala Lumpur is een 9,7 kilometer lange enkelbuis tunnel. Tijdens extreem natte weersomstandigheden voert het onderste, gebogen tunneldeel onder het wegvlak, hemelwater af van een bassin ten noordoosten van het stadscentrum naar een lager gelegen opslagreservoir in het zuidwesten. Op die manier vrijwaart de tunnel de stad van wateroverlast tijdens en na intense tropische regenstormen.

Preparatie

Preparatie is de derde schakel: De preparatie omvat de voorbereiding op de bestrijding van ongevallen en rampen. De preparatie richt zich op situaties waarbij ondanks genomen maatregelen een ramp plaatsvindt. De preparatie omvat de voorbereiding op de bestrijding van zware ongevallen van rampen, zoals een rampoefening met verschillende hulpinstanties als politie, brandweer en ambulancediensten. Gerelateerd aan infrastructuur: evacuatie routes veilig stellen, safe havens, tijdelijke waterkeringen, tijdelijke bruggen, drijvende wegen etc. instellen.

Welke eisen worden in een noodsituatie aan infrastructuur gesteld ten behoeve van evacuatie?

Hoe goed moet de infrastructuur blijven functioneren bij verschillende soorten verstoringen?

Welke (fysieke) schade is nog acceptabel en hoe lang mogen de gevolgen merkbaar zijn?

Welke eisen worden gesteld aan tijdelijke infrastructuur (wegen, spoorwegen, kunstwerken en knooppunten)?

Repressie

Respons/Repressie: is het daadwerkelijk bestrijden van onveiligheid en het zorgen voor de daarbij behorende hulpverlening. Vitale infrastructuur (ook voor evacuatie) moet overeind blijven in extreme situaties. Omvat zowel zaken als de organisatorische aspecten als de praktische rampbestrijding. Voorbeelden zijn het zogenaamde 'motorkapoverleg' tussen de verschillende hulpdiensten ter plaatse, het afvoeren van de gewonden of het afzetten van gebieden.



In geval van een overstroming van een gebied is met name de beschikbaarheid van de infrastructuur van groot belang voor de omvang van slachtoffers en schade. De overige aspecten zijn in dergelijke situaties van ondergeschikt belang. Dit levert de volgende kennisvragen op:

Welke eisen worden in een noodsituatie aan infrastructuur gesteld ten behoeve van evacuatie. Hoe goed moet de infrastructuur blijven functioneren bij verschillende soorten verstoringen. Welke (fysieke) schade is nog acceptabel en hoe lang mogen de gevolgen merkbaar zijn.

Welke eisen worden gesteld aan tijdelijke infrastructuur (wegen, spoorwegen, kunstwerken en knooppunten).

Hoe kunnen bestaande voorzieningen (bewegwijzeringssystemen) gebruikt worden in evacuatiemanagement. Hoe kunnen nieuwe voorziening bewerkstelligen dat de huidige infrastructuur zo optimaal mogelijk benut wordt tijdens evacuatie.

Hoe lang duurt uitval van infrastructuur bij bepaalde typen calamiteiten?

Nazorg

Betreft het geheel van maatregelen om te komen tot een terugkeer naar de normale situatie. Bijvoorbeeld slachtofferhulp of herstelwerkzaamheden. De nazorg kan zich in tijd uitstrekken tot ver na de ramp. Daarbij kan infrastructuur een centrale rol spelen voor vervoer van mensen, afval, noodapparatuur, bouw materiaal etc.

Hoe kan de uitval van infrastructuur en productie na een calamiteit zo spoedig mogelijk worden hersteld?

Kennisvragen

Er ontbreekt vooralsnog een intersectorale, samenhangende aanpak met betrekking tot adaptatie van klimaateffecten voor de planning, onderhoud en beheer van vervoersinfrastructuur [MNP, 2007]. Met behulp van de veiligheidsketen zou een dergelijke aanpak ontwikkeld kunnen worden. De veiligheidsketen wordt nu door enkele sectoren gebruikt om haar rampenbeleid te organiseren, zoals externe veiligheid en overstromingsrisico's. De veiligheidsketen speelt in de ruimtelijke ordening nog nauwelijks een rol, terwijl dit juist een terrein is dat een bijdrage kan leveren aan proactieve en preventieve adaptatiestrategieën [Neuvel, 2004]. Maatregelen om infrastructuur klimaatbestendig te maken, vergen ruimte. Hierdoor zal de rol van ruimtelijke ordening steeds belangrijker bij het afstemmen van veiligheid, klimaatadaptatie en ruimtegebruik. Betrokkenheid van regionale en lokale partijen is van groot belang bij het uitwerken van adaptatiestrategieën van nationaal naar lokaal niveau. De uitdaging is om de lokale dimensie te betrekken bij de planontwikkeling om te voorkomen dat uiteindelijk alsnog confronterende lokale belangen een spaak in het wiel steken.



5. Economisch perspectief

Economie gaat over keuzegedrag van individuen, huishoudens, bedrijven en overheden bij schaarse materiële middelen. Omdat klimaatverandering effecten heeft op zaken die we als een collectief goed kunnen beschouwen, zoals veiligheid tegen overstromen, drinkwatervoorziening en natuur, betekent dit dat de overheid daarbij wordt geconfronteerd met de noodzaak van zulke keuzes, waaruit verschillende beleidsstrategieën voortvloeien. In deze paragraaf worden klimaatadaptatie, veiligheid en infrastructuur vanuit economisch perspectief als beleidsvelden beschreven. Hieruit worden kennisvragen afgeleid.

5.1. Veiligheid en infrastructuur

Waarom zou de overheid moeten investeren in kennis en beheer van veiligheid en infrastructuur? Vanouds waren het de waterschappen die polders beveiligden tegen hoogwater. Tegenwoordig wordt uitgegaan van dijkringen: gebieden waar samenhangende stelsels van waterkeringen omheen liggen. Veiligheid in een dijkkring is niet-uitsluitbaar: aan niemand kan de toegang tot een (veilige) dijkkring worden ontzegd. De veiligheid van de een gaat bovendien niet ten koste van de veiligheid van de ander (veiligheid is niet-rivaliserend). Daarom geldt veiligheid als een collectief goed. De veiligheid in dijkringen hangt samen, omdat een calamiteit in een dijkkring makkelijk kan overslaan naar omliggende dijkringen. Bovenregionale coördinatie van de veiligheid is daarom nodig. Een ander aspect is dat calamiteiten zoals overstroming ten dele een onverzekerbaar risico vormen voor individuele verzekerende partijen, zodat de overheid als verzekeraar moet optreden.

Infrastructuur is geen collectief goed. Mensen kunnen van het gebruik ervan worden uitgesloten (denk aan een tolweg), en het gebruik van infrastructuur door de een gaat ten koste van het gebruik door de ander (denk aan een file). Toch kan het gewenst zijn dat de overheid het voortouw neemt bij het aanleggen en onderhouden van infrastructuur. Dit kan zijn omdat infrastructuur handel en andere economische activiteiten mogelijk maakt (een positief extern effect), of om verrommeling, vervuiling en geluidsoverlast gemoeid met infrastructuur tegen te gaan (het afremmen van negatieve externe effecten). In Nederland beheert de overheid dan ook een groot deel van de infrastructuur en financiert deze uit algemene middelen. De overheid kan dus het voortouw nemen bij het aanpassen van infrastructuur aan de gevolgen van klimaatverandering. Dit is gunstig. In het licht van klimaatverandering is een vooruitziend beheer door de overheid gewenst. Infrastructuur kan immers dienen ter preventie en beperking van slachtoffers en schade bij calamiteiten. Infrastructuur kan dienen als vluchtroute bij rampen. Bovendien kan het een waterkerende functie hebben. Daartoe is tevens nodig te weten welke invloed klimaatverandering heeft op de levensduur en het beheer van infrastructuur.

Klimaatverandering kan allerlei consequenties hebben voor veiligheid en infrastructuur. Deze kunnen worden aangeduid als calamiteiten. Het belangrijkste voorbeeld hiervan is overstroming. Er kan echter ook worden gedacht aan slijtage of extreme weersomstandigheden die leiden tot uitval van infrastructuur.

Omdat in economisch perspectief klimaatverandering een toekomstige welvaartsdaling inhoudt (door toename van zowel kansen als schade van calamiteiten), wordt geoptimaliseerd door het totaal van alle mogelijke kosten van klimaatverandering te minimaliseren. Deze kosten kunnen twee hoofdelementen omvatten: de kosten van calamiteiten plus de kosten van investeringen om de kans op calamiteiten te verlagen tot een maatschappelijk bepaald niveau [Eijgenraam, 2005]. Zodoende kunnen we twee economisch relevante indicatoren afleiden:

- *Kans op calamiteiten* in combinatie met *de kosten van calamiteiten*
- *Kosten van verlaging van kans op calamiteiten*

Deze indicatoren staan zowel onder invloed van fysische als maatschappelijke ontwikkelingen. Klimaatverandering is een langetermijnproces waaraan grote onzekerheden zijn verbonden. Scenariogebruik is daarom interessant om dergelijke onzekerheden in kaart te brengen en overzicht te geven van de toekomstige kans op en schade van calamiteiten en zo preventief beleid te vormen. Hierbij kan zowel aan scenario's voor klimaatverandering [KNMI, 2006] als voor economische ontwikkeling [Huizinga en Smid, 2004; CPB/RPB/MNP, 2006; MNP, 2007] worden gedacht.

De onzekerheden die gemoeid zijn met de effectketen van klimaatverandering noodzaken tot besluitvorming op basis van risico en rendement. Er dient tevens rekening te worden gehouden met de tijdvoorkeur van betrokken partijen zoals burgers, bedrijven en beleidsmakers. Uit de gedragseconomie is bijvoorbeeld bekend dat mensen ertoe neigen kleine risico's zoals vliegtuigongelukken overschatten en dat ze grote risico's zoals roken onderschatten. De termijn



waarop een risico gerealiseerd wordt, speelt hierbij mede een rol. Voor een samenhangende strategie bij het bieden van veiligheid is het nodig de belangen en risicopercepties van belanghebbenden in gebieden te onderkennen. Omdat klimaatverandering een langetermijntoename is, dient er tevens rekening mee te worden gehouden dat investeringen om het bijbehorende risico te verlagen, het onderspit delven tegen meer op de korte termijn georiënteerde ontwikkelingen zoals laagconjunctuur, koopkracht, herverdeling, inflatie, enzovoort. Deze laatste zullen van politici voorrang krijgen in hun beleid omdat er electoraal meer winst mee valt te behalen.

De belangrijkste kansen en kosten verbonden aan klimaat en infrastructuur beschrijven we hieronder beknopt voor het belangrijkste type calamiteiten in Nederland: overstromingen.

5.2. Overstromingen

Economische afweging van overstromingen in Nederland gaat uit van overstromingsrisico. Waterveiligheidsbeleid leidt (evenals klimaatverandering zelf) tot een verandering in overstromingsrisico. Het overstromingsrisico wordt bepaald als het product van de overstromingskans en de overstromingsschade [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006]. Het vaststellen van overstromingsrisico gaat gepaard met diverse elementen van onzekerheid.

In 1960 zijn, naar aanleiding van de watersnoodramp in Zeeland van 1953, normen opgesteld voor overstromingskansen [Deltacommissie 1960]. Deze kansen waren gebaseerd op een uniforme analyse voor geheel Nederland. In een kosten-batenperspectief wordt deze werkwijze als onvolledig beoordeeld [Eijgenraam e.a., 2005; WRR, 2006]. Recentelijk wordt een herdefiniëring van normen voorgesteld [Deltacommissie, 2008]. Een uniforme beoordeling van heel Nederland houdt geen rekening met verschillen in risico, demografie en economie per dijkkring. Beter is het een afweging per dijkkring of per overstromingsscenario te maken [Veiligheid Nederland in Kaart, 2004; Klijn e.a., 2007]. Voorts dient niet alleen de kans op overstroming maar ook de schade bij realisatie van die kans te worden meegenomen in een economisch afwegingskader.

De *kans op overstromingen* staat niet alleen onder invloed van fysieke effecten zoals klimaatverandering en bodemdaling, maar ook van maatschappelijke voorkeuren, bijvoorbeeld als het er om gaat welke risico's maatschappelijk worden geaccepteerd. Het huidige beleid bouwt voort op normen voor overstromingskansen die in 1960 zijn vastgesteld voor de dijkkringen in Nederland. Tegenwoordig worden deze normen iedere vijf jaar aangepast. Het schatten van de fysieke overstromingskans gaat evenwel gepaard met meetproblemen. Uit berekeningen blijkt voorts dat een aanzienlijk aantal dijkkringen anno 2004 niet voldeed aan de norm [Klijn e.a., 2004]. In 2007 is dit nog steeds het geval [DNB, 2007]. Langs de kust bevinden zich zwakke schakels.

In het vigerend beleid wordt veiligheid tegen overstrooming duidelijk opgevat als een nationaal collectief belang, terwijl toegestane en actuele overstromingskansen per dijkkring verschillen. In dit verband lijkt een zekere regionale verdiscontering op basis van bevolkingsdichtheid en economische activiteit te zijn gemaakt: voor een dichtbevolkte, grote dijkkring als Zuid-Holland wordt een lagere toegestane overstromingskans gehanteerd dan voor Groningen en Friesland, twee grote doch dunbevolkte provincies [Eijgenraam e.a., 2005]. Vanuit efficiencyoverwegingen ligt het voor de hand om een gedifferentieerd risico te hanteren, terwijl vanuit gelijkheid gedacht iedere dijkkring eenzelfde overstromingskans zou moeten hebben.

De onzekerheid omtrent de toekomstige ontwikkeling van overstromingskansen is vrij fors. Klimaatverandering is een non-lineair proces met vele en complexe mee- en terugkoppelingseffecten, hetgeen leidt tot grote wetenschappelijke onzekerheden met betrekking tot de inschatting van overstromingskansen [Klijn e.a., 2007]. Er kan worden gewerkt met decimeringshoogten (de zeespiegelstijging waarbij een vertienvoudiging van de kans op overstromingen optreedt); hierbij wordt echter nog niet gedifferentieerd naar scenario's voor klimaatverandering [Aerts e.a., 2008].

De *kosten van overstromingen* staan eveneens onder invloed van zowel fysieke effecten (omvang van een weerramp in relatie tot fysieke eigenschappen van een gebied zoals maaiveldhoogte) als van maatschappelijke effecten. Een belangrijke maatschappelijke indicator is *economische groei*. Hoe meer welvaart er in een dijkkring wordt opgebouwd, hoe meer het loont om deze dijkkring te beschermen tegen overstrooming. Economische groei (en daarmee potentiële schade) kan zich bovendien per dijkkring verschillend ontwikkelen. Infrastructuur is een noodzakelijke voorwaarde voor economische activiteit. Regio's met veel infrastructuur zullen een hoge potentiële schade van overstromingen laten zien, die ook omliggende regio's treft. De forse bandbreedte tussen uitkomsten van economische scenario's leidt tot grote verschillen tussen de verwachte batenposten van waterveiligheidsmaatregelen in de tijd.



De belangrijkste schadeposten van overstromingen zijn fysieke schade, bedrijfsuitval en indirecte schade in de getroffen regio en omliggende regio's. Het model HIS-SSM van Rijkswaterstaat geeft goede inschattingen van fysieke schade en bedrijfsuitval. Het model RAEM van TNO kan indirecte effecten voor geheel Nederland in beeld brengen op basis van markttransacties op de productmarkt, woningmarkt en arbeidsmarkt [Jonkhoff e.a., 2008]. In relatie tot infrastructuur zijn pendel en migratie hierbij van bijzonder belang.

De *kosten van het verlagen van de overstromingskansen* hangen in fysieke zin samen met de aard en snelheid van klimaatverandering. Dit vormt een belangrijk aandachtspunt bij het in de tijd afwegen van investeringen in veiligheid tegen overstromen. Zowel te vlot als teveel investeren zijn ongewenst omdat dit een zekere verspilling van middelen inhoudt. De schade van te weinig dan wel te laat investeren is evenwel in potentie nog groter. Omdat er onvolledige informatie bestaat over het tempo van klimaatverandering, moet de samenleving een risicohouding kiezen, zoals ook hiervoor al ter sprake kwam. Lange termijn-ramingen van de kosten van achterstallig en overig dijkenonderhoud afgezet tegen het toekomstig bruto nationaal product vallen laag uit en ondersteunen de keuze voor een risicomijdende investeringshouding [DNB, 2007].

Verder staan de kosten van het verlagen van de overstromingskansen onder invloed van economische groei en openbare financiën. Hoe sneller de economie groeit, hoe meer middelen er ter beschikking staan om te investeren in veiligheid. Een (forse) vertraging van groei kan echter de investeringsmogelijkheden beperken en bovendien de maatschappelijke bereidheid tot investeren veranderen, waarbij de voorkeur bijvoorbeeld verschuift van veiligheid tegen overstromen naar sociale zekerheid. Net als bij het bepalen van een risicohouding spelen maatschappelijke voorkeuren een belangrijke rol als het gaat om het deel van ons bruto binnenlands product (BBP) dat we bereid zijn te investeren in veiligheid [Jonkhoff, 2008].

Behalve de mate van economische groei speelt de vraag mee wanneer zich voor het laatst een omvangrijke ramp of bijna-ramp heeft voorgedaan, zoals in 1953 en in het rivierengebied in 1993 en 1995. Direct na een dergelijke gebeurtenis bestaat er een grote investeringsbereidheid. Na verloop van tijd ebt deze bereidheid weg. Voor de publieke perceptie is niet zozeer het toekomstig verwachte overstromingsrisico het uitgangspunt maar het recentelijk ervaren risico. Bovendien is de financiële ruimte voor investeringen in veiligheid van infrastructuur en waterkeringen mede afhankelijk van de conjunctuurcyclus. De Deltacommissie (2008) stelt om deze reden het vormen van een apart Deltafonds voor.

Evacuatie

Vindt een calamiteit plaats (in de meeste gevallen overstroming) dan kan evacuatie een grote invloed hebben op de schade en slachtoffers. Het voorkomen van menselijke slachtoffers is van onschatbare waarde. Om praktische redenen wordt bij evaluatie van infrastructuur de statistische waarde van een mensenleven wel uitgedrukt in euro's. Hierbij gaat het om bedragen rond de een miljoen euro.

Een secundaire post is de schade door productie-uitval. Hoe eerder productieprocessen na een calamiteit weer hersteld zijn, hoe eerder in een regio weer toegevoegde waarde wordt voortgebracht en hoe geringer dus de schade van overstromingen uitvalt. Infrastructuur speelt hierbij een centrale rol. De waarde van goede evacuatie is derhalve onomstreden. Een belangrijk kenmerk van infrastructuur is daarbij de persistentie ervan: een lange levensduur gepaard gaande met hoge aanleg-, onderhouds- en sloopkosten. Hierdoor is het relatief duur en tijdrovend om infrastructuur te verleggen.

Kennisvragen

In de huidige situatie doet er zich een veelheid aan kennisvragen voor rond de economische waardering van klimaatgebonden risico's. Waterveiligheid kent kennislacunes rond de invulling van economische scenario's op de zeer lange termijn (tot 2100).

Er is nog onvoldoende bekend hoe economische en klimaatscenario's consistent kunnen worden gecombineerd. Een belangrijke omissie is verder de vaststelling van actuele overstromingskansen (door diverse faalmechanismen). Het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) boekt vooruitgang bij het inschatten van faalmechanismen en kansen. Veel blijft echter onbekend, in het bijzonder juiste inschatting van toekomstige overstromingskansen. Een onbeantwoorde vraag is verder of dijkringen dan wel overstromingsscenario's de grondslag moeten zijn voor de vaststelling van aggregaten van overstromingsrisico's. Voorts is de keuze van een optimale risicohouding in het licht van onzekerheid nog onvoldoende bekend [Jongejan, 2008]. Gerelateerd is de vraag hoe beleid optimaal wordt weergegeven. Hierbij doet zich het dilemma voor dat enerzijds te vroeg, laat, veel of weinig investeren dient te worden voorkomen terwijl beleid vertraging kent bij herkenning, besluitvorming,



implementatie. Daarmee is de realisatie van besluitvorming eveneens een onzeker proces in de tijd. De toekomst van het toerisme door toedoen van klimaatverandering is eveneens nog onvoldoende bekend.

- *Welke overstromingsscenario's zijn belangrijk voor infrastructuur? Welke schade wordt hierbij geschat?*
- *Welke risicoperceptie hebben burgers omtrent overstromingsrisico? Hoe valt dit vanuit gedragseconomie te verklaren en wat zegt dit over draagvlak voor preventieve maatregelen?*
- *Welke typen bedreigingen van calamiteiten voor infrastructuur zijn er gemoeid met klimaatverandering?*
- *Welke risicoperceptie hebben bewoners van laaggelegen gebieden van gevolgen van klimaatverandering zoals overstromingen? In hoeverre stemt deze overeen met gemeten overstromingsrisico's?*
- *Welk vluchtgedrag kan worden verwacht indien zich een grote calamiteit voordoet?*
- *Welke rol kan infrastructuur spelen bij de preventie van calamiteiten: waterkerend, compartimenterend?*
- *Hoe kan de rol van infrastructuur tijdens een calamiteit optimaal zijn? Hoe kunnen wegen het beste worden ingezet als vluchtroutes? Hoe kan congestie worden voorkomen?*
- *Op welke wijze kan infrastructuur worden ingezet bij de nazorg als consequentie van calamiteiten?*
- *Op welke wijze kan na een calamiteit infrastructuur zo snel mogelijk weer functioneel worden gemaakt?*
- *Hoe kan de uitval van productieprocessen en de afsnijding van woningen zo mogelijk worden verholpen met gebruikmaking van infrastructuur?*
- *Hoe kan de meting van overstromingskansen worden verbeterd?*
- *Welke normen voor overstromingskansen sluiten het beste aan bij de maatschappelijke voorkeur? Welke normen zijn economisch optimaal?*
- *Hoe ontwikkelen overstromingskansen zich onder invloed van scenario's voor klimaatverandering?*
- *Welke alternatieven zijn voorhanden om risico's voor infrastructuur te verlagen?*
- *Hoeveel kost het aanpassen van infrastructuur aan verwachte toename van risico's daarvoor als gevolg van klimaatverandering? Welke afname van risico leveren alternatieve oplossingen?*
- *Welke gevolgen hebben diverse financieringsopties van infrastructuur en klimaatrisico's voor de openbare financiën?*
- *Welke schade richt verzilting op termijn aan bij diverse typen gewassen? In hoeverre zijn marktomstandigheden en toekomstige schaarste van invloed op de prijs van deze gewassen en daarmee op de schade van verzilting? Wat betekent dit voor infrastructuur?*
- *Wat betekent verzilting voor de lokale economie en werkgelegenheid in laaggelegen regio's? Welke invloed op infrastructuur valt te verwachten?*
- *Welke toename van het toerisme in Nederland valt door klimaatverandering te verwachten? Welke gevolgen heeft dit voor het gebruik van infrastructuur?*



6. Samenvatting en aanbevelingen

In deze rapportage zijn mogelijke consequenties van voorspelde klimaatveranderingen voor infrastructuur in Nederland beschreven. Ook is verkend welke rol infrastructuur kan spelen in adaptatie voor klimaatverandering. De klimaatveranderingen zijn daarbij beschreven als de effecten op de temperatuurstijging, de wind, de neerslag (toe- en afname), de rivierstijging en daling, de zeespiegelstijging en mogelijke nieuwe doorvaartroutes via de Noordpool. Bij infrastructuur is een onderscheid gemaakt naar wegen, spoorwegen, waterwegen, knooppunten (vliegvelden, stations en havens) en kunstwerken (bruggen, viaducten, tunnels en waterkeringen). Bij de effecten voor de infrastructuur is aangegeven, dat een onderscheid gemaakt moet worden naar de effecten voor de planning van infrastructuur, de aanleg en het onderhoud. Dit is mede van belang vanwege de gewoonlijk lange afschrijvingstermijn van infrastructuur. Planning heeft meestal een zeer lange termijn als horizon en onderhoud een korte termijn. Daarnaast moet bij effecten altijd rekening gehouden worden met directe effecten en indirecte (tweede orde)effecten.

De effecten zijn in de vorige hoofdstukken beschreven vanuit drie perspectieven: het fysieke, het ruimtelijke en het economische perspectief. Op deze wijze zijn ook de kennisvragen geordend op het eind van ieder hoofdstuk. In deze kennisvragen is geen prioritering aangebracht, noch vanuit het onderzoek noch vanuit het beleid. De belangrijkste reden hiervoor is dat uit de gevoerde gesprekken met belanghebbenden tot nu toe gebleken is dat per ruimtelijk schaalniveau (stad, regio en lang) en per context (hoog en laag Nederland; invloed van zeespiegelstijging en rivierwaterafvoer) de vragen zeer divers kunnen liggen.

Toch zijn er wel algemene aanbevelingen te geven. Deze aanbevelingen zijn hier, anders dan in de voorafgaande hoofdstukken, gekoppeld aan generieke kennisvragen vanuit de infrastructuur. Deze vragen worden hieronder geordend op de lijn van benodigde data, onderzoeksmethoden, kennisdisseminatie en te voeren beleid.

1. Klimaatprojecties worden thans over het algemeen gegeven door kennisinstellingen zoals het KNMI, Deltares en de planbureaus. Deze projecties sluiten vaak niet aan op de behoeften van de instanties die verantwoordelijk zijn voor aanleg en onderhoud van infrastructuur (het ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, provincies en gemeenten). Het verdient aanbeveling dat de infrastructuurpartijen aangeven aan welke data en informatie behoefte bestaat om in de toekomst bij de planning, aanleg en het onderhoud beter voorbereid te zijn op de klimaatverandering. De informatiebehoefte zal vaak relatief locatiegevoelig blijken. Op basis van deze inzichten is een beter gesprek tussen kennisinstellingen en infrastructuurpartijen mogelijk.
2. Vanuit de professionals in de infrastructuur zou een beschrijving kunnen worden gemaakt van klimaatbestendige infrastructuur. Deze beschrijving kan een belangrijke input vormen voor de planning van de hoofdinfrastructuur op rijks- en provinciaal niveau. Bij deze planning zou ook aandacht geschonken kunnen worden aan meervoudig gebruik van de infrastructuur, bijvoorbeeld als vluchtroute, vluchtlocatie, en voor waterafvoer via tunnels, bereikbaarheid van gebieden die last hebben van teveel water en compartimentering.
3. Onderzoeksmethoden zijn op dit moment in de infrastructuurplanning veelal gebaseerd op historische informatie. De onzekerheden die spelen bij klimaatverandering zijn echter zeer groot. Hiervoor is ontwikkeling van innovatieve onderzoeksmethodieken nodig, die meer met onzekerheden rekening houdt. Scenario-ontwikkeling, meer risk based methoden en transparante besluitvormingsondersteunende methoden lijken hier een goede kans te maken.
4. Infrastructuurmodaliteiten hebben verschillende niveaus van verfijning in hun netwerken. Ook hun netwerkgevoeligheid verschilt. Het spoornetwerk is bijvoorbeeld grofmaziger dan het wegennet als geheel. De effecten hiervan, en de gevoeligheden van de netwerken voor klimaatgebonden risico's, zijn nog onvoldoende in beeld gebracht. Omdat netwerkeffecten ook omliggende regio's beslaan, zal er sprake zijn van schade in deze andere regio's. Hoe groot deze schade zal zijn, dient in beeld te worden gebracht.
5. Gezien de diversiteit van de activiteiten die in de toekomst op dit terrein wordt voorzien is het verstandig de kennisuitwisseling op het terrein van klimaat en infrastructuur te stroomlijnen, bijvoorbeeld in de vorm van een kennisdisseminatiecentrum. Dit centrum is er alleen op gericht om nieuwe (wetenschappelijke inhoudelijk en onderzoeksmethoden) kennis onder te aandacht te brengen van belanghebbenden en best practices uit te wisselen. In deze zin kan het ook een vraagbaak zijn voor overheden en private partijen die infrastructuur willen ontwikkelen dan wel onderhouden.



6. De onzekerheden die spelen bij de klimaatverandering vergen een meer integrale wijze van aansturing. Meer op governance gerichte sturing waarin zowel veiligheid, ruimtelijke ordening, fysieke en economische aspecten een rol spelen zou hiervoor een uitgangspunt moeten zijn. Welke sturingsconcepten in welke situatie passen dient onderwerp te zijn van nader overleg en onderzoek.



7. Referenties

Aerts, J., T. Sprong & B. Bannink, 2008. *Aandacht voor veiligheid*, DG Water/Klimaat voor Ruimte/leven met water, www.adaptation.nl.

Atelier Zuid Vleugel, 2006. *Ruimtelijke verbeeldingen, de logica van een onzekere toekomst*

Berkhout, F. & J. Hertin, 2002. Foresight futures scenarios – developing and applying a participative strategic planning tool, *GMI*, nr 37, voorjaar 2002

Bossche, M.A. O. van den, J. Teule, J. Oosterhaven, J.E. Strum & P.J. Zwaneveld, 1999. *Fundamenteel voorwaarts - naar een praktisch werkbaar en theoretisch gefundeerde benadering van voorwaartse economische effecten*, Onderzoeksprogramma Economische Effecten Infrastructuur, NEI/Rijksuniversiteit Groningen/TNO Inro, Rotterdam

Burdy, R.J., ed., 1998. *Cooperating with Nature: confronting natural hazards with land-use planning for sustainable communities*, Joseph Henry Press, Washington D.C., 368pp.

CPB/RPB/MNP, 2006. *Welvaart en leefomgeving. Een scenariostudie voor Nederland in 2040*, L.H.J.M. Janssen, V.R. Okker, & J. Schuur. Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau, Ruimtelijk Planbureau.

Cutter, S., 2001. *American Hazardscapes; The regionalization of hazards and disasters*, Joseph Henry Press, Washington D.C.

Deltacommissie, 1960. *Rapport Deltacommissie*, Staatsdrukkerij en uitgeverijbedrijf, Den Haag

Deltacommissie, 2008. *Samen werken met water*, advies van de commissie-Veerman, Den Haag

Deltares, 2008. *Klimaatbestendigheid van Nederland waterland – knikpunten in beheer en beleid*, te verschijnen, Delft/Utrecht

De Nederlandsche Bank, 2007. Gevolgen van klimaatverandering voor de Nederlandse overheidsfinanciën, *Kwartaalbericht*, september 2007, Amsterdam

Dorland, R., B. Jansen & W. Dubelaar-Versluit, 2008. *De Staat van het Klimaat 2007*, uitgave PCCC, De Bilt/Wageningen

Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, P.J.G. Tang & A.C.P. Verster, 2000. *Evaluatie van infrastructuur – leidraad voor kosten-batenanalyse*, Centraal Planbureau/Nederlands Economisch Instituut, Den Haag/Rotterdam

Eijgenraam, C.J.J., 2005. *Veiligheid tegen overstromen – kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier, deel 1*, CPB document nr 82, Centraal Planbureau, Den Haag

Fujita, M., P. Krugman & A. Venables, 1999. *The spatial economy; Cities, regions and international trade*, MIT Press, Cambridge, MA.

Future Water, 2007. *Klimaatverandering en adaptatie – Inventarisatie onderzoeksprojecten ten behoeve van ARK*

Hove, L.W.A. van & H. van Noord, 2007. *Klimaatverandering en infrastructuur – Een verkennende studie*, Alterra in opdracht van Rijkswaterstaat dienst Weg- en Waterbouwkunde

Huizinga, F. & B. Smid, 2004. *Vier vergezichten op Nederland – productie, arbeid en sectorstructuur in vier scenario's tot 2040*, nr. 55, centraal Planbureau, Den Haag

Infrastructure Canada, 2006. *Adapting infrastructure to climate change in Canada's cities and communities – A literature Review*, Research & Analysis Division, Infrastructure Canada



Ivanova, I., C. Heyndrickx, K. Spiteals, L.A. Tavasszy, W.J.J. Manshanden, M. Snelder & O.Koops, 2007. *RAEM: version 3.0*, Transport & Mobility, Leuven

Jongejan, R.B., 2008. *How safe is safe enough?*, dissertatie, TU Delft

Jonkhoff, W., O. Koops, R.A.A. van der Krogt, G.H.P. Oude Essink & E. Rietveld, 2008. *Economische effecten van klimaatverandering*, TNO-rapport, Delft

Jonkhoff, W., 2008. Waterveiligheid in de 21e eeuw, *ESB*, 17 oktober 2008, blz 634-6

Kabat, P., Vellinga, P. & van Ierland, E.C., 2003. *Gevolgen en Risico's van Klimaatverandering voor Nederland – Voorkomen en Aanpassen*, Presentatie 30 oktober 2003, "Klimaatwetenschappers informeren gezamenlijk de Tweede Kamer"

Klijn, F., P. Baan, K. de Bruin & J.C.J. Kwadijk, 2007. *Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat – verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het project Nederland Later*, rapport in opdracht van MNP, WL Delft Hydraulics, Delft

KNMI, 2006. KNMI Climate change scenarios 2006 for the Netherlands, scientific report WR 2006-01, De Bilt, 2006

KNMI, 2006. *Klimaat in de 21^e eeuw – vierscenario's voor Nederland*, De Bilt

Koike, A., 2007. *Spatial CGE analysis for economic damage assessment of disasters*, working paper, 53rd North American RSAI congress

Mileti, D., 1999, *Disasters by Design: A Reassessment of Hazards in the United States*, Joseph Henry Press: Washington D.C.

Ministerie van Binnenlandse Zaken, 2004. *Handboek rampenbestrijding*

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006, *Veiligheid Nederland in Kaart – risicocase dijkkring 14 Zuid-Holland, berekening van het overstromingsrisico*, DWW-2006-010, Den Haag

Mitchell, J. K., 1999. *Crucibles of Hazard: mega-cities and disasters in transition*, United Nations University Press: New York. pp535.

MNP, 2006. *Ruimtelijke beelden voor Zuid-Holland*, rapport 50007/4002/2006

MNP, 2007. *Nederland later - Tweede Duurzaamheidsverkenning, deel fysieke leefomgeving Nederland*, Bilthoven

Neuvel, J.M.M., 2004. *Worstelen met water. Maatschappelijke percepties op risico's van wateroverlast en watertekort en consequenties voor de planningsopgave* RIVM rapport 500023002|2004, Afstudeerscriptie Leerstoelgroep Landgebruiksplanning, Wageningen Universiteit, Wageningen.

Milieu- en Natuurplanbureau, 2007. *Nederland later – tweede duurzaamheidsverkenning deel fysieke leefomgeving Nederland*, MNP-publicatie 500127001/2007, Bilthoven

Oosterhaven, J., J.P. Elhorst, C.C. Koopmans & A. Heyma, 2004. *Indirecte effecten infrastructuurprojecten – aanvulling op de Leidraad OEI*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Ministerie van Economische Zaken, Den Haag

Ooststroom, H. van, J.A. Annema, & J. Kolkman, 2008. "Effecten van klimaatverandering op verkeer en vervoer – implicaties voor beleid", Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid

PCCC, 2007. *Het IPCC-rapport en de betekenis voor Nederland*, Wageningen, mei 2007, www.klimaatportaal.nl



Schrojenstein Lantman, J.P. van, 2007. *Overstromingsschade in dijkkring 14 – een koppeling van het Hoogwater Informatie Systeem aan de Ruimtescanner*, MNP rapport 500072002/2007, Bilthoven

Smith, K., 2001. *Environmental Hazards: assessing risk and reducing disaster*, Third Edition. Routledge Physical Environmental Series, Routledge, London.

Snelder, M., Schrijver, J. & Rooijen, T. van, 2008. *Naar een klimaatbestendig wegennetwerk – De robuustheid van het wegennetwerk voor verstoringen die door klimaatveranderingen vaker voor zullen komen*, TNO Bouw en Ondergrond position paper, 2008

State of Victoria, 2006. *Climate Change and Infrastructure Planning Ahead*, State of Victoria, Department of Sustainability and Environment

Vlies, J. van der, H. Puts, M. Willems, J. Graveland, A. Verkruysse, A. de Groene, F. van Kouzen & C. Dieperink, 2007. *Duurzaam leven aan zee: de Nederlandse kust in 2080*, TNO-rapport 66137, Delft

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, 2006. *Klimaatstrategie – tussen ambitie en realisme*, rapporten aan de regering nr. 74, Amsterdam University Press, Den Haag/Amsterdam.

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, 2008. *Infrastructures– time to invest*, rapporten aan de regering nr. 81, Amsterdam University Press, Den Haag/Amsterdam.





A. Scenariostudies

Scenariostudies vormen een manier om bij onzekerheid mogelijke toekomstbeelden te schetsen voor de lange termijn. Klimaatverandering leent zich dan ook voor scenariostudie. Zowel het Intergovernmental Panel on Climate Change [PCCC, 2007] als het KNMI bedienen zich van scenariostudie om tot mogelijke toekomstbeelden te komen [KNMI, 2006]. Scenariostudie kan op verschillende manieren worden toegepast. Extrapolerende scenario's vertalen huidige systeemwerking naar de toekomst. Normatieve scenario's stellen de vraag hoe de toekomst eruit zou moeten zien. Explorerende scenario's stellen de vraag hoe de toekomst er mogelijk uit zou kunnen zien [Berkhout & Hertin, 2002]. Explorerende scenario's zijn aansprekende beelden van *mogelijke* toekomst. In deze (op meerdere aspecten samenhangende) beelden wordt behalve met huidige trends en ontwikkelingen (plus onderzoek) vooral rekening gehouden met huidige onzekerheden rondom de toekomst. De scenario's doen geen uitspraak over de waarschijnlijkheden van bepaalde beelden. Het opstellen van scenario's vereist participatieve inbreng van betrokken belanghebbenden (beleidsmakers, onderzoekers, bedrijven, burgers). Het proces rondom het opstellen van scenario's is gezien de kennisuitwisseling en gesprekken die er plaats vinden tussen zeer uiteenlopende expertises uitermate belangrijk. Aansprekende toekomst beelden zijn onderling contrasterende, consistente, realistische toekomst beelden "aan de rand van het eigen geloof"(geen science fiction, wel 'wakker schudden').

Er zijn en worden diverse studies en projecten uitgevoerd die de mogelijke effecten van klimaatverandering in Nederland inventariseren. Zulk onderzoek richt zich vaak op specifieke deelelementen. Het ontbreekt aan een integrerend kader dat onzekerheden met betrekking tot toekomstige ontwikkelingen expliciteert. Veel van de studies zijn extrapolerend van aard, met de daarbij behorende *impliciete* statistische- methodologische- en epistemologische onzekerheden. Immers: er is weliswaar veel bekend over globale temperatuurstijging, maar weinig over de effecten daarvan op lokaal niveau.

Opstellen van scenario's

Een invulling van explorerende scenariostudie is scenarioplanning. De scenarioplanning methode is oorspronkelijk ontwikkeld vanuit het bedrijfsleven. De methode heeft bijvoorbeeld Shell in de jaren zeventig mede in staat gesteld beter te anticiperen op onverwachte, maar wel denkbare ontwikkelingen zoals de olieboycots. Het is een methode die organisaties in staat stelt strategisch en met focus met onzekerheden om te kunnen gaan. Het gaat daarbij niet om extrapolaties uit het verleden, maar om exploraties van de toekomst. In toenemende mate wordt de methodiek ook toegepast voor en door andere organisaties dan bedrijven (onder andere het ministerie van VROM, RIVM, Planbureau voor de Leefomgeving, KNCV, Leven met Water) [Van der Vlies e.a., 2007]. Methodologisch kunnen vijf stappen worden onderscheiden:

Stap 1: Formuleren van de kernvraag

Het beginpunt van iedere scenario exercitie is het formuleren van de kernvraag. Dat is de vraag die aan het eind van de exercitie in ieder scenario beantwoord wordt en de reden waarom er überhaupt scenario's worden gemaakt.

Stap 2: Inventariseren, clusteren en prioriteren van zekerheden en onzekerheden

De basis voor het opstellen van scenario's wordt gevormd door zekerheden en onzekerheden waar diverse betrokkenen nu mee zitten met betrekking tot het onderwerp van de kernvraag. Door interactie worden bouwstenen voor de scenario's gecreëerd. De inventarisatie van onzekerheden levert doorgaans een lange lijst van zeer uiteenlopende issues op. Het is daarom raadzaam deze onzekerheden te clusteren. Vervolgens kan bekeken worden welke clusters en onderliggende ontwikkelingen, ten opzichte van de andere clusters, het meest onzeker zijn en de grootste gepercipieerde impact hebben.

Stap 3. Samenstellen van een assenstelsel of scenariomatrix

De clusters van onzekerheden die als zeer onzeker en zeer belangrijk worden ervaren, vormen de basis voor een assenstelsel of scenariomatrix. Door van twee geprioriteerde clusters extreme uitkomsten te formuleren, wordt een geraamte gevormd voor drie of vier contrasterende beelden.



Stap 4. Schrijven van scenario verhalen

Na het opstellen van een scenariomatrix dienen de scenarioverhalen geschreven te worden. De verhalen komen tot stand door voor de diverse onzekerheden te identificeren wat belangrijke drijvende krachten zijn en welke verbanden er bestaan tussen de diverse ontwikkelingen.

Stap 5. Beantwoorden van de kernvraag (in de vervolfase)

Eerst wordt per scenario een antwoord geformuleerd op de kernvraag. Vervolgens wordt één algemeen antwoord geformuleerd, op basis van de elementen in alle afzonderlijke antwoorden. Uiteindelijk bestaat het antwoord op de kernvraag uit twee delen:

- robuuste aspecten die in de antwoorden vanuit alle scenario's terugkomen. Deze aspecten vormen de bouwstenen voor een robuuste strategie. Robuust wil hier zeggen onafhankelijk van de kant die ontwikkelingen opgaan, zijn deze acties relevant;
- aspecten die alleen terugkomen in een of twee scenario's. Deze aspecten vormen een soort waarschuwingssysteem: als ontwikkelingen zo en zo uitkristalliseren, dan zou je er dit en dat gedaan moeten worden.

Vertaling naar korte termijn acties

Na het beantwoorden van de kernvraag, wordt de vraag gesteld wat het een en ander op de korte termijn impliceert. Door middel van terugredeneren ('backcasting') wordt bekeken welke acties nu zouden kunnen of moeten ondernomen en welke partijen dat zouden moeten dan wel kunnen doen. Acties zijn daarbij ook op te vatten als het in gang zetten van de beantwoording van kennisvragen. Het verschil is nu echter dat na het uitvoeren van het scenario planningproces de vragen helderder kunnen worden gearticuleerd, bijgesteld, aangevuld en dat de onderlinge samenhang duidelijker wordt.

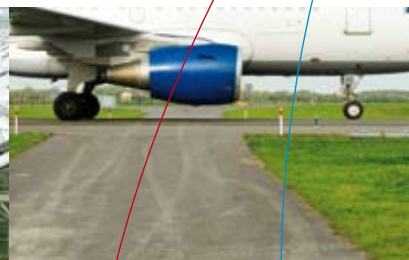


B. Directe effecten van klimaatverandering op infrastructuur

	Wegen	Spoorwegen	Waterwegen	Knooppunten (vliegvelden, stations)	Kunstwerken (incl. waterkeringen)
Temperatuur ↑	<ul style="list-style-type: none"> • Smeltend asfalt • Stof en vuil op wegdek • Ozon en smogvorming • Meer spoorvorming • Minder vorstindringing 	<ul style="list-style-type: none"> • Spatten rails 	<ul style="list-style-type: none"> • Minder ijsgang 	<ul style="list-style-type: none"> • Smeltend asfalt • Spatten rails • Te korte start- en landingsbanen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vollopen tunnels en diepe liggingen • Verdroging dijken • Problemen met bewegende bruggen – uitzetten materialen
Wind ↑	<ul style="list-style-type: none"> • Schade aan bewegwijzering • Overlast door takken en bladeren • Wegafsluitingen voor hoog verkeer • Meer geluidsoverlast • Fijn stof over groter gebied 	<ul style="list-style-type: none"> • Schade aan bovenleidingen • Overlast door takken en bladeren 	<ul style="list-style-type: none"> • Belemmering veerdiensten door zware zeegang • Golfslag 	<ul style="list-style-type: none"> • Beperking vliegverkeer • Schade elektrische systemen • Capaciteitsafname vliegverkeer door zijwind • Geluidsoverlast in groter gebied 	<ul style="list-style-type: none"> • Afsluiting bruggen voor verkeer • Duinafslag
Neerslag ↑	<ul style="list-style-type: none"> • Afvoerprobleem • Gladheid • Zichtbeperking • Verweking of afkalving van de onderbouw 	<ul style="list-style-type: none"> • Verweking van de onderbouw • Gladheid (bij combinatie met lage temperaturen, roest en herfstbladeren) 		<ul style="list-style-type: none"> • Vollopen onderdoorgangen • Afvoerproblemen start- en landingsbanen • Gladheid start- en landingsbanen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vollopen tunnels en onderdoorgangen
Neerslag ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Verdroging onderbouw: <ul style="list-style-type: none"> ○ Verzakken weg ○ Instabiliteit grondlichaam 	<ul style="list-style-type: none"> • Verdroging onderbouw: <ul style="list-style-type: none"> ○ Verzakken spoor ○ Instabiliteit grondlichaam 		<ul style="list-style-type: none"> • Verdroging onderbouw luchthavens 	<ul style="list-style-type: none"> • Instabiliteit dijk • Ongelijkmatige zettingen



	Wegen	Spoorwegen	Waterwegen	Knooppunten (vliegvelden, stations)	Kunstwerken (incl. waterkeringen)
Rivieren ↑			<ul style="list-style-type: none"> • Beperking scheepvaart: <ul style="list-style-type: none"> ○ Verminderde doorvaarhoogte 	<ul style="list-style-type: none"> • Verminderde doorvaarhoogte 	<ul style="list-style-type: none"> • Verminderde doorvaarhoogte
Rivieren ↓			<ul style="list-style-type: none"> • Beperking scheepvaart: <ul style="list-style-type: none"> ○ Smallere vaargeul ○ Ondiepere vaargeul 	<ul style="list-style-type: none"> • Verminderde doorvaardiepte 	<ul style="list-style-type: none"> • Verminderde doorvaardiepte • Instabiliteit dijk
Zeespiegel ↑			<ul style="list-style-type: none"> • Verzilting rivierwater 		<ul style="list-style-type: none"> • Duinafslag • Hogere belasting dijken



Ontwikkelen van wetenschappelijke en toegepaste kennis voor een
klimaatbestendige inrichting van Nederland en het creëren van een
duurzame kennisinfrastructuur voor het omgaan met klimaatverandering

Contactinformatie

Programmabureau Kennis voor Klimaat

Secretariaat:

p/a Universiteit Utrecht

Postbus 80115

3508 TC Utrecht

T +31 88 335 7881

E office@kennisvoorklimaat.nl

Communicatie:

p/a Alterra, Wageningen UR

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T +31 317 48 6540

E info@kennisvoorklimaat.nl

www.kennisvoorklimaat.nl

