



Klimaatadaptatie: de stand van zaken

Rapport
Delft, juni 2014

Opgesteld door:
S.J. (Sanne) Aarnink



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

S.J. (Sanne) Aarnink

Klimaatadaptatie: de stand van zaken

Delft, CE Delft, juni 2014

Maatregelen / Beleid / Klimaatverandering / Effecten / Reductie / Inventarisatie

Publicatienummer: 14.4000.41

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Sanne Aarnink.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Doel van deze studie	7
1.3	Leeswijzer	8
2	Belangrijkste thema's en onderzoeken op het gebied van klimaatadaptatie	9
2.1	Inleiding	9
2.2	Klimaatadaptatie op Europees niveau	9
2.3	Klimaatadaptatie op nationaal en regionaal niveau	11
2.4	Raakvlakken met de expertise van CE Delft	12
3	Klimaatadaptatie in transport, energie en stedelijke omgeving	15
3.1	Inleiding	15
3.2	Transport (en -infrastructuur)	15
3.3	Energie en energienetwerken	19
3.4	Stedelijke omgeving	23
4	Conclusie	29
5	Referenties	31
Bijlage A	Belangrijkste klimaatimpacts voor Nederland	35





Samenvatting

Tot voor kort was er in het politieke klimaatdebat met name aandacht voor klimaatmitigatie (m.a.w. het reduceren van broeikasgasemissies) om de gevolgen van klimaatverandering te beperken. De gevolgen van klimaatverandering beginnen echter steeds zichtbaarder te worden en de veilig geachte 2 gradendoelstelling lijkt langzaam uit het zicht te verdwijnen. Zodoende neemt ook de aandacht voor klimaatadaptatie toe.

Klimaatadaptatie is gericht op het plannen en/of nemen van maatregelen die de (kans op) schade van klimaatverandering reduceren. Klimaatadaptatie is erg contextafhankelijk en zodoende varieert de adaptatiebehoefte tussen locaties en sectoren. Dit kenmerk van klimaatadaptatie en het feit dat de precieze impact van klimaatverandering moeilijk te voorspellen is, maakt dat klimaatadaptatie een lastige opgave is.

Vanuit de toenemende aandacht voor klimaatadaptatie is inmiddels een grote verscheidenheid aan onderzoeken en projecten gestart, zowel op Europees als op nationaal en lokaal niveau. Vooralsnog richten deze onderzoeken zich met name op de technische aspecten van klimaatadaptatie. Met andere woorden, de focus ligt vooral op welke klimaatgevolgen verwacht mogen worden en op de identificatie van alle mogelijke (technische) maatregelen waarmee de schade van deze gevolgen gereduceerd kan worden.

Deze technische inventarisatie van klimaateffecten en adaptatiemaatregelen is een logische eerste stap die vooraf moet gaan aan de daadwerkelijke implementatie van maatregelen. Echter, nu deze eerste stap in klimaatadaptatie gezet is en het voor steeds meer sectoren en locaties duidelijker wordt welke adaptatiemaatregelen benodigd zijn, groeit de noodzaak om een vertaalslag te maken van een puur technisch karakter naar de beleidsmatige en economische aspecten van klimaatadaptatie.

Belangrijke vraagstukken zijn o.a.:

- Wat zijn de maatschappelijke kosten en baten van de verschillende adaptatiemaatregelen? Welke maatregelen zijn dan het beste om te nemen in een bepaalde context?
- Welke synergiën kunnen behaald worden met klimaatmitigatie doeleinden (bijv. isolatie in stedelijke omgeving)?
- Welk beleid is nodig om actoren zo ver te krijgen om daadwerkelijk adaptatiemaatregelen te nemen?
- Wie moet betalen voor adaptatie? Hoe kunnen deze kosten worden toegerekend aan verschillende partijen? Welke financiële instrumenten zouden hierbij gehanteerd kunnen worden?

Bovenstaande vragen zullen in toenemende mate interessant en relevant worden in de verschillende sectoren. Dit type vragen ligt erg dicht tegen de expertise van CE Delft over klimaatmitigatiebeleid, MKBA's en financiële instrumenten. Daarnaast heeft CE Delft een diepgaande kennis opgebouwd wat betreft energie (en -infrastructuur), transport (en -infrastructuur) en de stedelijke omgeving die relevant is bij de verdere vormgeving van klimaatadaptatiebeleid. Met name binnen deze sectoren kan CE Delft een belangrijke rol spelen in het oplossen van bovenstaande vraagstukken.





1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Tot voor kort was er in het politieke klimaatdebat met name aandacht voor het reduceren van broeikasgassen (m.a.w. voor klimaatmitigatie) om de gevolgen van klimaatverandering te beperken. Echter, nu de gevolgen van klimaatverandering zichtbaarder beginnen te worden en de 2 graden-doelstelling langzaam aan uit het zicht lijkt te verdwijnen komt er ook steeds meer aandacht voor klimaatadaptatie. Klimaatadaptatie beslaat een breed scala aan maatregelen, maar is altijd gericht op het plannen en/of nemen van maatregelen die de (kans op) schade door klimaatimpacts reduceren. Zodoende kunnen adaptieve maatregelen zich richten op concrete acties die mogelijke schade beperken (bijvoorbeeld het bouwen van dijken) of op het reduceren van de kwetsbaarheid van bepaalde groepen mensen of ecosystemen (IPCC, 2007).

Klimaatadaptatie staat nog in de kinderschoenen en is daarom vooralsnog veelal gericht op onderzoek en het ontwikkelen van beleid. Hoewel er al wel concrete maatregelen genomen worden (bijv. het bouwen van dijken, groene daken, elektriciteitsnetten ondergronds neerleggen), worden maatregelen op dit moment vaak gekozen om andere doeleinden dan klimaatadaptatie. Naar verwachting zal klimaatadaptatie in toenemende mate een doel op zich worden, want zelfs als broeikasgassen wereldwijd aanzienlijk worden gereduceerd is klimaatverandering onvermijdelijk. Zowel de Europese Commissie als nationale en regionale overheden in de EU zijn daarom begonnen met het ontwikkelen van adaptatiebeleid om zich voor te bereiden op de gevolgen van klimaatverandering (PEER, 2009).

Klimaatbeleid is het belangrijkste milieuonderwerp voor het onderzoek en advies van CE Delft. Gezien de toenemende aandacht voor adaptatie in het klimaatbeleid, kan CE Delft hier een rol in spelen.

1.2 Doel van deze studie

Het doel van dit onderzoek is om een beknopt overzicht te geven van de stand van zaken op het gebied van klimaatadaptatie. Daarnaast is gekeken over welke onderwerpen CE Delft over de benodigde kennis beschikt om hierin een rol te spelen. Meer specifiek is met dit onderzoek beoogd om antwoorden te geven op de volgende vragen:

- Wat zijn de belangrijkste thema's die spelen op het vlak van klimaatadaptatie?
- Welke onderzoeks- en adviesprojecten op dit terrein lopen er nu, hebben er gelopen of gaan lopen, in Nederland en in de EU?
- Wat zijn de belangrijkste klimaatimpacts in Nederland en in de sectoren transport, energie en stedelijke omgeving?
- Welke adaptatiemaatregelen zijn denkbaar en/of worden nu al genomen in de sectoren transport (en -infrastructuur), energie (en -infrastructuur) en stedelijke omgeving?

Bij iedere vraag is ook gekeken naar welke relevante expertise CE Delft bezit.

Om antwoord te geven op de voorgaande vragen is een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd.

1.3 Leeswijzer

In de rest van dit rapport wordt ingegaan op de vier hoofdvragen die in de vorige paragraaf zijn geformuleerd. Hoofdstuk 2 gaat in op de belangrijkste thema's van klimaatadaptatie en op de onderzoeken die momenteel lopen naar deze thema's. Hoofdstuk 3 vat de belangrijkste klimaatimpacts samen voor Nederland en voor de sectoren transport, energie en de stedelijke omgeving. Ook worden de belangrijkste adaptatiemaatregelen omschreven voor deze sectoren. Ten slotte worden in Hoofdstuk 4 de belangrijkste conclusies samengevat.



2 Belangrijkste thema's en onderzoeken op het gebied van klimaatadaptatie

2.1 Inleiding

Klimaatverandering zal gevolgen hebben voor verschillende sectoren (bijv. transport, stedelijke omgeving, toerisme, etc.). Deze gevolgen zullen niet alleen verschillen tussen sectoren, maar ook tussen locaties. Zodoende is klimaatadaptatie een relevant onderwerp voor verschillende bestuurlijke niveaus (bijv. internationaal, regionaal, lokaal) en zal het benodigde adaptatiebeleid om de gevolgen van klimaatverandering te beperken ook context-specifiek zijn.

In de volgende paragrafen worden de belangrijkste thema's en onderzoeken op het gebied van klimaatadaptatie samengevat op Europees niveau (Paragraaf 2.2) en Nederlands niveau (Paragraaf 2.3). In Paragraaf 2.4 worden de raakvlakken met de expertise van CE Delft geïdentificeerd.

2.2 Klimaatadaptatie op Europees niveau

In deze paragraaf worden de belangrijkste thema's voor klimaatadaptatie op Europees niveau samengevat (Paragraaf 2.2.1) en worden enkele lopende onderzoeken voor de Europese Commissie toegelicht (Paragraaf 2.2.2).

2.2.1 Thema's op Europees niveau

De Europese Commissie heeft in 2000 het 'European Climate Change Program' (ECCP) in het leven geroepen dat oorspronkelijk met name gericht was op mitigatie. Onderzoek naar de gevolgen van klimaatverandering heeft echter aangetoond dat vrijwel alle Europese regio's hinder zullen ondervinden van klimaatverandering. Zodoende is er sinds 2005 ook een werkgroep opgericht die zich bezighoudt met adaptatie (PEER, 2009). Deze werkgroep heeft in 2009 een witboek voor klimaatadaptatie geschreven. Hoewel in het witboek benadrukt wordt dat de meeste maatregelen op nationale, regionale en lokale schaal genomen moeten worden, zijn ook vier hoofdthema's gedefinieerd waar de Europese Commissie zich mee bezig zal (blijven) houden (EC, 2009)

Het genereren van informatie/kennis, met name op het gebied van de te verwachten gevolgen, de sociaaleconomische aspecten van adaptatie, de kosten en voordelen van verschillende adaptatiemaatregelen en informatie over 'best practices' wat betreft adaptatiemaatregelen.

- **Verzorgen dat de gevolgen van klimaatverandering opgenomen worden in sectoraal beleid op Europees niveau.** Met name voor de sectoren die een Europese markt hebben en/of onderhevig zijn aan een Europees beleid is het van belang dat al rekening wordt gehouden met klimaatadaptatie om de kwetsbaarheid van deze sectoren voor klimaatverandering te reduceren. De belangrijkste voorbeelden van dergelijke sectoren zijn landbouw, water, biodiversiteit, visserijen, energienetwerken en transportinfrastructuur.



- **Financiering van klimaatadaptatiemaatregelen;** klimaatverandering is één van de hoofdprioriteiten voor het ‘multi-annual financial framework’ (2007-2013) van de Europese Unie. Hoeveel financiering naar dit onderwerp zal gaan in het volgende framework (2014-2020) is nog onduidelijk. De Europese Commissie is wel op zoek naar innovatieve manieren om klimaatadaptatie te financieren, bijvoorbeeld door de rol van verzekeringen en andere financiële producten te onderzoeken, door te bekijken hoe (de opbrengsten van) marktinstrumenten aangewend kunnen worden voor adaptatiedoelinden en door public-private partnerships te onderzoeken.
- **Ondersteunen van internationale adaptatiemaatregelen** om de kwetsbaarheid van bepaalde landen en sectoren te verminderen. Het gaat hierbij met name om de regio’s die de meeste gevolgen van klimaatverandering ondervinden en/of niet in staat zijn om zelf de benodigde adaptatiemaatregelen te nemen. Hieronder valt ook het bieden van (financiële) ondersteuning aan landen buiten de Europese Unie.

2.2.2 Onderzoeken naar adaptatie voor de Europese Commissie

De Europese Commissie heeft voor het verzamelen van kennis een platform, ‘Climate-ADAPT’, ontwikkeld waar kennis en informatie gedeeld kunnen worden. Alle Europese onderzoeksprojecten zijn verzameld in deze database. Deze bevat momenteel meer dan duizend publicaties, tools, casestudies en andere documenten over klimaatadaptatie (EC, sd).

De Europese Commissie noemt zelf een aantal ‘key EU-supported’ onderzoeken naar adaptatie (FP7-projecten binnen het Environment Work Programme) (Europese Commissie, 2013b). Het betreft o.a.:

- **RESPONSES (2010-2013):** *European responses to climate change: deep emissions reductions and mainstreaming of mitigation and adaptation*
In dit onderzoek wordt gezocht naar synergiën tussen mitigatie en adaptatie en wordt gekeken hoe beiden aspecten kunnen worden opgenomen in sectoraal Europees beleid.
- **CLIMSAVE (2010-2013):** *Climate change integrated assessment methodology for cross-sectoral adaptation and vulnerability in Europe*
In dit programma wordt een webtool ontwikkeld waarmee stakeholders gevolgen en kwetsbaarheden van verschillende sectoren kunnen bekijken om adaptatieplannen en -maatregelen te plannen.
- **RAMSES (2012-2017):** *Reconciling Adaptation, Mitigation and Sustainable Development for Cities*
Binnen dit onderzoek wordt een framework ontwikkeld waarmee Europese steden adaptatieplannen en -maatregelen kunnen definiëren.
- **BASE (2012-2016):** *Bottom-up Climate Adaptation Strategies towards a Sustainable Europe*
Deze studie evalueert twintig adaptatiecases om kennis te verkrijgen over adaptatie in de praktijk.
- **TOPDAD (2012-2015):** *Tool-supported policy-development for regional adaptation*
Project ter ondersteuning van regionale adaptatiebeslissingen over energie, transport en toerisme.

Er is een groot aantal verschillende partijen betrokken bij deze projecten, waarbij er niet één partij domineert.



2.3 Klimaatadaptatie op nationaal en regionaal niveau

Ook op Nederlands niveau is actie ondernomen op het gebied van klimaatadaptatie. De belangrijkste klimaatimpacts die het KNMI verwacht voor Nederland zijn samengevat in Hoofdstuk 5.

Deze paragraaf vat de belangrijkste thema's (Paragraaf 2.3.1 en 2.3.2) en onderzoeksprojecten (Paragraaf 2.3.2) in Nederland samen.

2.3.1 Thema's op Nederlands niveau

In Nederland is in 2008 de Nationale Adaptatie Strategie (NAS) 'Maak Ruimte voor Klimaat!' geïmplementeerd (PEER, 2009). De NAS richt zich met name op het klimaatbestendig maken van de Nederlandse ruimtelijke inrichting door slimme locatiekeuzes, het aanpassen van het ontwerp van gebouwen en gebieden en door de inrichting en het gebruik van ruimte. In de Nederlandse adaptatiestrategie zijn tien kwetsbare sectoren onderscheiden die gevolgen van klimaatverandering zullen ondervinden. Het betreft:

- Landbouw.
- Natuurbehoud en biodiversiteit.
- Energie en elektriciteitsvoorziening.
- Finance en verzekeringen.
- Bossen.
- Watermanagement (top prioriteit).
- Infrastructuur en gebouwde omgeving.
- Kustmanagement.
- Toerisme en recreatie.
- Ruimtelijke inrichting en landgebruik (top prioriteit). Dit kan gevolgen hebben voor transportinfrastructuur en energienetten.

Deze tien sectoren zijn opgenomen in het Nederlandse adaptatiebeleid, waarbij watermanagement en ruimtelijke inrichting de belangrijkste onderwerpen zijn (PEER, 2009).

De Algemene Rekenkamer (2012) heeft de NAS geëvalueerd en komt tot de volgende conclusies:

- Niet alle risico's en kwetsbaarheden zijn gedekt met de NAS (met name natuur, energie- en transportnetwerken en de volksgezondheid) en sommige risico's zijn nog niet goed ingeschat. Dit laatste geldt met name voor de effecten op gezondheid, energie, transport en recreatie/toerisme:
 - de interactie tussen verschillende effecten is ook onbekend (m.a.w. welke effecten versterken elkaar en welke gevolgen heeft een adaptatiemaatregel op andere sectoren).
- Er zijn geen concrete maatregelen gedefinieerd.
- Het klimaatadaptatiebeleid wordt niet gemonitord of geëvalueerd.
- De adaptatiekosten(en -baten) zijn voor Nederland alleen nog ingeschat voor ruimtelijke ontwikkeling en inrichting en voor waterveiligheid, maar nog niet voor andere aspecten.

2.3.2 Onderzoeken naar klimaatadaptatie voor de Nederlandse overheid

Naast de definiëring van een NAS heeft de Nederlandse overheid ook verschillende onderzoeksprogramma's gefinancierd. Onderzoek naar klimaatadaptatie is doorgaans een combinatie van algemene kennis over adaptatie en context-specifiek onderzoek; dit komt ook tot uiting in Nederlandse onderzoeksprogramma's (PEER, 2009).



Het eerste nationale onderzoeksprogramma (2004-2011) was het programma **Klimaat voor Ruimte (KvR)**. Dit programma was met name gericht op het aanpassen van ruimtegebruik om Nederland klimaatbestendig te maken (Stichting Klimaat voor Ruimte (KVR), 2013). Dit project werd uitgevoerd door 80 verschillende partijen. De focus lag op zes sectoren (water, RO & landinrichting, stedelijk gebied, Natuur en Milieu, Transport en Landbouw) en was met name gericht op vijf onderwerpen (klimaatscenario's, mitigatie, adaptatie, integratie en communicatie) (Stichting Klimaat voor Ruimte (KVR), 2013).

Gedurende het KvR-programma is het vervolgonderzoeksprogramma '**Kennis voor Klimaat' (KvK)** opgericht. Dit onderzoeksprogramma loopt van 2008 tot eind 2014 en richt zich op drie onderwerpen:

- **Ontwikkeling regionale adaptatiestrategieën** voor acht 'hotspots', ofwel acht zeer kwetsbare gebieden in Nederland: Schiphol, Regio Haaglanden, Regio Rotterdam, Grote rivieren, Zuidwestelijke delta, Ondiepe wateren en veenweidegebieden, Droge rurale gebieden, Waddenzee, Delta alliance.
- **Ontwikkeling van algemene kennis en modellen over klimaatimpacts en adaptatieopties**; acht thema's: Waterveiligheid, Zoetwatervoorziening en waterkwaliteit, Landelijk gebied, Stedelijk gebied (klimaatbestendige steden), Infrastructuur en netwerken, Klimaatprojecties en klimaat-scenario's, Governance van adaptatie en Economie, Beleids-ondersteunende instrumenten.
- **Kennisoverdracht tussen verschillende partijen.**

Het is vooralsnog onduidelijk of er een nieuw nationaal (onderzoeks) programma zal worden opgezet na afronding van het KvK-programma.

2.4 Raakvlakken met de expertise van CE Delft

Op dit moment heeft onderzoek naar klimaatadaptatie nog een heel technisch karakter. Er is veel aandacht voor de te verwachten klimaatgevolgen en voor het definiëren van mogelijke (technische) maatregelen om de schade van deze gevolgen te reduceren. Dit is ook een logische eerste stap. Echter, nu het beeld van de benodigde adaptatiemaatregelen steeds duidelijker en vollediger wordt, zal er behoefte ontstaan deze technische kant te integreren in beleid en ook om de economische aspecten van klimaatadaptatie in kaart te brengen.

Vragen die steeds relevanter zullen worden voor onderzoeken naar klimaatadaptatie zijn bijvoorbeeld:

- Hoe kan ervoor gezorgd worden dat de (technische) maatregelen die nodig zijn ook daadwerkelijk door de relevante partijen worden genomen?
 - Welk type beleid is daarbij vereist op verschillende niveaus?
 - Welke financiële instrumenten zouden hierbij gehanteerd kunnen worden?
- Wie gaat betalen voor klimaatadaptatiemaatregelen? Hoe kunnen de kosten van dergelijke maatregelen worden toegerekend aan verschillende partijen?
- Wat zijn de maatschappelijke kosten en baten van verschillende adaptatiemaatregelen? Wat zijn de risico's en kosten indien geen actie wordt ondernomen?
- Welke tegenstrijdigheden en synergiën zijn denkbaar tussen klimaatmitigatie en -adaptatiemaatregelen? Hoe kunnen tegenstrijdigheden worden voorkomen en synergiën worden gestimuleerd?



CE Delft kan een belangrijke bijdrage leveren aan de beantwoording van dit type vragen door de opgebouwde kennis over (klimaat)beleid en economische analyses. In onderstaande tekst box wordt de belangrijkste relevante expertise van CE Delft samengevat die kan worden toegepast op de economische en beleidsmatige aspecten van klimaatadaptatie.

Expertise van CE Delft

1. *Uitgebreide kennis van klimaatbeleid* in het algemeen en van mitigatiebeleid en mitigerende maatregelen specifiek. Daarnaast heeft CE Delft ervaring met het identificeren van synergiën en tegenstrijdigheden tussen klimaatadaptatie en -mitigatie.
 - CE Delft (2008). Relatie tussen adaptatie en mitigatie op gebouwniveau: inventarisatie van de tegenstrijdigheden en synergismen.
 - CE Delft (2012). EU Transport GHG: Routes to 2050?
 - CE Delft (2012). Het Nederlandse klimaat- en energiebeleid: analyse van beleidsevaluaties 1989-2012.
 - CE Delft (2012). Member States in Top Gear; Opportunities for national policies to reduce GHG emissions in transport.
 - CE Delft (2014). Scenarios for energy carriers in the transport sector.
2. *Uitgebreide ervaring met het definiëren van benodigde maatregelen* voor milieu- en klimaatproblemen en de evaluatie van zulke maatregelen. *Maatschappelijke Kosten-Batenanalyses (MKBA's)* spelen hierbij een belangrijke rol.
 - CE Delft (2007). Leidraad MKBA in het milieubeleid.
 - CE Delft (2012). Maatschappelijke kosten en baten van intelligente netten.
 - CE Delft (2012). MKBA windenergie Flevoland.
 - CE Delft (2011). External costs of transport in Europe.
 - CE Delft (2008). IMPACT (Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport).
3. *Diepgaande sectorkennis* (bijv. energie (+ -infrastructuur), transport (+ -transport-infrastructuur), stedelijke omgeving).
 - CE Delft (2013). Natural gas in transport; An assessment of different routes.
 - CE Delft (2011). Impact of electric vehicles.
 - CE Delft (2010). Net voor de toekomst. Voor alle publicaties in energie en -infrastructuur zie: www.ce.nl/ce/energie/91
 - CE Delft (2012). Medium and long term perspectives of Inland Waterway Transport in the European Union. Voor alle publicaties in transport en -infrastructuur, zie: www.ce.nl/ce/verkeer_+en+_vervoer/65
 - CE Delft (2013). Energiebesparing bestaande koopwoningen. Voor alle publicaties energie in stedelijke omgeving zie: www.ce.nl/ce/energie_in_stedelijke_omgeving/94
4. *Kennis van (innovatieve) economische instrumenten* zoals het EU ETS, beprijzen en betalen voor ecosystemeservices.
 - CE Delft (2012). Economische waardering en verzilvering van ecosysteembaten in Natura 2000-gebieden in Europa.
 - CE Delft (2010). Kostentoedeling EU ETS.
 - CE Delft (2011). Economische instrumenten voor biodiversiteit.
 - CE Delft (2012). Financing instruments for the EU's transport infrastructure.
 - CE Delft (2014). Emissions trading for transport and the built environment. Analysis of the options to include transport and the built environment in the EU ETS.

In het volgende hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de gevolgen en mogelijke adaptatiemaatregelen voor de sectoren waar CE Delft uitgebreide kennis van bezit.





3 Klimaatadaptatie in transport, energie en stedelijke omgeving

3.1 Inleiding

Adaptatie is contextafhankelijk en verschilt niet alleen tussen locaties (werelddeel, land, regio en plaats), maar ook tussen sectoren (toerisme, transport, energie, etc.). In elke context hangen de noodzakelijke adaptatiemaatregelen af van twee factoren: de absolute veranderingen in het klimaat en de veranderingen in de frequentie van bestaande klimaatomstandigheden. Wat betreft het tweede aspect is het goed denkbaar dat de samenleving al maatregelen heeft getroffen (bijv. overstroming). Als de frequentie van deze situatie door klimaatverandering vaker voor zal komen, kan grotendeels met bestaande maatregelen gereageerd worden. Wanneer ook absolute veranderingen optreden (bijv. grotere overstromingen) dan zijn mogelijk ook nieuwe en/of aanvullende maatregelen nodig. Dit hoofdstuk zoekt in op de te verwachte verandering en op mogelijke adaptatiemaatregelen voor de Nederlandse sectoren transport (en -infrastructuur), energie (en -infrastructuur) en stedelijke omgeving de belangrijkste klimaatimpacts en adaptatiemaatregelen worden omschreven (in Paragraaf 3.2, Paragraaf 3.3 en Paragraaf 3.4 respectievelijk). Daarnaast wordt in elke paragraaf aangegeven waar CE Delft een rol kan spelen.

Hierbij moet wel worden opgemerkt dat adaptatiemaatregelen niet altijd als zodanig herkenbaar zijn. Vaak zal een maatregel genomen worden voor andere doeleinden dan klimaatadaptatie, maar kan deze maatregel tegelijkertijd de schade van de gevolgen van klimaatverandering reduceren (IPCC, 2007). Denk hierbij bijvoorbeeld aan het verbeteren van de isolatie van gebouwen. Dit zal vaak worden toegepast om energie te besparen, maar kan gebouwen en bewoners ook minder gevoelig maken voor hittestress.

3.2 Transport (en -infrastructuur)

Klimaatverandering zal gevolgen hebben voor de fysieke transportinfrastructuur, maar ook op transport zelf (bijv. op de beschikbaarheid van transport, de transportbehoefte, de modaliteitenkeuze, congestie, verkeersveiligheid, etc.) (KiM, 2008). Zowel de gevolgen als de adaptatiemaatregelen variëren tussen de transportmodaliteiten. Wel geldt voor alle vormen van transportinfrastructuur dat in de toekomst mogelijk bredere marges nodig zijn om de schade van overstromingen te reduceren (m.a.w. ruimte reserveren voor water), dit kan beperkingen opleggen aan de ruimtelijke inrichting van de transportinfrastructuur.

In de volgende paragrafen worden per transportmodaliteit de gevolgen van klimaatverandering en de mogelijke adaptatiemaatregelen beschreven.



3.2.1 Wegvervoer en -infrastructuur

In 2007 heeft Rijkswaterstaat twee studies laten uitvoeren naar de effecten van klimaatverandering op de aanleg en het beheer van weginfrastructuur (KiM, 2008). Deze studies (Hove & Noord, 2007) en (DHV, 2007) verwachten onderstaande impacts:

- meer spoorvorming bij extreme warmte;
- meer problemen bij bewegende bruggen bij extreme warmte;
- vaker onderlopende wegen en tunnels bij intensieve regenbuien;
- sterkere verweking of afkalving van de onderbouw (de ondergrond waarop infrastructuur wordt aangelegd) door verhoogde regenintensiteit;
- sterkere inklinking van de onderbouw bij extreme droogte;
- minder vorstindringing bij hogere wintertemperaturen.

(DHV, 2007) concludeert dat deze effecten kunnen worden hersteld op het moment dat ze zich voordoen door het onderhoud van deze infrastructuur te intensiveren waar nodig. Het is echter ook mogelijk om de specificaties en criteria voor de aanleg van nieuwe wegen aan te passen aan de te verwachten effecten, bijvoorbeeld door de samenstelling van het wegdek te veranderen.

Van Hove en Van Noord (Hove & Noord, 2007) stellen daarnaast dat extreme neerslag en extreme hitte respectievelijk kunnen leiden tot afvoerproblemen en smeltend asfalt. Dit kan de beschikbaarheid van de weginfrastructuur tijdelijk beperken. Het aanleggen van innovatieve afvoersystemen of hittebestendig asfalt zijn adaptatiemogelijkheden. Daartegenover staat dat de beschikbaarheid van de weginfrastructuur in de winter naar verwachting beter wordt, door verminderde sneeuwval en bevroering.

Klimaatverandering kan gevolgen hebben voor de externe kosten van transport zelf. Hoewel de wegvervoersmiddelen goed tegen extreme weersomstandigheden kunnen (KiM, 2008), is het wel denkbaar dat er bijvoorbeeld meer ongelukken gebeuren en/of meer files ontstaan bij extreme weersomstandigheden. Daar staat tegenover dat zachtere winters mogelijk leiden tot een afname van gladheid waardoor juist minder files en ongelukken zullen ontstaan. Omdat de vervoersmiddelen zelf geen significante aanpassingen vereisen kan adaptatiebeleid zich met name richten op het beter/anders toepassen van weeralarmen en verbeterde weerinformatiesystemen om schade van extreem weer te reduceren.

Ten slotte kan klimaatverandering een impact hebben op de schade van fijnstof en op geluidshinder. Dit eerste effect zal groter zijn bij droog dan bij nat weer en bij wind dan bij windstilte; de externe kosten van fijnstof worden in de toekomst mogelijk groter indien geen verdere maatregelen worden genomen om de voertuigen aan te passen. Klimaatverandering kan ook een effect hebben op (de externe kosten van) geluidsoverlast; natte wegen veroorzaken meer geluidsoverlast dan droge wegen. Een maatregel die nu al genomen wordt (hoewel niet met de intentie van klimaatadaptatie) is de aanleg van stillere wegdekken.

3.2.2 Spoorvervoer en -infrastructuur

Er zijn geen studies uitgevoerd naar de effecten van klimaatverandering op de spoorinfrastructuur, maar verwacht wordt dat deze vergelijkbaar zijn aan die van de weg, m.u.v. spoorvorming bij extreme hitte (KiM, 2008). Het spoor zal bij extreme hitte wel last krijgen van spoorspattingen (m.a.w. horizontaal knikken van de rails). ProRail neemt al maatregelen om dit laatste effect te reduceren, bijv. door meer ballast te storten aan de zijanten van het spoor om de zijweerstand op peil te houden (ProRail, 2007). Evenals bij de weg



kunnen de meeste effecten op de infrastructuur zowel reactief (herstel/ onderhoud) als preventief (aanpassen ontwerp) worden aangepakt.

Een toename in extreme weersomstandigheden kan de beschikbaarheid van de spoorinfrastructuur beperken. Op basis van ervaringen tot nu toe kan gesteld worden dat de werking van (elektrische) spoorinfrastructuur erg gevoelig is voor extreme weersomstandigheden. Momenteel veroorzaakt het weer 5% van de storingen (Duinmeijer & Bouwknecht, 2004). Extreme situaties (hitte, droogte, hevige neerslag) zullen mogelijk toenemen door klimaatverandering en kunnen problemen opleveren zoals vertragingen, uitgevallen treinen, etc. Ook hier wordt een goede informatievoorziening voor reizigers en vervoerders gezien als een maatregel om beter in te kunnen spelen op zulke situaties.

3.2.3 Luchtvaart

Voor de aanleg van landingsbanen zijn met name de windrichting en windsterkte bepalende factoren omdat vliegtuigen bij voorkeur tegen de wind in opstijgen (KiM, 2008). Het effect van klimaatverandering op de windsituatie is onzeker maar naar verwachting klein. Toch is het in de toekomst goed om rekening te houden met meer variaties in het windklimaat. De verwachte stijging in temperatuur kan veroorzaken dat vliegtuigen twee- tot driehonderd meter langere start- en landingsbanen nodig hebben. In het toekomstig ontwerp van het banenstelsel (en waar mogelijk bij huidige banen) kan hier alvast op worden ingespeeld door langere banen aan te leggen en (een deel van) de huidige banen te verlengen.

Langere perioden van hoge temperaturen kunnen leiden tot een verzachting van het asfalt, wat de baan kan aantasten. Ook neerslag kan de capaciteit van de baan beïnvloeden. Over deze beide effecten, evenals over de mogelijke adaptatieopties wat betreft materiaalgebruik, is nog weinig bekend.

Voor de luchtvaart zelf kunnen met name extreme weersomstandigheden (bijv. mist, ijzel, windvlagen, etc.) van invloed zijn op de capaciteit (KiM, 2008). In 2008, werd 80% van alle vertragingen veroorzaakt door extreem weer (Knowledge for Climate, 2012a). Extreem weer zal naar verwachting vaker en mogelijk ook heftiger voorkomen in de toekomst. Het precieze effect op de lange termijn wind-, neerslag- en zichtsituatie is echter moeilijk in te schatten. Dit maakt adaptieve maatregelen, bijvoorbeeld het strategisch positioneren van nieuwe landingsbanen, lastig. Schiphol zet daarom nu in op het ontwikkelen van een systeem (Wind en Visibility Monitoring System (WindVisions)) dat betere en nauwkeurigere weersinformatie biedt om beter in te kunnen spelen op zulke weersomstandigheden (Knowledge for Climate, 2012b).

Extreme weersomstandigheden kunnen ook een grote impact hebben op de veiligheid van de luchtvaart. In 2008, werd 20% van de ongevallen in de luchtvaart veroorzaakt door weer gerelateerde (Knowledge for Climate, 2012a). Mogelijk kunnen ook de radarsystemen in de vliegtuigen zelf verder ontwikkeld worden om nog beter in te kunnen spelen op zulke situaties tijdens het afleggen van de route. Ook de mate en locatie van geluidsoverlast is (deels) afhankelijk van het weer; een veranderd klimaat kan dan ook veroorzaken dat de gebieden met geluidsoverlast (en dus de externe kosten) veranderen.

3.2.4 Binnen- en zeevaart

Klimaatverandering zal een negatieve impact hebben op de binnenvaart, doordat de hoogte van de waterstanden zal afnemen en doordat perioden met lage waterstanden langer zullen duren (Knowledge for Climate, 2011).



Op dit moment komen dergelijke perioden ook al voor en wordt hierop ingespeeld door binnenvaartschepen minder zwaar te beladen en door een laagwatertoeslag (toeslag per ton vervoerde lading) op te leggen aan vervoerders (ibid.). Deze maatregelen leiden tot een hogere kostprijs per ton vervoerde lading via de binnenvaart en ook voor hogere emissies per tonkilometer. Een andere adaptatiemaatregel, die de toename in kosten deels kan voorkomen, is het ontwerpen en bouwen van minder diep stekende boten (bijv. lichtgewicht materialen, bredere en langere boten, etc.). Een goed systeem voor informatievoorziening aan vervoerders kan de schade van laagwater ook beperken: vervoerders kunnen dan besluiten de belading aan te passen of andere routes te varen (Bosschieter, 2005). Er is al een aantal ICT-systemen geïmplementeerd, zoals het River Information Services (RIS)-systeem.

Naast adaptatiemaatregelen die gericht zijn op de binnenvaart zelf, zijn er ook adaptatiemaatregelen voor vaarwegen die de schade van laag- en hoogwater kunnen beperken. Voorbeelden hiervan zijn: baggeren (tijdelijk diepgang vergroten), verleggen van kribben om rivieren breder te maken, het ontwerpen van overloopgebieden (retentiebekkens) die vollopen bij hoogwater en leeglopen bij laagwater, het aanleggen van (neven)geulen, het landinwaarts verleggen van dijken, het vergraven van de uiterwaarden, of het verhogen van dijken (Bosschieter, 2005).

De verwachting is dat zonder adaptatiemaatregelen de kosten van goederenvervoer met de binnenvaart zullen stijgen met 9-23% in het W+ scenario en dat in dit scenario 7% van de huidige vervoerde lading niet vervoerd kan worden met deze modaliteit (Knowledge for Climate, 2011). Dit staat op gespannen voet met de beoogde modal shift van de weg naar o.a. de binnenvaart (zoals o.a. in de doelstelling van de haven van Rotterdam).

Zeehavens kunnen ook hinder ondervinden van perioden met laag- of hoogwater wanneer dit de havens minder goed bereikbaar maakt via de binnenvaart (KiM, 2008). Dit is in Nederland waarschijnlijk minder relevant door de ligging van Nederlandse zeehavens. Desondanks is het Havenbedrijf Rotterdam zich binnen het Kennis voor Klimaat-programma aan het oriënteren op een adaptatiestrategie voor de lange termijn. Een stijging in de zeespiegel kan bijvoorbeeld wel leiden tot een toename van het aantal sluitingen van de Maeslantkering wat de toegang tot de haven van Rotterdam vermindert (Knowledge for Climate, 2011).

Ten slotte kunnen bij sluizen en bewegende bruggen problemen ontstaan bij extreme hitte wanneer materialen uitzetten (met als resultaat beklemmingen). Het aanpassen van het ontwerp van bruggen en sluizen en veranderingen in het materiaalgebruik zijn mogelijke manieren om de schade van klimaatverandering te beperken.

3.2.5 Raakvlakken met de expertise van CE Delft:

CE Delft heeft een uitgebreide kennis van de transportsector (zie www.ce.nl/ce/verkeer_en_vervoer/65 voor alle publicaties). De algemene vraagstukken die gedefinieerd zijn in Paragraaf 2.4 kunnen dan ook specifiek worden toegespitst op de transportsector.

Daarnaast ziet CE Delft met name urgentie in klimaatadaptatie in de binnenvaart. Modal shift wordt gezien als een belangrijke maatregel om emissies van het goederenvervoer te reduceren. De binnenvaart speelt hierbij een belangrijke rol. Het is echter waarschijnlijk dat klimaatverandering de capaciteit van de binnenvaart vermindert en de kosten verhoogt als er geen



maatregelen genomen worden. CE Delft heeft veel expertise wat betreft modal shift-potentieel en modal shift-beleid en kan binnen dit onderwerp dan ook een rol spelen, bijvoorbeeld wat betreft de volgende vragen:

- Wat zijn de maatschappelijke kosten wanneer er geen klimaatadaptatie wordt toegepast m.b.t. de binnenvaart?
- Wat zijn de maatschappelijke kosten en baten van de verschillende adaptatiemaatregelen voor de binnenvaart?
- Hoe verhouden deze maatregelen zich tot de gewenste capaciteitsgroei in de binnenvaart?
- Is er een win-win-situatie te bereiken tussen mitigatie en adaptatie (bijv. zuiniger schepen en minder diep stekende schepen) of juist niet?
- Welk beleid is nodig in de binnenvaartsector om relevante actoren (bijv. rederijen, infrastructuurmanagers, waterschappen) adaptatiemaatregelen te laten nemen?

3.3 Energie en energienetwerken

Net als in de transportsector zal klimaatverandering in de energiesector invloed hebben op zowel de energievraag als de energieopwekking en -infrastructuur. De energie-infrastructuur zal naar verwachting het meeste te 'lijden' hebben onder klimaatverandering en dan met name de elektriciteitsnetten (Ecorys, et al., 2011). In de volgende paragrafen worden de gevolgen van klimaatverandering verder omschreven en worden mogelijke adaptatiemaatregelen toegelicht.

3.3.1 De energievraag

De routeplanner (Klimaat voor Ruimte, et al., 2006) (DHV, 2007) voorziet twee hoofdeffecten van klimaatverandering op de vraag naar energie in Nederland, het gaat om:

- Een afname van het energieverbruik (hoofdzakelijk aardgasverbruik) in de winter door minder vraag naar verwarming.
- Een toename van het elektriciteitsverbruik in de zomer (+16% tot +123% in 2040 t.o.v. 2002) door meer vraag naar verkoeling (bijv. door gebruik airconditioning). Extreme temperaturen kunnen daardoor leiden tot piekbelastingen van elektriciteitscentrales en het elektriciteitsnet.

Een aanzienlijk deel van de denkbare adaptatiemaatregelen, om in te spelen op veranderingen in de vraag naar energie, kunnen worden getroffen in de gebouwde omgeving (verder toegelicht in de volgende paragraaf). Zo zal de toename van het elektriciteitsverbruik in de zomer enerzijds moeten worden opgevangen door de elektriciteitssector (bijv. smart grids, uitbreiding capaciteit of bedrijfstijden bestaande centrales, etc.) en anderzijds door de gebouwde omgeving (bijv. klimaatbestendige gebouwen ontwerpen, koelcapaciteit van steden vergroten, etc.). Daarnaast kan gebruik gemaakt worden van 'demand side response' door met verbruikers buiten de gebouwde omgeving (bijv. industriële bedrijven) afspraken te maken over de timing van hun bedrijfsprocessen. Ook een aantal mitigatiemaatregelen (bijv. aanschaf van zonnepanelen) kan de impact van klimaatverandering verkleinen; piekuren door het gebruik van airconditioning zullen naar verwachting voorkomen op de meest zonnige dagen en juist op zulke momenten zal de opwekking van zonne-energie ook hoog zijn. Gebouwen met zonnepanelen kunnen zodoende (deels) in hun eigen piekvraag voorzien.



De maatregelen die genomen worden in de stedelijke omgeving (zowel specifieke adaptatiemaatregelen als een deel van de mitigerende maatregelen) zullen bepalen in hoeverre de vraag naar elektriciteit daadwerkelijk zal toenemen en in hoeverre piekuren problemen zullen opleveren in de elektriciteitsvoorziening. Een mogelijke adaptatiemaatregel voor de energie-sector zelf is het uitbreiden van de capaciteit, idealiter van verschillende energiebronnen (meer variatie in energie-opwekmix; dit wordt verder toegelicht in de volgende paragraaf). Ook het aanleggen van intelligente netten kan een hulpmiddel zijn om de vraag en het aanbod beter op elkaar af te kunnen stemmen. Door meer buffering in het energiesysteem te creëren (bijv. het opslaan van overtollige zonne-energie in elektrische auto's en door lokaal opgeslagen elektriciteit terug te leveren aan het net op het moment dat de vraag groter is dan het aanbod). Een alternatief is om de elektriciteitsnetten zodanig te versterken (zie onder) dat deze beter bestand zijn tegen piekbelastingen en grootschalige decentrale opwekking.

3.3.2 Energieopwekking

De gevolgen van klimaatverandering voor de opwekking van elektriciteit zijn vergelijkbaar voor de verschillende typen conventionele energiecentrales (kolencentrales, gasgestookte centrales, kerncentrales). De gevolgen voor hernieuwbare energieopwekking verschillen wel van bron tot bron.

De Routeplanner (Klimaat voor Ruimte, et al., 2006) en PBL

(PBL, 2013) schatten in dat dit in Nederland met name zal gaan om:

- Twee hoofdgevolgen voor alle typen energiecentrales¹:
 - Toename van de frequentie van koelwaterbepalingen door hogere (zomer)temperaturen (en dus hogere watertemperaturen) en lagere waterstanden. Dit kan leiden tot een afname in de elektriciteits- en warmteproductie.
 - Mogelijke toename in schade door overstromingen, vooral doordat energiecentrales vaak bij water(stromen) zijn gebouwd.
- Gevolgen voor hernieuwbare energieopwekking zijn sterk afhankelijk van de locatie en het type hernieuwbare energie (Ecorys, et al., 2011). In Nederland, zijn met name energieopwekking met wind en biomassa gevoelig voor de gevolgen van klimaatverandering:
 - Wind:
 - de veranderingen in het windklimaat zijn onzeker, maar verwacht wordt dat dit effect klein zal zijn;
 - toename extreme weersomstandigheden (bijv. stormen) kan de opwekking van windenergie tijdelijk stilleggen;
 - stijging in de zeespiegel kan een negatieve impact hebben op offshore windenergie, met name wanneer deze stijging 25 cm of meer is;
 - naast deze negatieve effecten kan een afname van de ijsafzetting op windturbines de productie van windenergie juist verbeteren.
 - Biomassa:
 - Dezelfde gevolgen als voor energiecentrales (m.a.w. koelwaterbepaling en schade door overstromingen).
 - Naast deze negatieve gevolgen kan een stijging van de temperatuur en het CO₂-gehalte de biomassa-productie in Nederland positief beïnvloeden. Een toename in extreme weersomstandigheden en droogte heeft juist een averechts effect.

¹ De ernst van de gevolgen voor de maatschappij (verminderde energielevering) zijn (deels) afhankelijk van de verhouding centrale/decentrale opwek. Hernieuwbare energieopwekking is relatief minder gevoelig voor klimaatverandering. Hoe groter het aandeel hernieuwbare energie, hoe kleiner de economische schade als gevolg van een vermindering van de centrale energieopwekking.



Energiecentrales kunnen verschillende maatregelen nemen om koelwaterbeperkingen te beperken. Een aantal maatregelen is al genomen door een aantal centrales te verplaatsen naar de kust (PBL, 2013) en door koeltorens te bouwen (Rijkswaterstaat, 2006). Ook een betere afstemming van welke centrales wanneer produceren kan stagnatie in de energieproductie voorkomen. Hernieuwbare energieopwekking is niet gevoelig voor koelwaterbeperkingen (m.u.v. biomassa) en kan zodoende het risico op schade voor de maatschappij beperken (ibid.). Ten slotte kan Rijkswaterstaat in geval van nood de vergunningsvoorwaarden voor de temperatuur van koelwater tijdelijk verruimen, waardoor tijdelijk meer warm water geloosd mag worden (Rijkswaterstaat, 2006).

Schade door overstromingen kan worden voorkomen door een beschermingsmuur te bouwen, door de belangrijkste productiemiddelen op voldoende hoogte te plaatsen, door extra/verhoogde dijken te bouwen, en/of door afvoerpompen aan te schaffen (Ecorys, et al., 2011).

De verwachting is dat de benodigde investeringen om hernieuwbare energie opwekking klimaatbestendig te maken relatief klein zullen zijn (Ecorys, et al., 2011). Zodoende kan de verschuiving naar decentrale opwekking ook al gezien worden als een adaptatiemaatregel. Aanpassingen die nodig zijn om decentrale opwekking klimaatbestendig te maken kunnen bovendien relatief eenvoudig worden toegepast omdat er naar verwachting nog een grote verschuiving naar decentrale energieopwekking zal plaats vinden in de komende jaren. Adaptieve maatregelen kunnen dan ook opgenomen worden in het ontwerp (PBL, 2013).

Om de gevolgen van klimaatverandering voor energieopwekking met biomassa te beperken kunnen vergelijkbare maatregelen genomen worden als voor conventionele energiecentrales. Zonne-energie behoeft voorlopig geen maatregelen omdat de productie met zonne-energie naar verwachting weinig gevolgen zal ondervinden van klimaatverandering (Ecorys, et al., 2011). Ten slotte is de verwachting dat gemiddelde windsnelheden licht zullen afnemen, maar dat deze verandering niet zodanig is dat meer gevoelige rotoren vereist zijn (ibid.). Wel kan, bij een stijging van de zeespiegel van 25 cm of meer, het nodig zijn om alternatieve funderingen te ontwerpen voor offshore windturbines (ibid.).

3.3.3 Energie-infrastructuur

De routeplanner (Klimaat voor Ruimte, et al., 2006) en PBL (PBL, 2013) schatten in dat schade door klimaatverandering voor de elektriciteitsnetten in Nederland met name zal ontstaan door:

- Een mogelijke toename in extreme weersomstandigheden (overstromingen, stormen, droogte, etc.). Extreme weersituaties kunnen schade toebrengen aan de elektriciteitsnetwerken, hetgeen de plaatselijke elektriciteitsvoorziening kan verstoren.
- Een toename in de (omgevings)temperatuur. Verschillende onderdelen van het elektriciteitsnetwerk zijn gevoelig voor (extreme) hitte. Een stijging van de temperatuur kan (met name in de zomer) leiden tot defecte onderdelen en dus tot een verstoring van de elektriciteitslevering.

Twee groepen maatregelen kunnen de schade van klimaatverandering op de energienetten beperken. De eerste groep maatregelen kan worden toegepast zonder aanpassingen te doen in de bestaande infrastructuur, terwijl de tweede groep juist gericht is op het aanpassen van de bestaande infrastructuur. De combinatie van beide soorten maatregelen is vanzelfsprekend ook mogelijk.



Door slimme indicatoren te ontwikkelen voor extreem weer kunnen netbeheerders beter inspelen op veranderende weersomstandigheden (Klimaat voor Ruimte, et al., 2006). Dit maakt het mogelijk om de energienetten beter te monitoren en sneller in te grijpen bij verstoringen. Hier valt het opstellen van noodplannen voor onvoorziene verstoringen ook onder. Dit soort plannen zijn nu ook al in gebruik, maar wanneer de effecten van klimaatveranderingen toenemen en beter zichtbaar/voorspelbaar worden, kunnen deze plannen hierop worden toegespitst. Hierbij valt te denken aan procedures om de gevolgen van extreme weersomstandigheden te beperken tot een klein gebied, door de bepaalde stukken van het netwerk te isoleren en de levering via andere routes te laten lopen. Procedures voor het herstel van verstoringen zijn eveneens onderdeel van de noodplannen (Ecorys, et al., 2011). Ten slotte kunnen netbeheerders zich in toenemende mate laten verzekeren tegen schade door extreme weersomstandigheden. De kosten van zulke verzekeringen zullen naar verwachting wel stijgen in de toekomst (ibid.).

Naast het ontwikkelen van monitoring- en noodprocedures, kunnen netbeheerders verschillende maatregelen nemen om de elektriciteitsnetten zelf minder gevoelig te maken voor klimaatverandering. Een belangrijke maatregel (die nu al in toenemende mate wordt genomen) is elektriciteitskabels ondergronds neerleggen. TenneT is al bezig het met het verleggen van een deel van het netwerk in de Randstad. Hoewel TenneT dit heeft besloten om de visuele impact te verminderen (en dus niet hoofdzakelijk ter beperking van de schade door klimaatverandering), kan het toch gezien worden als een belangrijke adaptatiemaatregel om de schade van stormen en wind te beperken. Het ondergronds aanleggen van netten alleen is niet voldoende; het is een relatief dure maatregel en tot nu toe alleen mogelijk voor kabels met een spanning van minder dan 150 kV (Ecorys, et al., 2011). Een andere adaptatiemaatregel die de schade van stormen en wind kan beperken is het versterken van de elektriciteitsmasten en kabels of het herpositioneren van deze elementen zodat deze onderdelen beschermd zijn tegen de dominante wind/storm richting (ibid.). TenneT maakt tegenwoordig al gebruik van een nieuw soort hoogspanningsmast. Hoewel deze masten zijn gekozen omdat deze minder ruimte innemen, zijn ze ook robuuster en beter bestand tegen stormen, e.d. Dit is dan ook wel degelijk een adaptatiemaatregel. Energienetten kunnen beschermd worden tegen overstromingen door de lokale waterkeringen te verbeteren. Ook kan worden geïnvesteerd in mobiele, stand-by, waterkeringen, het verhogen van dijken, etc.

Adaptatiemaatregelen om energienetten minder gevoelig te maken voor hitte worden momenteel nog in mindere mate genomen (Ecorys, et al., 2011).

Denkbare maatregelen verschillen per onderdeel van het elektriciteitsnet:

- Transformatoren: aanschaffen van geavanceerde koelsystemen of het vervangen van koper in de geleiders door minder temperatuurgevoelige materialen
- Bedrading en kabels: gebruiken van ‘AC Gas Insulated’ kabels (kabels met een isolatielaag van SF₆ of N₂). Deze kabels zijn grotendeels ongevoelig voor de omgevingstemperatuur maar kosten wel negen tot twaalf keer meer dan conventionele kabels. Ook in de bedrading en kabels kunnen geleiders van minder temperatuurgevoelige materialen toegepast worden. Dit gebeurt momenteel alleen voor korte afstanden en in stedelijke gebieden.
- Tussenstations: gasisolatie.

3.3.4 Raakvlakken met de expertise van CE Delft

CE Delft heeft verschillende studies uitgevoerd die hebben bijgedragen aan kennisopbouw over de energie- en warmte-infrastructuur in Nederland en de impact van een energietransitie op deze infrastructuur (zie www.ce.nl/ce/energie/91 voor alle publicaties).

Een aantal voorbeelden is hier opgesomd.

- CE Delft (2012) heeft, op basis van een aantal energiescenario's voor 2050, een MKBA voor intelligente netten uitgevoerd. In vrijwel elk toekomst-scenario leveren smart grids een positieve bijdrage (lagere prijzen voor consumenten en bedrijfsleven); of het nu gaat om wel of geen klimaat-beleid, een groot of klein aandeel decentrale energieproductie en andere variaties.
- In het rapport 'Net voor de Toekomst' heeft CE Delft (2010) de impact van de verduurzaming op de energie-infrastructuur (elektriciteit, gas en warmte). In het rapport wordt een overzicht gegeven van de ontwikkelingen die tot 2050 zijn te verwachten en welke zekerheden en onzekerheden voor de netten hiermee gepaard gaan. Zowel technische als financiële aspecten van een verwachte uitbreiding van de netcapaciteit komen aan bod.
- Als gevolg van verschillende studies naar de (verwachte ontwikkeling van de) warmtevraag, besparingsmogelijkheden en warmtenetten heeft CE Delft een goed beeld van de energie-infrastructuur voor warmte in Nederland.

De opgedane kennis over energievraag- en aanbod, warmtevraag en -aanbod en energie/warmte-infrastructuren kan worden toegepast op de vraagstukken zoals die in Paragraaf 2.4 zijn omschreven. Zodoende kan de opgedane sector-kennis worden ingezet om de vertaalslag te maken van de bestaande technische kennis over klimaatadaptatie naar de economische en beleidstoepassingen hiervan.

3.4 Stedelijke omgeving

Verschillende studies hebben twee hoofdeffecten van klimaatverandering geïdentificeerd voor de stedelijke (Knowledge for Climate, 2012c); (Klimaat voor Ruimte, et al., 2006); (CE Delft, 2008):

- toename van hitte-eilanden/hittestress;
- toename van waterschade.

In de stedelijke omgeving bestaan talloze maatregelen waarmee de schade van hittestress, droogte, luchtvervuiling en wateroverlast beperkt kan worden (Knowledge for Climate, 2012c). Het Deelprogramma Nieuwbouw en Herstructurering (Deltaprogramma) heeft 155 maatregelen geïdentificeerd (en geëvalueerd) die de schade van één of meerdere van deze effecten kunnen verkleinen.

Desondanks is het lastig de precieze impact van klimaatverandering op de gebouwde omgeving in te schatten, zeker ook omdat deze impact zal verschillen tussen verschillende locaties. Dat maakt dat het lastig is de beste maatregelen te identificeren. Daarbij is de meest effectieve adaptatie-maatregel voor een bepaald gebouw sterk afhankelijk van factoren zoals de hoogte van het gebouw, de ligging van het gebouw t.o.v. de zon, en andere, vergelijkbare aspecten. Het wit schilderen van daken en aanplanten van groen kan voor sommige gebouwen leiden tot een vermindering van de hitte (er wordt minder warmte geabsorbeerd), maar kan in andere situaties juist



zorgen voor een stijging in de temperatuur als de gevel en bomen zo geplaatst zijn dat de weerkaatste warmte niet meer weg kan.

Omdat de lijst met maatregelen lang is, is in de volgende paragrafen alleen een aantal voorbeelden van deze adaptatiemaatregelen omschreven.

3.4.1 Toename van hittestress

Met name in de zomer zal de stijging van de gemiddelde temperatuur in toenemende mate leiden tot het ontstaan van hitte-eilanden in stedelijke gebieden. De stedelijke omgeving absorbeert namelijk warmte en breekt windvelden. Het gevolg hiervan is dat de temperatuur(stijging) in stedelijke gebieden hoger is dan daarbuiten. Het temperatuurverschil tussen gebouwde en landelijke omgeving kan met het huidige klimaat al oplopen tot 7 °C (TNO, 2008). De impact van een temperatuurstijging kan in steden dan ook tot grotere gevolgen van hittestress leiden dan daarbuiten.



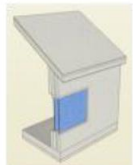



TNO (TNO, 2008) noemt daarnaast de negatieve impact van langdurige hitte op de luchtkwaliteit (door smogvorming en verhoogde fijnstofconcentraties) en op droogte. Hitte en een verminderde luchtkwaliteit kan negatieve gezondheids-effecten met zich meebrengen.

Er zijn twee groepen maatregelen die hittestress kunnen verminderen: enerzijds kan het hitte-eilandeffect zelf bestreden worden en anderzijds kan het binnenklimaat van gebouwen beter gereguleerd worden om hitte te vermijden (Knowledge for Climate, 2012c). Adaptieve maatregelen die vallen in de eerste categorie zijn o.a.:

- Het aanleggen van groene oppervlakten (bijv. parken, bossen, groen-gordels, straatbomen, voortuinen, gevels en daken) doordat deze oppervlakten minder warmte absorberen dan stenen, schaduw bieden en doordat verdamping via bladeren afkoelt.
- Water als koelmiddel inzetten (water neemt warmte op en verdampt dit, waardoor de temperatuur minder stijgt of afneemt). Het natmaken van het wegdek kan bijvoorbeeld zorgen voor een paar graden verkoeling van de lucht boven het wegdek. Ook het aanleggen van vijvers op binnenplaatsen, daken, etc. kan de lokale lucht verkoelen met 1-3.9 °C, afhankelijk van de locatie en andere omgevingsfactoren.
- Slim ontwerpen en herinrichten van stedelijke structuur. De oriëntatie van de straat, de kleuren van de gebouwen en daken (licht vs. donker), de materiaalkeuze van gebouwen en straten (bijv. asphalt vs. betonplaten) en de verhouding tussen de hoogte en breedte van een straat hebben een effect op de temperatuur van de directe omgeving. De beste ontwerpkeuze is om het hitte-eilandeffect te verkleinen is sterk afhankelijk van de lokale situatie. De impact van een gekozen pakket van aanpassingen/inrichting varieert sterk tussen locaties en de individuele aspecten kunnen elkaar versterken of tegenwerken.

Figuur 1 vat mogelijke maatregelen samen om de binnentemperatuur van gebouwen comfortabel te houden door de gebouwschil aan te passen.

Figuur 1 Adaptatiemaatregelen voor gebouwen

Overstek	Thermische massa	Openen van ramen	Isolatie	Albedo (reflectie kortgolvlige straling)	Groene gebouwoppervlakken
					

Bron: (Haak, 2012).

Het effect van deze maatregelen zal verschillen tussen nieuwbouw en bestaande bouw. Nieuwbouwwoningen zijn in principe al relatief goed geïsoleerd. Voor deze woningen wordt verwacht dat het toevoegen van extra isolatie weinig effect heeft, terwijl het aanbrengen van een goede zonwering (bijv. overstek) de hitte aanzienlijk kan verminderen. Voor bestaande bouw is extra isolatie juist wel de adaptatiemaatregel met het grootste effect. De isolatiewaarde van de woning bepaalt in hoeverre andere maatregelen nog effect hebben; hoe hoger de isolatiewaarde, hoe lager het effect van andere maatregelen zal zijn (Knowledge for Climate, 2012c).

Andere adaptieve maatregelen om de gebouwtemperatuur comfortabel te houden zijn airconditioning, warmte- en koudeopslag (met een warmtepomp), gebruik van ventilatoren, etc. (CE Delft, 2008).

Belangrijk in de stedelijke omgeving is wel dat een aantal adaptatiemaatregelen, met name degene die gericht zijn op de binnentemperatuur van gebouwen, een negatief effect kan hebben op klimaatmitigatie (bijv. gebruik van airco's). Aan de andere kant zijn er adaptatiemaatregelen die tegelijkertijd gunstig zijn voor mitigatie (bijv. verbeteren van isolatie). CE Delft (2008) heeft deze synergiën en tegenstrijdigheden binnen de gebouwde omgeving samengevat. Vanzelfsprekend worden adaptatie en mitigatie idealiter zoveel mogelijk op elkaar afgestemd.

3.4.2 Toename waterschade

Naast een toename in hittestress zal een toename in extreme neerslagmomenten vaker leiden tot wateroverlast in de stedelijke omgeving. Een groot deel van het oppervlak in de stedelijke omgeving is verhard, wat ertoe zal leiden dat water sneller op straat blijft staan. Dit kan vervolgens schade aan gebouwen veroorzaken. Dit effect zal het grootst zijn in het westen van Nederland, waar de meeste steden zijn en waar naar verwachting de toename van de hoeveelheid neerslag in extreme situaties het grootst zal zijn. Daarnaast kan de stijging in de zeespiegel en het vaker voorkomen van hoge waterstanden op rivieren het risico op overstromingen in de stedelijke omgeving vergroten.

Tegen wateroverlast bestaat al een aantal maatregelen (bijv. riolering, ondergrondse berging, etc.). In de toekomst zijn extra maatregelen en/of de uitbreiding van zulke maatregelen noodzakelijk. De schade van wateroverlast kan o.a. beperkt worden door (CE Delft, 2008); (Vergroesen, et al., 2013):

- de aanleg van waterpleinen;
- groene (m.a.w. daken met vegetatie) en blauwe (m.a.w. daken met waterberging/een laag water) daken;
- regentonnen;

- waterdoorlatende verhardingen;
- verhogen van drempels;
- bouwen zonder kruipruimten;
- etc.

Waterpleinen en groene daken zijn ook maatregelen om hittestress te verminderen, en kunnen dus worden geïmplementeerd ter bestrijding van beide schadelijke klimaateffecten in de stedelijke omgeving.

3.4.3 Maatregelen in de praktijk

In de stedelijke omgeving worden veel maatregelen (bewust of onbewust) al genomen, met name maatregelen zoals airconditioning en zonweringen worden al veelvuldig toegepast. Meer innovatieve adaptatiemaatregelen (bijv. drijvende bebouwing, groene daken, verhogen van het albedo, etc.) staan echter nog in de kinderschoenen en expliciete adaptatiestrategieën ontbreken in de meeste gevallen nog. Een aantal steden en gemeenten is nu begonnen met de ontwikkeling hiervan, en/of heeft een aantal adaptatiemaatregelen geïmplementeerd, bijvoorbeeld binnen het 'Climate Proof Cities' project: het betreft o.a. Rotterdam, Haaglanden, Amsterdam, Arnhem/ Nijmegen, Tilburg en Utrecht.

Rotterdam is koploper als het gaat om klimaatadaptatie in de stedelijke omgeving. Als onderdeel van het 'Rotterdam Climate Proof' programma zijn verschillende maatregelen geïmplementeerd (zie tekstbox). Het merendeel van deze maatregelen is gericht op het creëren van extra waterberging, drijvende woningen, groene oppervlakten en waterpleinen.

Klimaatadaptatiemaatregelen in Rotterdam:

- Met de Rotterdamse subsidieregeling 'groene daken' ligt er nu ruim 130.000 m² aan *groene daken* in Rotterdam.
- Start *drijvende woningen* Nassauhaven (eind 2013).
- *Ondergrondse waterberging* van 2.300 m² Kruispleingarage gereed (eind 2013).
- Multifunctionele *waterplein* Benthemplein gereed (eind 2013).
- Opening Roeibaan Eendragtspolder (2013). Deze roeibaan is een combinatie van *waterberging*, recreatie en (top)sport. De polder tussen Zevenhuizen en Nesselande kan in noodgevallen 4 miljoen m³ water tijdelijk bergen.
- Opening *waterpleindeel* Bellamyplein in de Rotterdamse wijk Spangen (2012).
- Start duurzaam Feijenoord en Heijplaat met veel aandacht voor adaptief bouwen (2012).
- In 2011 werd een *waterberging* onder Museumgarage (10.000 m³) gerealiseerd.
- Inventarisatie van alle mogelijkheden voor *drijvend bouwen* in Rotterdam gereed (2011).
- De Westblaak parkeergarage heeft sinds 2010 de grootste *groene gevel* van Europa (5.000 m²).
- Sinds 2010 ligt in de Rotterdamse Rijnhaven het *Drijvend Paviljoen*.
- Het ontwerp voor de '*Blauwe Verbinding*' is gereed en de aanleg is van start gegaan.
- In 2009 werd de 5.000 m³ grote extra *waterberging* aan de Tjalklaan gerealiseerd.
- De Lepelaarsingel is verlengd, extra water gegraven in Hordijkerveld (2009).
- De eerste *trapdijk* is ontworpen (Hilledijk) (2009).
- Deelname aan het *regionaal deltaprogramma* Rijnmond Drechtsteden.

Bron: www.rotterdamclimateinitiative.nl/nl/water-en-klimaatadaptatie/resultaten

Adaptatiemaatregelen hoeven niet noodzakelijk gericht te zijn op fysieke aspecten, ook het ontwikkelen van evacuatieplannen, tropenroosters en crisismangement zijn maatregelen om de schade van klimaatverandering binnen de stedelijke omgeving te beperken.



3.4.4 Raakvlakken met expertise van CE Delft

Evenals voor energie (en -infrastructuur) en transport (en -infrastructuur) kan CE Delft een bijdrage leveren aan het oplossen van de vraagstukken die gedefinieerd zijn in Paragraaf 2.4 wanneer deze toegespitst worden op de stedelijke omgeving (zie www.ce.nl/ce/energie_in_stedelijke_omgeving/94 voor alle publicaties over de stedelijke omgeving).

Zo is in de stedelijke omgeving met name de relatie tussen mitigatie en adaptatie van belang; een groot aantal maatregelen in de stedelijke omgeving is zowel van positieve invloed op adaptatie als op mitigatie. CE Delft (2008) heeft al eens een globale inventarisatie gemaakt van de mogelijke synergiën en tegenstrijdigheden tussen adaptatie en mitigatie in de gebouwde omgeving. Dit onderwerp kan echter nog in veel meer detail worden uitgezocht.

Zo kan bijvoorbeeld worden gekeken:

- wat de precieze CO₂-impact is van de verschillende adaptatiemaatregelen en hoe dit zich vertaalt in de maatschappelijke kosten en baten van deze maatregelen;
- welk beleid nodig is om te zorgen dat met name adaptatie- en mitigatiemaatregelen genomen worden die synergiën creëren (en om te voorkomen dat maatregelen genomen worden die een tegenstrijdig effect hebben);
- etc.

Dergelijke vragen zijn overigens ook relevant voor andere thema's (bijv. binnenvaart, hernieuwbare energie).

CE Delft heeft ook veel ervaring met klimaatbeleid (technische- en beleidsmaatregelen) in gemeenten en de stedelijke omgeving. CE Delft heeft bijvoorbeeld voor verschillende gemeenten een inschatting gemaakt van het potentieel aan zon-PV op hun grondgebied. Een dergelijke inventarisatie levert ook informatie op over de bijdrage die zon-PV kan leveren als adaptatiemaatregel. Relevante vraagstukken zijn:

- Welk beleid is nodig om actoren in de stedelijke omgeving aan te zetten tot het nemen van adaptatiemaatregelen? Met name in de huursector is het denkbaar dat hier additioneel beleid nodig is.
- Hoe kunnen gemeenten adaptatie opnemen in hun bestaande klimaatbeleid wat nu doorgaans volledig gericht is op mitigatie?
- Etc.





4 Conclusie

Hoewel tot voor kort met name klimaatmitigatie op de politieke agenda stond neemt de aandacht voor klimaatadaptatie toe. Er is dan ook een grote verscheidenheid aan onderzoeken en projecten gestart, zowel op Europees als op nationaal en lokaal niveau. Vooralsnog richten deze onderzoeken zich met name op de technische aspecten van klimaatadaptatie. Met andere woorden, de focus is met name gericht op welke klimaatgevolgen verwacht mogen worden - een logische eerste stap om adaptatiebeleid en -maatregelen te kunnen definiëren - en op de identificatie van alle mogelijke maatregelen waarmee de schade van deze gevolgen gereduceerd kan worden.

Nu de eerste stap in klimaatadaptatie gezet is en het voor steeds meer sectoren en locaties duidelijker wordt wat klimaatadaptatie zal inhouden, groeit de noodzaak om een vertaalslag te maken naar beleid en om ook dieper in te gaan op de economische kant van klimaatadaptatie.

Vragen die nu relevant worden zijn o.a.:

- Wat zijn de maatschappelijke kosten en baten van de verschillende adaptatiemaatregelen? Welke maatregelen zijn dan het beste om te nemen?
 - Met welke maatregelen behaalt men de grootste synergiën met klimaatmitigatie doeleinden (bijv. isolatie in gebouwde omgeving, modal shift naar de binnenvaart)?
- Hoe krijgt men actoren zo ver om daadwerkelijk adaptatiemaatregelen te nemen?
 - Welk beleid is hiervoor nodig op verschillende bestuurlijke niveaus?
 - Welke financiële instrumenten zouden hierbij gehanteerd kunnen worden?
- Wie moet betalen voor adaptatie? Hoe kunnen deze kosten worden toegerekend aan verschillende partijen?
- Etc.

Bovenstaande vragen zullen in toenemende mate interessant en relevant worden. Bovendien liggen juist dit soort onderwerpen erg dicht tegen de expertise van CE Delft. Zo heeft CE Delft een uitgebreide kennis van klimaatbeleid en van MKBA's. CE Delft kan dan ook een aanzienlijke toegevoegde waarde leveren wanneer de focus van klimaatadaptatie verschuift van een meer technisch naar een meer beleidsmatig en economisch karakter.





5 Referenties

Algemene Rekenkamer, 2012. *Aanpassing aan klimaatverandering: strategie en beleid*, Den Haag: Algemene Rekenkamer.

Bosschieter, C., 2005. *Klimaatverandering en binnenvaart : effecten op de binnenvaart van meer extreem lage (en hoge) waterstanden op de Rijn*, Delft: TU Delft, Civil Engineering and Geosciences, Hydraulic Engineering.

CE Delft, 2008. *Relatie tussen adaptatie en mitigatie op gebouwniveau : inventarisatie van de tegenstrijdigheden en synergismen*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2010a. *Kostentoedeling EU ETS : Wie betaalt de kosten van de derde Fase van het Europese Emissiehandelssysteem?*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2010. *Net voor de toekomst*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2011. *Economische instrumenten voor biodiversiteit : Een uitwerking van TEEB-aanbevelingen ten behoeve van de Taskforce Biodiversiteit en Natuurlijke hulpbronnen*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2012a. *Het Nederlandse klimaat- en energiebeleid : analyse van beleidsevaluaties 1989-2012*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2012b. *Maatschappelijk kosten en baten van intelligente netten*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2012c. *MKBA windenergie Flevoland*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2012d. *Medium and long term perspectives of Inland Waterway Transport in the European Union*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2012e. *Economische waardering en verzilvering van ecosysteembaten in Natura 2000-gebieden in Europa*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2012. *EU Transport GHG: Routes to 2050 II Project*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2013. *Energiebesparing bestaande koopwoningen*, Delft: CE Delft.

DHV, 2007. *Uitvoeringstoets Klimaatverandering*, S.l.: DHV.

Duinmeijer, A. & Bouwknecht, R., 2004. *Betrouwbaarheid Railinfrastructuur*, Utrecht: Prorail.

EC, 2009. *White paper Adapting to climate change : towards a European framework for action*, Brussels: European Commission.

EC, 2013. *News Alert: Adaptation to climate change: EU research projects presented at ECCA conference*. [Online]
<http://ec.europa.eu/research/index.cfm?pg=newsalert&year=2013&na=na-180313>

[Geopend mei 2014].



EC, sd *European Vlimate Adaptation Platform*. [Online]
<http://climate-adapt.eea.europa.eu/>
[Geopend mei 2014].

Ecorys, et al., 2011. *Investment needs for future adaptation measures in EU nuclear power plants and other electricity generation technologies due to effects of climate change*, Brussels: European Commissions, Directorate-General for Energy.

Haak, A., 2012. *Climate change and heat stress in residential buildings : Evaluation of adaptation measures*, Eindhoven ; Utrecht: 1Eindhoven University of Technology ; TNO.

Hove, L. & Noord, H. v., 2007. *Klimaat en infrastructuur : verkennende studie*, S.l.: Alterra.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge: Cambridge University Press.

KiM, 2008. *Effecten van klimaatverandering op verkeer en vervoer Implicaties voor beleid.*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM).
Klimaat voor Ruimte, et al., 2006. *Routeplanner klimaataanpassing*, Den Haag: S.n.

KNMI, 2006. *Klimaat in de 21e eeuw : Vier scenario's voor Nederland*, De Bilt: KNMI.

Knowledge for Climate, 2011. *Climate change impacts on inland transport systems, report* , Utrecht: Knowledge for Climate.

Knowledge for Climate, 2012a. *The impact of climate change on the critical weather conditions at Schiphol airport (Impact)*, Utrecht: Knowledge for Climate.

Knowledge for Climate, 2012b. *WindVisions : First Phase Final Report*, Utrecht: Knowledge for Climate.

Knowledge for Climate, 2012c. *Klimaatbestendige steden : Voortgangsrapportage Climate Proof Cities 2012*, Utrecht: Knowledge for Climate.

PBL, 2013. *Aanpassen met beleid Bouwstenen voor een integrale visie op klimaatadaptatie*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PEER, 2009. *Europe Adapts to Climate Change: Comparing National Adaptation Strategies*, Helsinki: PEER.

ProRail, 2007. *Risico op spoorspatting bij warm weer*, Utrecht: ProRail.

Rijkswaterstaat, 2006. *Fact-sheet Koelwater*, [Lelystad]: Rijkswaterstaat.
Rotterdam Climate Initiative, sd *Water en Klimaatadaptatie*. [Online]
<http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/nl/water-en-klimaatadaptatie/resultaten>
[Geopend mei 2014].



Stichting Klimaat voor Ruimte (KVR), 2013. *Klimaat voor Ruimte*. [Online] <http://www.klimaatvoorruijnte.nl/home> [Geopend mei 2014].

TNO, 2008. *Klimaatverandering in Nederland : Uitdagingen voor een leefbare stad*, Utrecht: TNO.

Vergroesen, T., Brolsma, R. & Tollenaar, D., 2013. *Verwerking van extreme neerslag in stedelijk gebied*, [Delft]: Deltares.





Bijlage A Belangrijkste klimaatimpacts voor Nederland

De te verwachten gevolgen van klimaatverandering op verschillende sectoren in verschillende landen zijn al uitgebreid onderzocht met een wijd scala aan klimaatmodellen. Hoewel er nog veel onduidelijkheden zijn over deze mogelijke gevolgen, houden verschillende partijen (bijv. het KNMI) zich bezig met het inschatten van de gevolgen van klimaatverandering voor Nederland. De scenario's van het KNMI uit 2006 zijn de standaard in huidige studies naar de impact van klimaatverandering en adaptatie (PBL, 2013).

Figuur 2 Klimaatscenario's

	Uitgangswaarde 1975-2005	G-	G+	W-	W+
		scenario 2050			
Warme dagen	80	97	100	115	100
Zomerse dagen	24	30	34	39	47
Tropische dagen	4	7	9	10	14
Ijsdagen	10	6	5	3	2
Vorst dagen	61	45	43	33	29
		20	15	35	25
Zomerneerslag		toename	afname	toename	afname
Winterneerslag		toename	toename	toename	toename
Windsnelheid		lichte toename		lichte toename	
Zeespiegelstijging (cm)		15-25		20-35	

Bron: (KNMI, 2006).

Noot: G scenario's zijn gematigde scenario's met een gemiddelde temperatuurstijging van 1 °C in 2050 (t.o.v. 1990) en de W scenario's zijn warme scenario's met een gemiddelde temperatuurstijging van 2 °C. De G+ en W+ scenario's gaan daarbij uit van gewijzigde luchtstromingspatronen, terwijl G- en W- uitgaan van ongewijzigde luchtstromingspatronen.

Op basis van deze klimaatscenario's en modellen van het KNMI kunnen de volgende klimaateffecten verwacht worden in Nederland:

- de gemiddelde temperatuur zal blijven stijgen met een toename aan zachte winters en warme zomers als gevolg;
- de Nederlandse winters zullen gepaard gaan met een toename in neerslag en een toename in extreme neerslagmomenten;
- in de zomer zullen extreme regenbuien heviger worden;
- verandering in het windklimaat zijn beperkt (gezien de huidige variabiliteit);
- de zeespiegel zal blijven stijgen met 15 tot 35 centimeter tot 2050 t.o.v. 1990.