

Earth, Life and Social Sciences

Oude Waalsdorperweg 63

2597 AK Den Haag

Postbus 96864

2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

F +31 70 328 09 61

TNO-rapport

TNO 2014 R11294

Klimaatadaptatie en energie-infrastructuur

Actualisatie van de risico's en kansen door klimaatverandering
op de Nederlandse energie-infrastructuur

Datum	15 september 2014
Auteur(s)	Ruben Vogel Eric Luijff Nienke Maas Gerard Dijkema Annemarie Zielstra
Oplage	10
Aantal pagina's	52 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Kennis voor Klimaat, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), KNMI
Projectnaam	Actualisatie klimaatrisico's
Projectnummer	060.06854



Dit onderzoeksproject werd uitgevoerd in opdracht van het Nationaal Onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat (www.kennisvoorklimaat.nl). Dit onderzoeksprogramma wordt medegefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2014 TNO

Samenvatting

Het wereldwijde klimaat en ook het klimaat in Nederland verandert. De Nationale Adaptatiestrategie (NAS) vraagt om een breder inzicht in de risicofactoren voor Nederland als gevolg van de voorziene klimaatverandering. Onze energie-, transport-, informatie- en communicatietechnologie (ICT) - en overige (vitale) infrastructuren zijn mogelijk gevoelig voor de toename in frequentie en intensiteit van extreem weerfenomenen. Omdat er bovendien veel onderlinge afhankelijkheden bestaan tussen de energie-, transport- en ICT-infrastructuren, is het nodig de aard en omvang van die kwetsbaarheden en risicofactoren in onderling verband te analyseren. Deze afhankelijkheid van energie geldt ook voor andere sectoren in de Nederlandse samenleving.

Dit deelrapport energie analyseert de risicofactoren die ontstaan door extreme weersomstandigheden als gevolg van de voorziene klimaatveranderingen tussen nu en 2050 en de mogelijke kansen die dit brengt voor de Nederlandse energie-infrastructuur. Omdat klimaatadaptatie met een complex speelveld te maken heeft van uiteenlopende actoren en belangen zijn ook de institutionele en governance risico's en kansen in kaart gebracht.

De belangrijkste bevindingen zijn:

1 De grootste risicofactoren zijn langdurige uitval van de energievoorziening en cascade-effecten

Het grootste risico voor de samenleving treedt op wanneer een gebied in Nederland voor een langere periode niet voorzien wordt van energie.

Door extreme neerslag of door overstroming als gevolg van zeespiegelstijging kan bijvoorbeeld een elektriciteitscentrale of -koppelstation dan wel een gasontvang- of compressiestation inunderen. Door extreme hitte of droogte kan er een tekort aan koelwater ontstaan voor elektriciteitscentrales. Ook door blikseminslag of harde windstoten kan het voorkomen dat de energie-infrastructuur wordt beschadigd. De fysieke schade aan het netwerk is dan niet de grootste kostenpost en ook het aantal (dodelijke) slachtoffers zal relatief klein zijn. De economische schade die geleden wordt omdat bedrijven en huishoudens geen gebruik kunnen maken van elektriciteit en gas kan echter hoog oplopen. Dit wordt mede veroorzaakt door de grote afhankelijkheid van andere sectoren van energie. Wanneer een deel van het energienetwerk uitvalt zal dit ook negatieve gevolgen hebben voor het functioneren van bijvoorbeeld de transport- en ICT-infrastructuren. Naast dit risico van cascade-uitval moet ook de toenemende kans op het tegelijk falen van meer vitale infrastructuren (common cause failure) door extreem weer niet veronachtzaamd worden.

2 Het risico op langdurige uitval en cascade-effecten wordt in de toekomst groter

Door sociaaleconomische ontwikkelingen en het toepassen van nieuwe technologieën, bijvoorbeeld elektrische fietsen en auto's, wordt de samenleving steeds afhankelijker van een betrouwbare energievoorziening. De toenemende energie-afhankelijkheid van andere vitale infrastructuren, zoals de ICT en transportsector vergroot ook de kwetsbaarheid van die sectoren. Verwacht wordt dat in de komende decennia extreem weersituaties die een risico vormen voor de energie-infrastructuur, zoals hevige regenval, harde windstoten, hitte en droogte vaker en heviger gaan voorkomen.

3 Klimaatadaptatie is geen vanzelfsprekendheid

Zowel publieke als private partijen willen vooraf weten wat een investering in infrastructuur oplevert. De bewustwording van (vitale) infrastructuureigenaren over de mogelijke risicofactoren, de noodzaak tot het investeren in maatregelen en de mate van urgentie ten aanzien van klimaatadaptatie is vaak nog zeer beperkt. Met het creëren van bewustwording ontstaat er momentum waardoor meerdere partijen kunnen aanhaken in het proces. De Nationale Adaptatie Strategie kan hier een belangrijke rol in spelen.

4 Een klimaatadaptatiestrategie moet gezamenlijk ontwikkeld worden

De energiesector en allerlei andere (vitale) sectoren zijn door hun afhankelijkheden onlosmakelijk met elkaar verbonden. Een goede klimaatadaptatiestrategie moet daarom verder strekken dan alleen de energiesector en de energie-infrastructuur. Daarnaast spelen belangen van zowel overheden, burgers en bedrijven een rol. Doordat middelen, zoals tijd, geld en kennis beperkt zijn moeten er keuzes worden gemaakt. Door het organiseren van dialogen met alle partijen kunnen de verschillende perspectieven op de noodzaak en de mate van klimaatadaptatie worden gedeeld. Voor de energiesector geldt dat overheden, toezichthouders, energieproducenten, energienetwerkbeheerders, lokale partijen en vertegenwoordigers van andere vitale sectoren (bijvoorbeeld transport en ICT) in een vroeg stadium met elkaar rond de tafel moeten zitten om hun wederzijdse continuïteitsbelangen te bespreken.

5 Zie klimaatadaptatie als een investering

Net zoals alle andere investeringen moet men voor klimaatadaptatiemaatregelen in een vroeg stadium middelen beschikbaar maken. In het geval van klimaatadaptatie zal de investering zich terug verdienen in de vorm van vermeden kosten. Door te investeren in het aanleggen van een dijk zal de materiele schade en het aantal slachtoffers bij een natuurramp lager zijn dan het geval was zonder de dijk. Echter, door de complexiteit en onzekerheid van de effecten van klimaatverandering is klimaatadaptatie een investering waarvan men moeilijk kan voorspellen of en in hoeverre deze kan worden terugverdiend. Aan het accepteren van een zekere mate van onzekerheid is dus niet te ontkomen. Door efficiënt aan te haken bij gangbare infrastructuurinvesteringen kan met een relatief kleine extra investering meerwaarde worden behaald in klimaatadaptatie. Er kan hierbij gebruik worden gemaakt van 'no regret' of 'low regret' maatregelen. Dit zijn maatregelen waarbij de kans dat je spijt gaat krijgen van de investering relatief laag is ondanks een onzekere toekomst. De tijdspanne tussen de kosten en baten van een investering kan meerdere decennia beslaan. Deze lange tijdspanne zorgt ervoor dat afspraken voor de korte en lange termijn met elkaar verbonden moeten worden.

6 Monitoring en flexibiliteit van het proces

Klimaatadaptatie is een continu proces. Doordat de korte termijn met de lange termijn wordt verbonden moet er voortdurend worden gecontroleerd of de gemaakte stappen en plannen voldoen aan de veranderende context en nieuwe inzichten. Eenmalig nadenken en beslissingen nemen in het kader van klimaatadaptatie is niet voldoende. Klimaatadaptatie moet daarom deel gaan uitmaken van de continue besluitvormingsprocessen rondom strategische en tactische infrastructuurinvesteringen in de energiesector. Door het proces te monitoren kunnen er op tijd beslissingen worden genomen en kan de gekozen koers zo nodig worden aangepast aan de dynamische ontwikkeling van de energie-infrastructuur.

7 Kennisbasis klimaatadaptatie ontwikkelen tot exportproduct

De kennisbasis over de invloed van klimaatverandering op de Nederlandse en internationale energie-infrastructuur is nog mager. Er is relatief veel bekend over consequenties ten aanzien van een overschot aan water, maar voor andere mogelijke typen van extreem weer is deze kennis beperkt. Het ontbreekt voor een groot deel aan methodieken voor analyse, beoordeling en monitoring van de specifieke risicofactoren voor energie-infrastructuren. De laatste jaren is er veel geïnvesteerd in deze kennisbasis. Dit heeft meer inzicht gegeven in zowel de technische als de institutionele risicofactoren. Door te blijven investeren in deze kennisbasis kan klimaatadaptatie zich ontwikkelen als Nederlands exportproduct.

8 Van strategie naar implementatie

De verwevenheid en gelaagdheid van partijen die te maken hebben met de effecten van klimaatadaptatie en die met elkaar zouden moeten samenwerken om het gedachtengoed van de Nationale Adaptatie Strategie te implementeren is complex. Het beleid dat op rijksoverheidsniveau wordt opgesteld krijgt pas vorm als het door de eigenaren en beheerders van infrastructuur wordt toegepast. De stap van brede nationale leidraden op het gebied van klimaatadaptatie naar concrete locatie- en infrastructuurspecifieke implementatie is niet eenvoudig. Bij het vormgeven van de Nationale Adaptatie Strategie is het dus van belang om mee te nemen hoe deze strategie doorvertaald kan worden naar de praktijk. Dit kan door het verfijnen van de nationale strategie naar lagere schaalniveaus en door een handreiking te geven op welke manier partijen samen tot oplossingen zouden kunnen komen in een collaboratief besluitvormingsproces.

Summary

The global as well as the Dutch climate changes. The Dutch National Adaptation Strategy (NAS) requires a broader understanding of the risk factors related to the expected climate change for the Netherlands. The Dutch energy, transport, information and communication technology (ICT), and other (critical) infrastructures may be sensitive to the increase in the frequency and intensity of extreme weather phenomena. Since there many dependencies between the energy, transport and ICT infrastructures, it is necessary to analyse the nature and possible extent of the climate change related vulnerabilities and risk factors across these critical sectors. Also, the non-critical sectors are highly dependent on reliant energy supply as well. This report on energy analyses the new risk factors and opportunities for the Dutch energy-infrastructure and energy sector which are related to extreme weather phenomena due to possible climate changes between now and 2050.

The key observations are:

1 Lack of energy supply and cascading effects

A failing energy grid due to climate change driven effect result in a high societal and economic impact. It is understood that the cost to repair physical damages to infrastructure is factors lower than the costs of not being able to add value with the energy in all depending sectors of society.

The disruption of energy supply directly affects all critical infrastructures, for instance the information and communication (ICT) and transport sectors.

The risk of cascading effects to other sectors initiated by a failure of the energy sector is high. Another risk is common cause failures due to extreme weather affecting multiple critical infrastructures at the same time.

2 The risk increases

Socio-economic developments and new technologies, e.g. ICT, continuously increase the demand for energy as well as the societal need for a reliable energy supply. At the same time, the energy dependency of the other critical sectors increases their vulnerability and societal risk. The expected increase in frequency and impact of extreme weather such as extreme precipitation, strong winds, heat waves and drought poses new risk to the Dutch energy infrastructure.

3 Climate adaptation is not self-evident

Extra investments for climate adaptation of infrastructures require underpinning. Infrastructure operators are not yet fully aware and lack a sense of urgency about the climate change risk to their infrastructures and the need to take mitigating measures in due time. Awareness raising amongst the energy sector as well as with their (critically) dependent customers may create a momentum for all stakeholders to join forces, alike the Climate Change Action Plan in the USA.

4 A climate adaptation strategy needs to be a joint development

Critical infrastructures and important societal services in The Netherlands as well as the Dutch citizens are highly dependent of a reliable supply of energy. In turn, the energy sector depends on other critical sectors, such as ICT and transport. Therefore, a national climate adaptation strategy has to extend

beyond the energy sector and the energy infrastructures. Moreover, public interest and the interest of citizens and businesses need to be taken into account as well. As hundred percent security is utopia, discussions with all stakeholders shall define the acceptable risk level taking a cross-sector balanced approach.

5 Climate adaptation is an investment

Climate adaptation requires investments while there are many unknowns about the return-on-investment. Using normal infrastructure investment plans as a vehicle to create a climate adapted infrastructure may require only marginal extra investment costs with a maximum of added-value. A strategy of taking 'no' or 'low regret' measures does not result in much regret afterwards when the development of the climate change effect differs from the current expectations. However, note that climate adaptation may require investments now while the return-on-investment may be a long term issue. This requires that the climate adaptation plan has to be embedded both in the current operations and in the long-term strategic planning of the energy operators.

6 Monitoring and flexibility

Climate adaptation is a process. This requires continuous monitoring of the current state, and whether the development of investment plans, execution of plans, and the embedding of climate adaptation measures in operational processes still fit the changing context and new insights in climate change and its phenomena.

Climate adaptation is not a one shot issue. Therefore, the topic needs to be embedded in the strategic and tactical infrastructure investment decision-making processes of the energy sector while taking account of the dynamics of the technological and other changes in the energy and other sectors.

Cross-sector development of indicators to monitor the level of resilience of the critical sectors for extreme weather and climate change is an important next step.

7 Develop the climate adaptation knowledge and innovations into an export product

The current knowledge base on the influence of climate change on the Dutch and international (energy) infrastructures is still in its infancy. Our knowledge base on water related extreme weather events is relatively big, but on other topics we need to take big steps in our knowledge development. There is a lack of methodologies for the analysis, assessment, and monitoring of the specific climate change risk factors for the energy sector. Investments in extending the current knowledge basis and innovations in this field may strengthen the Dutch export opportunities.

8 From strategy to implementation

The structure and entanglement of all Dutch and international stakeholders involved the (potential) effects of climate adaptation and the implementation of the National Adaptation Strategy is complex. Government policy needs to be implemented. The conversion of national guidance documents to location and infrastructure specific implementations is not yet a simple matter. It is recommended that the National Adaptation Strategy takes into account how the strategy is fit for implementation and how to establish collaborative decision-taking processes involving all stakeholders.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Summary	5
	Inhoudsopgave	7
	Lijst van tabellen en figuren	8
1	Inleiding	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Afbakening	9
1.3	Aanpak	10
1.4	Leeswijzer	11
2	Systeembeschouwing van de Nederlandse energie-infrastructuur	12
2.1	Betekenis van energie en infrastructuur	12
2.2	Korte beschrijving van de Nederlandse energiesector	13
3	Klimaatverandering en gevolgen voor de Nederlandse energie-infrastructuur	19
3.1	Meest relevante klimaateffecten	19
3.2	Methode risicoactualisatie en risicovariabelen	21
3.3	Risico's en kansen voor het huidige systeem	22
3.4	Kansen als gevolg van klimaatverandering	34
4	Risico's en kansen op basis van toekomstige ontwikkelingen	36
4.1	Toekomstige ontwikkelingen in de sector	36
4.2	Risico's en kansen in de Deltascenario's	37
4.3	'Wild cards': nauwelijks denkbaar, grote gevolgen	39
4.4	Risico's en kansen in de toekomst	41
5	Perspectieven voor beleid, praktijk en wetenschap	42
5.1	Perspectieven om te komen tot een NAS	42
5.2	Praktijk van de sector	42
5.3	Wetenschap en kennisontwikkeling	43
6	Conclusies	44
	Bijlagen	
	A Deelnemers aan de bijeenkomsten	
	B Referentiedocumenten	
	C Risicotabel energiesector	
	D Cross-sectorale verbanden	

Lijst van tabellen en figuren

Tabellen

Tabel 1	Economische impactklassen.....	22
Tabel 2	Sociaal-maatschappelijke impactklassen	22
Tabel 3	Overzicht van risico's voor de energiesector	23
Tabel 4	Initiërende en resulterende cascade-effecten op basis van empirische data.....	40

Figuren

Figuur 1	Relatieve uitval van vitale infrastructuren in Nederland (2005-2011) en cascade-effecten (het aantal externe verstoringen is gedeeld door vijf in verband met de visualisatie) [N=911]	12
Figuur 2	Mix van energiebronnen in Nederland in 2010	14
Figuur 3	Overzicht van elektriciteitscentrales in Nederland	15
Figuur 4	Overzicht van het elektriciteitsnetwerk van TenneT in Nederland (bewerkt; bron: http://www.fibronot.nl/nieuwsartikel2012-95)	16
Figuur 5	Overzicht van het gastransportnetwerk in Nederland (bron: Gas Transport Services, 2008).....	17
Figuur 6	Overzicht regionale elektriciteit- en gasnetbeheerders (bron: http://www.energieleveranciers.nl/netbeheerders/overzicht-netbeheerders).....	18
Figuur 7	De KNMI '14 klimaatscenario's langs assen van temperatuurstijging en <i>luchtstromingspatronen</i>	19
Figuur 8	Overzicht risicofactoren, frequenties en economische schade	24
Figuur 9	Overzicht risicofactoren, frequenties en sociale schade.....	24
Figuur 10	De deltasenario's in twee assen: klimaatverandering en economische ontwikkeling	37

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Dit rapport geeft een actualisatie van de risicofactoren en kansen als gevolg van klimaatverandering voor het thema energie. Het is opgesteld als bouwsteen voor de Nationale Adaptatiestrategie (NAS). In de NAS, die in 2016 zal verschijnen, stelt het ministerie van Infrastructuur en Milieu vast met welk beleid Nederland klimaatbestendig wordt en welke activiteiten daarbij horen. Om dat in de volle breedte te kunnen doen is het nodig om de risico's en kansen van klimaatverandering in beeld te brengen, en te bezien of de nieuwste inzichten in de klimaatverandering zelf en de effecten van een mogelijke klimaatverandering aanleiding geven om het huidige beleid aan te passen. Daarnaast vraagt de Europese Commissie van elke lidstaat een integraal klimaatadaptatiebeleid.

Belangrijke aanleiding voor deze actualisatie van de klimaatrisico's en kansen is een studie door de Algemene Rekenkamer¹, waarin deze aangeeft dat het in het klimaatadaptatiebeleid van Nederland ontbreekt aan een geïntegreerde aanpak voor alle klimaatrisico's en dat er een sterke dominantie is op de onderwerpen waterveiligheid, zoetwatervoorziening en klimaatbestendige stad. De sectoren gezondheid, visserij, natuur, land- en tuinbouw, energie, ICT en transport krijgen volgens de Algemene Rekenkamer te weinig aandacht. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft daarop aan het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), het KNMI en Kennis voor Klimaat (KvK) gevraagd om de klimaatrisico's voor deze thema's in beeld te brengen. De uitdaging is om te komen tot een actueel beeld van risico's en kansen voor Nederland als gevolg van klimaatverandering, nu en op de middellange termijn.

In de Nationale Adaptatiestrategie van 2007 is een aantal risico's voor het thema energie benoemd. De vraag naar koeling in de zomer zal bijvoorbeeld toenemen en de vraag naar warmte in de winter zal afnemen. Daardoor zal er een extra elektriciteitsvraag in de zomer ontstaan voor airconditioning en koeling. Deze extra capaciteitsvraag valt echter samen met een afnemende bulkproductiecapaciteit als gevolg van hogere rivier- en de binnenwatertemperaturen. De elektriciteitssector heeft deze ontwikkeling reeds onderkend: nieuwe (bulk)elektriciteitscentrales worden langs de kust gepland.

Dit rapport geeft een actueel beeld van het klimaatveranderingsrisico voor de energiesector. Dit aan de hand van de nieuwste inzichten van het KNMI over klimaatverandering en aan de hand van recente studies over klimaat en infrastructuur (zie ook bijlage B).

1.2 Afbakening

In dit rapport staan de gevolgen van klimaatverandering voor de Nederlandse energie-infrastructuur centraal. Er wordt gekeken naar de fysieke elementen waaruit de energie-infrastructuur is opgebouwd en de effecten hierop door de

¹ Aanpassing aan klimaatverandering: strategie en beleid (2012), brief aan de Tweede Kamer van de Rekenkamer, 33470, 15 november 2012.

verwachte toename in extreme weersomstandigheden. Dit kan nieuwe kwetsbaarheden en een toename van bestaande kwetsbaarheden als gevolg hebben, maar ook nieuwe kansen bieden. Door het gebrek aan kennis over de effecten van geleidelijke veranderingen is het moeilijk om hier uitspraken over te doen. Daarnaast wordt de meest evidente schade aan infrastructuur juist geleverd door extreme weersomstandigheden. De geleidelijk toename van de zeespiegel en de waterafvoer van rivieren wordt wel meegenomen in dit onderzoek, omdat dit kan leiden tot een plotselinge overstroming met veel schade als gevolg.

In het Nederlandse energiesysteem onderkennen we infrastructuur voor winning, conversie, transport, distributie en eindgebruik. Dit rapport beperkt zich tot de infrastructuur die relevant is voor de energiedragers gas en elektriciteit². Transport en distributie maken deel uit van deze studie voor zover het gaat om het vervoer van aardgas via pijpleidingen, en het landelijke transportnet en de regionale distributienetten voor elektriciteit. Het transport van LNG, aardolie en steenkool met zee- of binnenvaart, via het spoor of over de weg wordt meegenomen in het deelrapport over transport.

Door de dynamiek van de energiesector en de hiervan afhankelijke vitale infrastructuren, is deze inventarisatie en analyse per definitie nooit af of volledig. De nadruk van dit onderzoek ligt op de risicofactoren en kansen voor de energieinfrastructuur in relatie tot klimaatverandering. De directe effecten op de gedrags- en gebruikerskant van het energiesysteem worden meegenomen daar waar ze dominant zijn.

1.3 Aanpak

We hebben de volgende stappen gevolgd, die tot deze rapportage heeft geleid:

- Afstemming met de andere thema's onder leiding van Kennis voor Klimaat, samen met PBL en KNMI over definities en opzet, leidend tot een overkoepelend analysekader.
- Afbakening van de infrastructurele onderdelen van het Nederlandse energiesysteem inclusief de relevante internationale koppelingen.
- Specificeren van de relevante klimaateffecten, voornamelijk gericht op extreme weersomstandigheden, in nauwe afstemming met KNMI.
- Scan van beschikbare literatuur (wetenschappelijk en adviesrapporten) gericht risico's voor de fysieke infrastructuur en ordening van de bevindingen in een risicotabel.
- Benoemen van de belangrijkste toekomstige systeemontwikkelingen.
- Bepalen van meest kansrijke en meest risicovolle sociaaleconomische ontwikkeling op basis van Deltascenario's.
- Toets in een expertsessie van afbakening, risico-tabel en toekomstbeelden.
- Afstemming met andere thema's, PBL en KNMI over het meest risicovolle Deltascenario, tipping points in klimaat, de uitgebreide risicotabel en onderlinge interacties.
- Toetsing van de risicotabel en inventarisatie van kansen in een stakeholdersessie met klimaatdeskundigen, infrastructuurdeskundigen en partijen uit de energiewereld. (zie bijlage A voor de lijsten met deelnemers)

² <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/methoden/begrippen/default.htm?ConceptID=2576>.

- Individuele gesprekken met infrastructuurbeheerders.
- Verwerken van alle inzichten tot een conceptrapportage.
- Verwerken van commentaar van PBL, KNMI, KvK en de energiesector tot de eindrapportage.

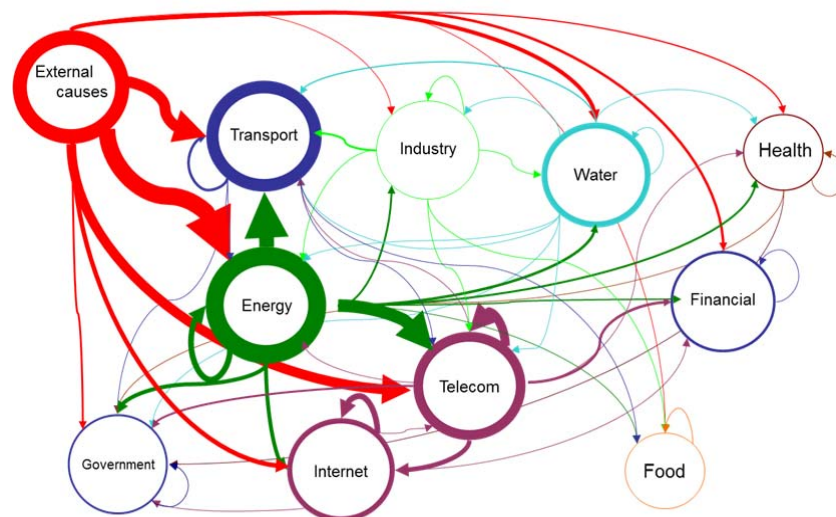
1.4 Leeswijzer

Dit rapport vervolgt na deze inleiding in hoofdstuk 2 met een systeembeschouwing van de Nederlandse energie-infrastructuur voor gas en elektriciteit. Op basis van die systeembeschouwing zijn de relevante infrastructuurelementen geselecteerd die mogelijk risico lopen door de effecten van extreem weer en de klimaatwijziging. Hoofdstuk 3 geeft de belangrijkste klimaateffecten weer en beschrijft op welke wijze deze invloed kunnen hebben op de vitale energie-infrastructuur. Dit geeft het huidige risico weer, die worden toegelicht of met sprekende voorbeelden worden geduid. Ook volgt er een opsomming van kansen voor de energiesector die zich voordoen als gevolg van klimaatverandering. Hoofdstuk 4 behandelt de toekomst: veranderingen in de energiesector of sociaaleconomische veranderingen kunnen tot andere of nieuwe risico's en kansen leiden. Hoofdstuk 5 beschrijft de handelingsperspectieven voor beleid, de kennisleemten voor de wetenschap, en de maatregelen die de energiesector zelf kan nemen. Hoofdstuk 6 tenslotte geeft de conclusies.

2 Systeembeschoouwing van de Nederlandse energie-infrastructuur

2.1 Betekenis van energie en infrastructuur

Energie is cruciaal voor de Nederlandse samenleving. De Nederlandse energie-industrie had een bruto-omzet van 40 miljard euro in 2012. Dit was 7% van het Nederlandse bruto binnenlandsproduct. Er zijn dan zo'n 100.000 mensen werkzaam in de Nederlandse energiesector en de gasbaten zijn ongeveer 12 miljard euro (Ministerie van EZ, 2012). Sinds 2009 is Nederland per saldo een exporteur van elektriciteit naar andere landen in West-Europa (TNO, 2013). De energiesector levert gas en elektriciteit aan de andere vitale sectoren, bedrijven en huishoudens en exporteert gas en elektriciteit naar andere landen in Europa. De Nederlandse energievoorziening is voor een groot deel ingericht op en afhankelijk van fossiele energiedragers als aardgas en steenkool. Voor verwarming van gebouwen en woningen in Nederland wordt voornamelijk aardgas gebruikt. Aardolieproducten zijn belangrijk voor de Nederlandse transportsector (stookolie, diesel, benzine). Om elektriciteit op te wekken, gebruiken we in Nederland dus hoofdzakelijk steenkool en aardgas als bronnen, zij vormen respectievelijk 22 en 63 procent van de totale elektriciteitsopwekking in 2010. Daarnaast zijn hernieuwbare c.q. duurzame bronnen in opkomst, zoals biomassa, zonne- en windenergie. In 2010 kwam 11% van de Nederlandse elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare bronnen (Ministerie van EZ, 2012).



Figuur 1 Relatieve uitval van vitale infrastructuren in Nederland (2005-2011) en cascade-effecten (het aantal externe verstoringen is gedeeld door vijf in verband met de visualisatie) [N=911].

De Nederlandse energiesector is door de overheid als vitaal sector aangemerkt. Het risico van grote economische schade en maatschappelijke onrust bij langdurige uitval of storingen in de energievoorziening is als hoog bestempeld. Elektriciteit heeft een dermate cruciale rol voor andere sectoren dat bij grootschalige uitval een

direct gevaar voor ontwrichting van de maatschappij bestaat³. Als de elektriciteitsvoorziening uitvalt of verstoord is, heeft dit na enige tijd onvermijdelijk cascade-uitval van andere vitale diensten bijvoorbeeld ICT tot gevolg⁴. Een dergelijke uitval van ICT kan op haar beurt weer andere cascade-uitval opwekken. Sterker nog, naast dit risico moet ook de toenemende kans op het tegelijk falen van meer vitale infrastructuren (common cause failure) door extreem weer niet veronachtzaamd worden. Veelal zijn wordt dit aspect vergeten bij het opstellen van calamiteitenplannen.⁵

Elektriciteit is na het keren van water de belangrijkste vitale dienst voor de andere vitale producten en diensten^{6 7}. Uitval van elektriciteit in Nederland heeft vaak een verstorend effect op andere vitale infrastructuur, zie bijvoorbeeld Figuur 1.

Een ander voorbeeld van het vitale belang van de energiesector is de aardgasvoorziening. Aardgas wordt gebruikt voor verwarming van huizen en gebouwen, warmte voor industriële processen en voedselbereiding. Uitval van de gasvoorziening tijdens winterse omstandigheden heeft een grote maatschappelijke en economische impact. Denk bijvoorbeeld aan plantschade in niet meer verwarmde kassen waardoor grote exportschade ontstaat.

2.2 Korte beschrijving van de Nederlandse energiesector

2.2.1 Elementen van de energie-infrastructuur

In dit onderzoek wordt de fysieke energie-infrastructuur uiteengezet in een zestal elementen:

1 Elektriciteitsproductie

In Nederland werd er in 2010 in totaal 118,1 miljard kWh opgewekt uit verschillende bronnen (Figuur). Grootschalige opwekking van elektriciteit in Nederland vindt veelal plaats in gas- en kolengestookte centrales. Een klein, maar groeiend deel van de elektriciteitsproductie in deze zogenaamde 'thermische' centrales vindt plaats met biomassa en afval. Daarnaast wordt een groeiende hoeveelheid elektriciteit gegenereerd door windmolenparken op land en op zee. De grote thermische centrales liggen vanwege de noodzakelijke aanwezigheid van koelwater meestal vlakbij zee, aan een rivier of binnenwater (Figuur). Dat geldt eveneens voor de kerncentrale Borssele. Naast de grootschalige centrale opwekking vindt in toenemende mate decentrale opwekking van elektriciteit plaats met warmtekrachtinstallaties, zonnepanelen en windmolens.

2 Het elektriciteitstransmissienetwerk

Het door TenneT beheerde hoogspanningstransmissienetwerk is gebaseerd op een voornamelijk bovengrondse transmissielijnennetwerk en koppel-, schakel-

³ <https://www.aivd.nl/onderwerpen/dossier/bedrijven/gas-elektriciteit/>.

⁴ Dongen, K. van, Stolk, D., Weber, L., Lange, M. de, (2013) Informatiepreparatie overstromingsrisico's en domino-effecten: Een verkenning.

⁵ Nieuwenhuijs, A.H., Luijff, H.A.M., Klaver M.H.A., "Modeling Critical Infrastructure Dependencies", in: IFIP International Federation for Information Processing, Volume 290, Critical Infrastructure Protection II, eds. P. Mauricio and S. Sheno, (Boston: Springer), October 2008, pp. 205-214, ISBN 978-0-387-88522-3.

⁶ Luijff, H.A.M., Burger, H.H., Klaver, M.H.A., Bescherming Vitale Infrastructuur: Quick-scan naar vitale producten en diensten (managementdeel). TNO rapport FEL-03-C001, 2003.

⁷ Luijff, H.A.M., Burger, H.H., Klaver, M.H.A., Bescherming Vitale Infrastructuur: Quick-scan naar vitale producten en diensten. TNO rapport FEL-03-C002, 2003.

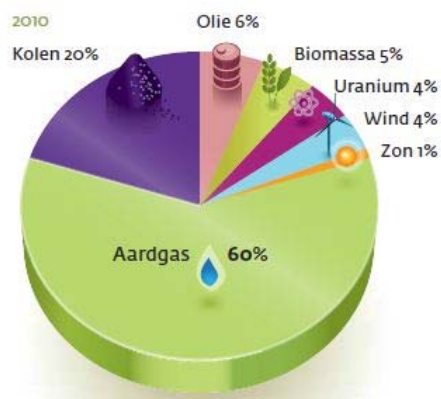
en transformatorstations. De laatste categorie wordt hieronder in punt 4 behandeld.

Het Nederlandse hoogspanningsnetwerk is ontstaan uit de oude provinciale netwerken die werken op verschillende spanningsniveau's (110 kV, 150 kV, 200 kV wisselstroom) en het 380 kV hoogspanningskoppelnets.

Dit transmissienetwerk is gebaseerd op veelal dubbel uitgevoerde ringstructuren. Er zijn vijf 380 kV koppelingen met de elektriciteitstransmissienetwerken van België en Duitsland⁸. Het Belgische netwerk vervult tussen Borssele en Maasbracht de zuidelijk ringfunctie.

Nederland heeft daarnaast internationale onderzeese 450kV gelijkstroom-hoogspanningsverbindingen (DC) met de elektriciteitstransmissienetwerken van Engeland (BritNed), Noorwegen (NorNed) en eerder wellicht Denemarken (Cobra). Zie ook Figuur 4.

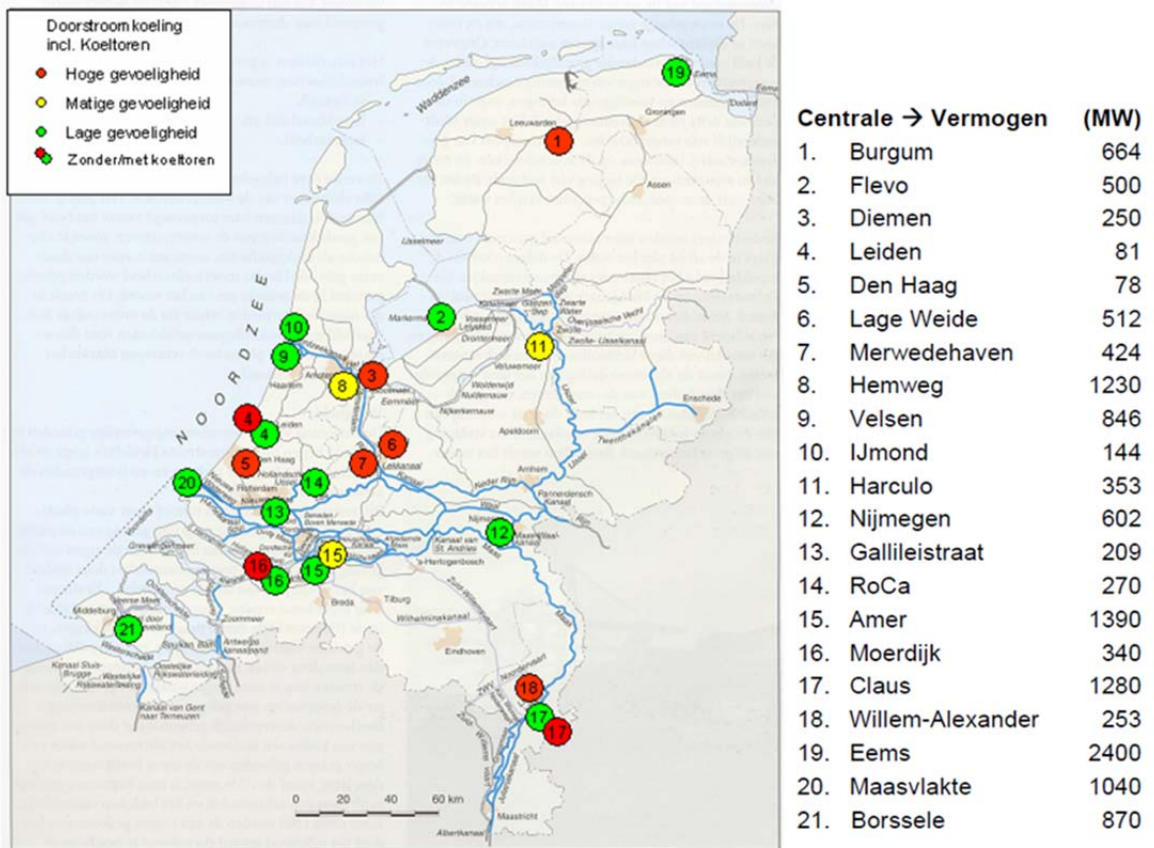
- 3 De distributienetwerken voor elektriciteit
Deze zijn zoveel mogelijk opgebouwd uit ringen waarvan uiteindelijk de aansluitingen voor huizen en bedrijven aftakken. Door de historische opbouw van het energienetwerk in Nederland hebben deze netwerken verschillende bedrijfsspanningen tussen de 110kV en 10kV.
- 4 Koppel-, schakel- en transformatorstations in het hoogspannings- en distributienetwerk
In de koppel-, schakel- en transformatorstations wordt hoogspanning naar laagspanning getransformeerd of andersom. Het zijn tevens de plekken waar verschillende netwerken worden gekoppeld en netwerkcapaciteit kan worden aan- of afgeschakeld.



Figuur 2 Mix van energiebronnen in Nederland in 2010⁹.

⁸ <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/elektriciteit/hoogspanningslijnen-en-laagspanningslijnen>.

⁹ <http://www.stichtingmilieunet.nl/andersbekekenblog/energie/naar-een-duurzame-energievoorziening-de-schone-taak-van-aardgas.html>.



Figuur 3 Overzicht van elektriciteitscentrales in Nederland.



Figuur 4 Overzicht van het elektriciteitsnetwerk van TenneT in Nederland (bewerkt; bron: <http://www.fibronot.nl/nieuwsartikel2012-95>).

5 Aardgastransportleidingen

Er is in Nederland een landelijk aardgastransportnetwerk (15.500 km) met 19 mengstations, 93 meet- en regelstations, 22 compressorstations, 1300 gasontvangstations en 14 exportstations (zie ook Figuur 5).

Aardgastransport in pijpleidingen leidt tot drukval, dit is het afnemen van de druk in de leiding. Dit gebeurt bijvoorbeeld naar verloop van tijd bij het transporteren van gas over grote afstanden. Kortere afstanden van een aardgasveld kunnen worden overbrugd omdat aardgas bij zo'n 80 bar geproduceerd wordt. Om grotere afstanden te kunnen overbruggen voeren compressorstations de druk van het gas op waardoor het aardgas als het ware wordt verpompt. In gasontvangstations wordt de druk van het aardgas uit het hoofdtransportnet verlaagd, zodat het in het middendruk of lagedruk distributienet verder kan stromen naar de eindgebruikers (NAVI, 2010).

Daarnaast is er een aantal leidingen die het gewonnen gas van productielocaties naar dit landelijk net transporteren. Het gros van het gas dat op de Noordzee wordt gewonnen, wordt via drie netwerken vervoerd: de WestGasTransportleiding (WGT), de NoordGasTransportleiding (NGT) en de Noordelijke Offshore Gastransportleiding (NOGAT)¹⁰.



Figuur 5 Overzicht van het gastransportnetwerk in Nederland (bron: Gas Transport Services, 2008).

2.2.2 Actoren in het energiesysteem

Er zijn verschillende partijen actief bij de opwekking, transmissie, transport, distributie en handel van energie. Dit zijn bijvoorbeeld toezichthouders, eigenaren, beheerders of gebruikers van de energie-infrastructuur.

Opwekking

Bij de productie van elektriciteit is een aantal grote commerciële spelers actief die grote thermische centrales en warmtekracht centrales beheren. Daarnaast is er een steeds groter aantal middelgrote en kleinere opwekkers. Dit zijn onder meer tuinders, windparken beheert door collectieven van agrariërs en middelgrote tot grote opwekkers in de (petro-)chemische en andere grote industrie (onder andere academische ziekenhuizen, Shell, ICI, Tata Steel).

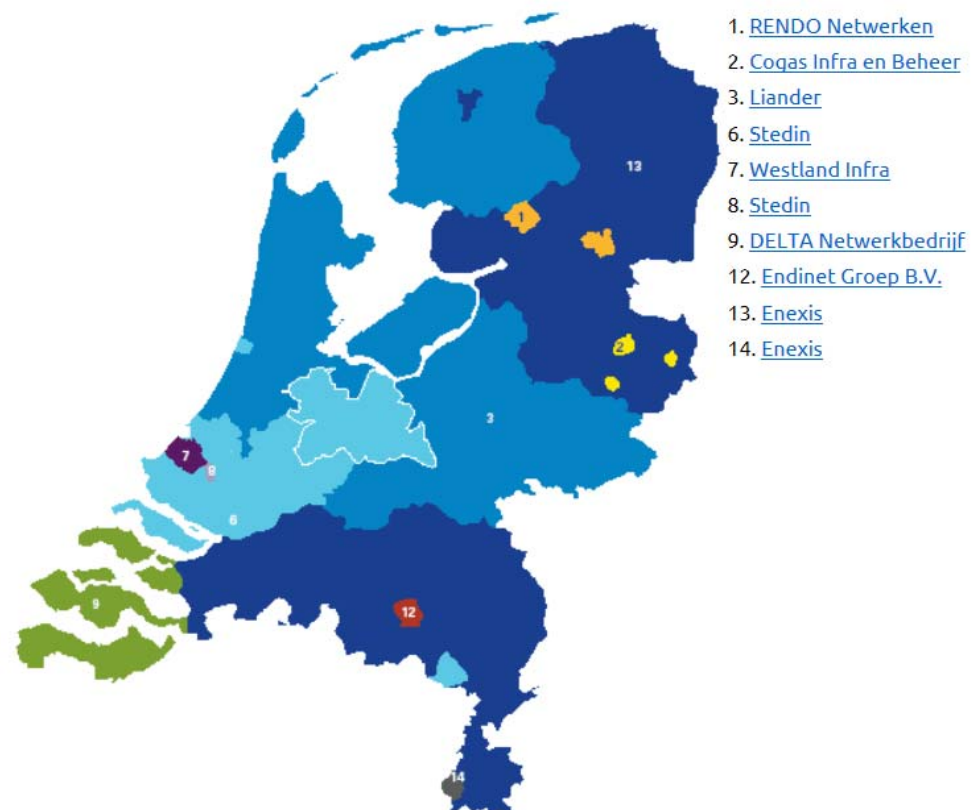
¹⁰ <http://www.nlog.nl/nl/infra/infrastructure.html>.

Transmissie, transport en distributie

Voor het hoogspanningsnetwerk in Nederland en een deel van Duitsland is TenneT verantwoordelijk. Vanwege het natuurlijk monopolie karakter en vanwege het grote publieke belang is de staat der Nederlanden de enige aandeelhouder. Een aantal regionale netbeheerders is verantwoordelijk voor de distributienetwerken (Figuur 6). Voor het landelijke gastransportnetwerk is de Gasunie Transport Services B.V. verantwoordelijk¹¹.

Verkoop

De energieleveranciers, zoals bijvoorbeeld Nuon, Eneco et cetera zijn verantwoordelijk voor de inkoop en levering van gas en/of stroom aan de consument. Zij maken hiervoor gebruik van de netwerken van de regionale netbeheerders.



Figuur 6 Overzicht regionale elektriciteit- en gasnetbeheerders (bron: <http://www.energieleveranciers.nl/netbeheerders/overzicht-netbeheerders>).

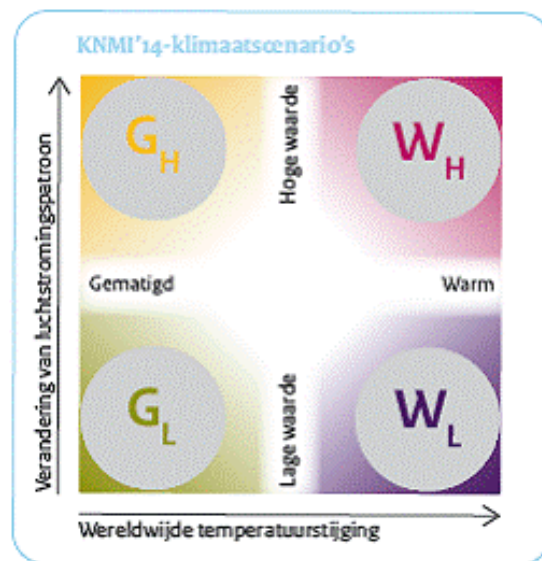
¹¹ <http://www.energieleveranciers.nl/netbeheerders/elektriciteit>.

3 Klimaatverandering en gevolgen voor de Nederlandse energie-infrastructuur

Hoofdstuk drie geeft weer hoe klimaatverandering ingrijpt op de Nederlandse energie netwerken. Het gaat daarbij zowel om de risico's als de kansen die klimaatverandering met zich meebrengt. Dit hoofdstuk gaat uit van de huidige situatie ten aanzien van de netwerken. In hoofdstuk 4 wordt er vooruit gekeken naar mogelijke toekomstige ontwikkelingen. De eerste paragraaf geeft weer welke aspecten van de klimaatverandering het meest relevant zijn voor de energie-infrastructuur. De paragrafen daarna beschrijven op welke wijze de risico's zijn geïventariseerd en worden de risico's zelf besproken. Er worden risico's behandeld die een directe impact hebben op de fysieke infrastructuur en systeemrisico's die voornamelijk een impact hebben op het gebruik van bepaalde infrastructuren en diensten.

3.1 Meest relevante klimaateffecten

Het KNMI heeft in mei 2014 vier nieuwe klimaatscenario's gepresenteerd voor de toekomstige klimaatverandering in Nederland. Deze KNMI'14 scenario's zijn in een assenstelsel uiteen gezet op de indicatoren wereldwijde temperatuurstijging en veranderingen van luchtstromingspatroon (zie Figuur 7).



Figuur 7 De KNMI '14 klimaatscenario's langs assen van temperatuurstijging en luchtstromingspatronen.

In de nieuwste klimaatscenario's voor Nederland zetten veel van de nu al zichtbare klimaattrends door:

- Aan de Noordzeekust neemt het tempo van de zeespiegelstijging de komende decennia toe; de zeespiegel stijgt tot 2085 met 25 tot 80 centimeter ten opzichte van 1981-2010.
- De temperatuur stijgt verder: het meest in de winter, het minst in de lente. Op jaarbasis ligt de opwarming in Nederland tussen 1,0 en 2,3 graden rond

2050 en ze kan oplopen tot 3,7 graden in 2085. De winters in Amsterdam rond 2050 kunnen meer gaan lijken op de huidige winters in Bordeaux.

- De neerslag op jaarbasis neemt toe, extreme buien zullen door opwarming en toename van luchtvochtigheid extremer worden en gepaard gaan met meer en sterkere windstoten.
- De windsterkte bij stormen zal weinig veranderen.
- In alle scenario's neemt de kans op droogte in de periode april tot en met september toe. In de scenario's, waarbij de wind in de zomer vaker uit het oosten waait neemt de droogte het meest toe.
- De kans op mist zal de komende decennia afnemen.

Het gelijktijdig voorkomen van verschillende typen weersextremen (co-incidentie, bijvoorbeeld storm in combinatie met hevige neerslag) komt in het huidige klimaat ook al voor en is niet zozeer afhankelijk van een bepaald scenario. Omdat co-incidentie grote gevolgen kan hebben op de vitale infrastructuur is het een bijzonder aandachtspunt voor het KNMI. Op basis van deze '14 klimaatscenario's definiëren we vier extreme weersomstandigheden en een overstromingsscenario waarvan de kans toeneemt dat ze in Nederland zullen voorkomen.

1 Extreem hoge temperaturen

Er is een toename te verwachten in de kans op extreem hoge temperaturen in de zomer. Momenteel is het gemiddeld 22 uur per jaar warmer dan 32 graden Celsius. In het warmste scenario (Wh) is dit in 2050 tien keer zo groot (ruim 200 uur) en twintig keer zo groot in 2085 (bijna 500 uur).

2 Droogte

De kans op het voorkomen van langere perioden van relatief hoge temperaturen en/of weinig neerslag met als gevolg droogte neemt toe in twee van de vier scenario's. Als gevolg van droogte zal bodemdaling mogelijk versneld doorzetten. We beschouwen bodemdaling echter als autonoom verschijnsel en niet als klimaateffect.

3 Extreme windstoten

Het KNMI verwacht geen toename in aantal en kracht van stormen, maar harde windstoten en valwinden tijdens onweersbuien en extreme regenval worden wel meer waarschijnlijk.

4 Extreme regenbuien en onweer

De intensiteit van regenbuien neemt toe: bij hogere temperaturen valt er in korte tijd meer regen. Ook neemt de kans op hevige hagel en onweer toe. Dit zal voornamelijk gebeuren in de zomer. Momenteel is er een kans van eens in de tien jaar dat er 10 mm regenwater per 5 min valt. Deze neerslagintensiteit komt bij één graad temperatuurstijging eens per vijf jaar voor; bij vier graden temperatuurstijging eens per twee jaar.

5 Gevolgen van zeespiegelstijging en toename rivierwaterafvoer

Door zeespiegelstijging en door toename van de rivierwaterafvoer neemt de kans op een overstroming toe. Een grote hoeveelheid rivierwater die afgevoerd moet worden heeft de grootste kans om in de winter voor te komen. Een combinatie van bijvoorbeeld wateropzet door noordwesterstorm in combinatie met grotere rivierwaterafvoer is ook denkbaar.

Sommige extreme weeromstandigheden hebben een meer direct effect op het energiesysteem en hebben grotere negatieve gevolgen dan andere. In dit rapport ligt de nadruk op de effecten op de energie-infrastructuren door toename van extreem hoge temperaturen, langdurige droogte, overstromingen, kortstondige extreme windomstandigheden en intensere regenbuien. Het kan ook voorkomen dat deze verschijnselen in combinatie met elkaar optreden.

3.2 Methode risicoactualisatie en risicovariabelen

De nadruk van het actualiseren van de risico's ligt op de risico's die een directe impact hebben op de fysieke infrastructuur. Daarnaast worden er ook een aantal systeemrisico's behandeld. Systeemrisico's grijpen niet rechtstreeks in op de fysieke infrastructuur maar hebben betrekking op vraag- en aanbodpatronen, op het handelen van actoren, en op de herstelperiode. Deze risico's zijn dus gerelateerd aan het socio-technische systeem van infrastructuur. Wanneer door overstroming een elektriciteitscentrale uitvalt, heeft dit niet alleen fysieke schade als gevolg, maar kan indirect bijvoorbeeld ook het digitale betalingsverkeer stil komen te liggen waardoor nog meer economische activiteiten worden aangetast.

Voor de actualisatie van de fysieke risico's maken we gebruik van de methodiek van de Nationale Risicobeoordeling (NRB) van het Ministerie van Veiligheid en Justitie¹². Deze methodiek gaat uit van een risicomatrix waarbij de impact en de waarschijnlijkheid ieder op een as staan. De indeling die we voor deze actualisatie gebruiken gaat uit van de voor de sectoren relevante indeling en waarde voor deze variabelen.

We onderkennen daarnaast dat diverse netwerkbeheerders en stakeholders hun eigen risico-matrix hebben. Zoals een recent rapport van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) beschrijft: *“Bovendien kunnen kansen, risico's en onzekerheden door verschillende maatschappelijke actoren anders gewaardeerd worden, mede omdat de aard van de ervaren schade en de bron(nen) van bedreiging uiteen kunnen lopen en omdat wat als kansen en bedreigingen wordt beschouwd, niet voor iedere actor hetzelfde hoeft te zijn.”*¹³.

De waarschijnlijkheid wordt bepaald door de verwachte frequentie van optreden, als combinatie van de mate van voorkomen van de weersomstandigheden op basis van de KNMI'14 scenario's en de mate waarin het effect op de fysieke infrastructuur ook daadwerkelijk plaatsvindt. We hanteren daarbij een schaal die loopt van een keer per jaar tot eens in de duizend jaar.

Voor de impactklassen gebruiken we die effecten uit de NRB die voor de energiesector het meest relevant en aan de orde zijn. Dat betekent dat we gebruik maken van de categorieën economische schade en de mate waarin mensen getroffen worden in hun dagelijkse werkzaamheden.

In Tabel 1 staan de economische impactklassen die een maat geven van de te verwachten economische schade, zowel wat betreft:

¹² Nationale risicobeoordeling leidraad methode 2008, Ministerie BZK, Den Haag.

¹³ WRR (2014) Consistent maatwerk – handreikingen voor dossieroverstijgend risico- en veiligheidsbeleid.

- De directe schade
Schade aan objecten en infrastructuur, verlies aan omzet (niet-geleverde energie) en compensatie aan klanten na langdurige uitval¹⁴.
- De indirecte schade
De economische schade die ontstaat doordat geen economische meerwaarde ontstaat omdat een ICT-dienst niet beschikbaar is.

Tabel 1 Economische impactklassen.

<i>Economische impactklassen (euro)</i>
<10.000
10.000 - 100.000
100.000 - 1 miljoen
1 miljoen - 10 miljoen
10 miljoen - 100 miljoen
100 miljoen – 1 miljard
>1 miljard

Voor de sociale impact kijken we vooral naar de verstoring van het dagelijks leven. Dit kan gaan om het niet kunnen volgen van onderwijs, niet kunnen werken, verminderde bereikbaarheid door blokkade van wegen en uitval van openbaar vervoer, niet gebruik kunnen maken van maatschappelijke voorzieningen. Deze verstoringen zijn niet allemaal gelijkwaardig in ernst. Het moeten missen van drinkwater of mobiele communicatie is voor het dagelijks leven erger dan het niet gebruik kunnen maken van maatschappelijke voorzieningen.

Tabel 2 Sociaal-maatschappelijke impactklassen.

<i>Impactklassen in aantal getroffen</i>
<1.000
1.000 - 10.000
10.000 - 100.000
100.000 - 1 miljoen
1 miljoen - 10 miljoen
10 miljoen - 100 miljoen

3.3 Risico's en kansen voor het huidige systeem

De geanalyseerde documenten (bijlage B) en de aanvullingen van stakeholders en experts hebben geleid tot het volgende overzicht aan risicofactoren en kansen. De risicofactoren worden per infrastructuurcategorie weergegeven in Tabel 3. Deze tabel geeft op de verticale as de in paragraaf 2.2.1 besproken elementen van het energiesysteem weer. Alle eerder beschreven elementen zijn, ten bate van de overzichtelijkheid, in vier categorieën onderverdeeld; productie, bovengronds netwerk van kabels en leidingen, het ondergronds netwerk van kabels en leidingen, koppel-, schakel-, transformator- en compressiestations (hierna te noemen koppelstations).

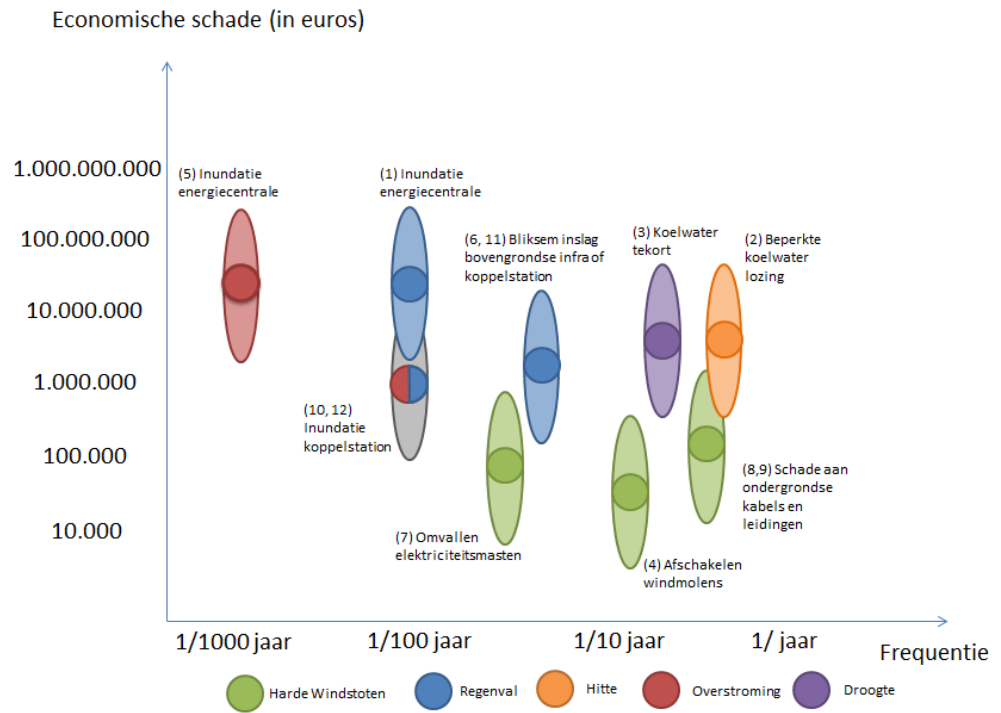
Op de horizontale as staan de in paragraaf 3.1 besproken extreme weersomstandigheden en klimaatveranderingen. paragraaf 3.1 geeft hierdoor in één oogopslag weer waar op hoofdlijnen de voornaamste risicofactoren voor de

¹⁴ <http://www.netbeheernederland.nl/netbeheer-voor-u/storingen/>.

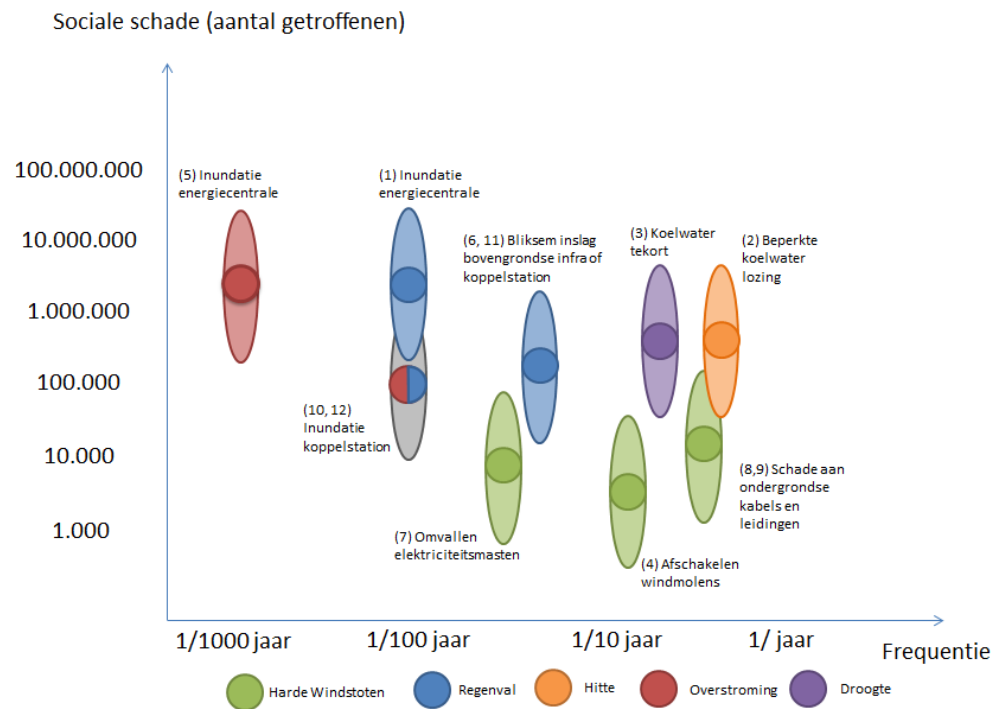
Nederlandse energie-infrastructuur liggen. De combinatie van de sociale en economische impactklassen en de waarschijnlijkheid van de in de tabel genoemde risico's leidt tot Figuur . De basis voor deze figuur is de risicotabel in bijlage C. Na de tabel en grafiek wordt per risico een toelichting gegeven op basis van de beschikbare informatie. De nummers tussen haakjes in de tabel en de grafiek verwijzen naar de nummering bij de toelichting daaronder.

Tabel 3 Overzicht van risico's voor de energiesectorenergiesector.

Weersomstandigheid	Extreme regenval en onweer	Extreem hoge temperaturen	Droogte	Extreme windstoten	Overstromingsgevolgen door zeespiegelstijging en hogere piekafvoer rivieren
Fysieke bouwstenen van energie-infrastructuur					
Elektriciteitsproductie	(1) Overstromen van (thermische) elektriciteitscentrales	(2) Beperkte koelwater lozing	(3) Koelwater tekort	(4) Beperkte capaciteit windmolens door automatisch afschakelen	(5) Overstromen van (thermische) elektriciteitscentrales in overstromingsgebieden bij zee en rivieren
Bovengronds netwerk van kabels en leidingen	(6) Blikseminslag in hoogspanningsmasten en -leidingen			(7) Omvallen hoogspanningsmasten	
Ondergronds netwerk van kabels en leidingen				(8) Beschadiging ondergrondse kabels (9) Beschadiging ondergrondse leidingen	
Koppel-, schakel- en transformatorstations	(10) Overstromen van koppel- schakel en transformatorstations (11) Blikseminslag in koppel-, schakel- en transformatorstations				(12) Overstromen van koppel-, schakel- en transformatorstations in overstromingsgebieden bij zee en rivieren



Figuur 8 Overzicht risicofactoren, frequenties en economische schade.



Figuur 9 Overzicht risicofactoren, frequenties en sociale schade.

3.3.1 *Elektriciteitsproductie*

(1) Overstromen elektriciteitscentrale door extreme regenval en onweer

Door zeer veel regenval in een korte periode kan het voorkomen dat een elektriciteitscentrale inundeert. Deze kans neemt toe wanneer centrales op laag gelegen overstromingsgevoelige locaties zijn gebouwd. Extreme lokale neerslaghoeveelheden van 75 mm of meer in een etmaal komen nu minder dan eens in de 30 jaar voor, maar de KNMI'14 scenario's verwachten dat zowel de neerslag in de winter als in de zomer intenser zal worden. De totale hoeveelheid neerslag neemt in de winter toe volgens alle vier scenario's en in de zomer volgens twee van de vier scenario's. Het gebeurt ook dat elektriciteitscentrales preventief afschakelen wanneer de situatie kritiek dreigt te worden om eventuele schade te voorkomen.

Het elektriciteitsnetwerk in Nederland is grotendeels opgebouwd uit ringstructuren waardoor het een grote mate van redundantie heeft. Het hoogspannings-transmissienet kan op de meeste plaatsen op een of twee plekken worden onderbroken zonder dat dit direct problemen oplevert, omdat de stroom als het ware omgeleid kan worden. Als er echter op meer locaties tegelijkertijd een knooppunt of opwekker uitvalt dan kan dit problematisch zijn voor de energievoorziening van een gebied.

Dreigende overstroming schakelstation Engeland, 2007

Centraal en midden Engeland werden eind juli 2007 geteisterd door een periode met langdurige en zware regenval. De grote hoeveelheden neerslag veroorzaakte in een groot gebied overstromingen. Om veiligheidsredenen en om elektrische apparatuur te beschermen tegen kortsluiting werd de elektriciteitsdistributie (laagspanning) afgeschakeld. In het midden van het getroffen gebied ligt in Walham, Gloucestershire een schakelstation van het nationale hoogspanningsnetwerk. Omdat dit station geen deel uitmaakt van het lokale elektriciteitsdistributienetwerk, werd er geen aandacht gevraagd van de lokale autoriteiten om dit station te beschermen tegen het water. Pas op het allerlaatste moment werden de hulpdiensten gewaarschuwd en kon met zandzakken en pompen het schakelstation net voldoende droog gehouden worden. Had de National Grid Operator het station om veiligheidsredenen moeten afschakelen, dan was de stroomvoorziening voor 350.000 tot 500.000 huishoudens (twee miljoen mensen) minstens een week uitgeschakeld geweest en zouden de hulpdiensten aanzienlijk meer werk hebben gehad.

(BBC:http://www.bbc.co.uk/gloucestershire/content/articles/2008/01/02/saving_walham_feature.shtml;

Pitt Report:<http://www.publications.parliament.uk/pa/cm200708/cmselect/cmenvfru/49/4904.htm>)



Het Walham schakelstation met een tijdelijke dam tegen het water (UK MOD, Crown Copyright (2007)).

(2) Beperkte koelwaterlozing door hoge temperatuur rivierwater

Wanneer de temperatuur van het rivierwater 24 °C of meer is (of 22 °C bij een laag waterdebiet), mag er geen warm koelwater meer geloosd worden in de rivier om de ecologie te beschermen. In het jaar 2000 kwam het meer dan 30 keer per jaar voor dat de temperatuur van de Rijn bij Lobith 24 °C of hoger is en de trend is dat dit blijft toenemen (Droogtestudie, 2003). Dit heeft als gevolg dat de elektriciteitscentrales die aan dit water staan hun koelwater niet meer mogen lozen en hun capaciteit moeten beperken. Er is sinds 2003 een Stappenplan koelwater dat de procedure beschrijft die in werking treedt wanneer de temperatuur van de Rijn dichtbij de kritieke temperatuurgrens komt. Hierna wordt scherp gemonitord hoeveel koelvermogen er beschikbaar is om elektriciteit te kunnen produceren. Mocht er een tekort dreigen te ontstaan dan kan er bepaald worden dat er op een bepaalde plek voor een bepaalde duur de koelwatertemperatuurgrens mag worden overschreden (Rijksoverheid, 2004). Door de scherpe monitoring en de verruiming van de koelwatertemperatuurgrenzen kunnen de gevolgen beperkt worden gehouden. Ook het gebruik van koeltorens is een doeltreffende methode om het water eerst af te laten koelen waarna het geloosd mag worden in het oppervlaktewater.

(3) Tekort koelwater door lage rivierstanden

Indien er door droogte te weinig water in de rivieren staat, kunnen elektriciteitscentrales met een tekort aan koelwater te maken krijgen. In geval van een nationale calamiteit als gevolg van stroomuitval heeft de Minister van Economische Zaken (EZ) bijzondere bevoegdheden. Op grond van aanvullingen op de Distributiewet 1939 heeft de minister in dat geval de bevoegdheid om noodmaatregelen te treffen ten aanzien van de distributie van gas en elektriciteit. In buitengewone omstandigheden (vitale belangen worden bedreigd en normale (wettelijke) bevoegdheden zijn ontoereikend) heeft de Minister van EZ de bevoegdheid om bepaalde gebruikersgroepen af te schakelen. In de overige omstandigheden zijn de netbeheerders binnen de gestelde wettelijke kaders primair verantwoordelijk voor de procedures rondom afschakelen. Deze procedure staat beschreven in het Stappenplan koelwater uit 2003. Regionale netbeheerders zijn op grond van de Systeemcode verplicht om afschakel- en herstelplannen op te stellen met het oog op de mogelijkheid dat TenneT, conform haar wettelijke verplichting, de belasting op het transmissienetwerk moet verminderen. Ondanks deze plannen is er in veel gevallen nog veel onduidelijkheid over de besluitvorming en verantwoordelijkheden rondom afschakeling. (Rijksoverheid, 2004).

Koelwaterbeperking, 25 juli 2006

In de zomer van 2006 moest TenneT, de organisatie die het Nederlandse hoogspanningsnetwerk beheert en de elektriciteitsvoorziening coördineert, haar stappenplan koelwaterbeperking in werking zetten.

Dat gebeurt als elektriciteitscentrales door de combinatie van lage rivierwaterafvoer, en hoge rivierwatertemperatuur vanwege de milieuwetgeving niet genoeg koelwater kunnen c.q. mogen lozen om hun elektriciteitsproductie op peil te houden. De operationele reserve, de extra energie die in noodgevallen ingezet kan worden om de stabiliteit van het elektriciteitsnetwerken te allen tijde te verzekeren, zakte daardoor tot onder de 700 megawatt.



Bron: <http://www.kennislink.nl/publicaties/stroomnood-door-hittegolf>.

De jaarlijkse verwachtingswaarde van schade voor de Nederlandse economie door droogte ligt tussen de 350 en 500 miljoen euro. Hierbij wordt uitgegaan van de schade die de landbouwsector ondervindt, bijvoorbeeld in de vorm van gemiste inkomsten door mislukte oogsten. De indirecte schade aan andere sectoren door afschakeling als gevolg van een tekort aan elektriciteitscapaciteit zijn hierbij nog niet meegenomen. De mogelijke extra kosten om de negatieve gevolgen van de capaciteitsbeperking op te heffen (klimaatadaptatie maatregelen) worden geraamd op 45 miljoen euro per jaar. Hierbij wordt gedacht aan maatregelen zoals meer import, het geleidelijk verplaatsen van centrales naar de kust en technische investeringen om de elektriciteitsproductie minder afhankelijk van koelwater te maken. Om uitspraken te kunnen doen over de frequentie van extreme droogte wordt gebruik gemaakt van karakteristieke historische jaren en hun herhalingskans. Zo komt er eens in de dertig jaar een jaar voor dat nog droger wordt bevonden als een droog jaar zoals in 1949. In 1949 zorgde de droogte voor een water te kort waar voornamelijk de landbouwsector onder te lijden had (Droogtestudie, 2003).

(4) Beperkte capaciteit door automatisch afschakelen windmolens vanwege aanhoudende extreme windstoten

Windenergie was in 2009 verantwoordelijk voor 4,5 procent van de totale Nederlandse stroombehoefte. Naar verwachting zal dat aandeel in 2015 stijgen tot 10,5%. Windmolens worden zo ontworpen dat ze ook bij harde wind productief kunnen zijn. Indien de windsnelheid te hoog wordt draaien de meeste windmolens automatisch uit de wind om schade te voorkomen. Voor veel windmolens geldt dat het minstens tien minuten lang met windkracht tien moet waaien voordat deze procedure zich in gang zet. Een dergelijke situatie is de afgelopen tien jaar slechts een paar keer voor gekomen. Voor moderne windmolens geldt dat ze winden tot windkracht 12 aan kunnen en dat ze langzaam minder gaan draaien om een

abrupte terugval in geleverd vermogen aan het net te voorkomen (Lautof, 2008). Het KNMI verwacht dat het aantal stormen ongeveer gelijk blijft en de toename van extreme windvlagen die wel verwacht wordt hoeft geen direct effect te hebben op het stilzetten van windmolens. Aan het andere uiterste zit het tekort aan wind waardoor windmolens minder elektriciteit kunnen genereren. Langere perioden met relatief weinig wind kunnen vaker voor gaan komen, dit soort tijdelijke beperkingen in capaciteit moeten door andere opwekkers worden opgevangen.

(5) Overstroming energiecentrale door gevolgen zeespiegelstijging of extreme piekafvoer rivieren

Indien er een overstroming plaats vindt doordat de zee- of rivierdijken het begeven zullen de schadelijke gevolgen zeer omvangrijk zijn. Niet alleen zullen er problemen ontstaan doordat energiecentrales inunderen, maar ook allerlei andere sectoren en functies worden aangetast door de overstroming. Hierdoor zijn er veel minder alternatieven mogelijk om de elektriciteitsopwekking over te nemen en is het aannemelijk dat reparatie en weer in gebruik nemen van de energiecentrale lang op zich laat wachten. Er is veel onderzoek gedaan naar de doorbraak van dijkkring 14 (RWS, 2010). Dit is de primaire kering die een groot deel van de Randstad tegen het water beschermt. De norm is dat dit niet vaker dan eens in de 10000 jaar mag gebeuren. Voor andere dijken ligt in veel gevallen de kans op overstroming een stuk hoger, afhankelijk van de locatie kan er dan ook aanzienlijke schade aan energie-infrastructuur en andere domeinen optreden (Vermeulen, 2010).

3.3.2 *Bovengronds netwerk van kabels en leidingen*

(6) Beschadiging bovengronds netwerk voor elektriciteit door blikseminslag (zie ook

(2) Blikseminslag in elektriciteitscentrale door extreme regenval en onweer)

Wanneer er schade wordt ondervonden aan een elektriciteitscentrale zijn de gevolgen waarschijnlijk groter dan wanneer slechts een onderdeel van het bovengrondse netwerk wordt geraakt, zoals een elektriciteitsmast. Doordat het netwerk voor een groot deel redundant is, kan er vaak via een andere 'route' toch nog stroom worden geleverd. Een storing door het onbruikbaar worden van een elektriciteitsmast in de buurt van Rotterdam heeft er in 2002 echter toe geleid dat 300.000 huishoudens zonder stroom kwamen te zitten (Wetemans, 2013).

(7) Beschadiging bovengrondse elektriciteitskabels door extreme windstoten

Het onbruikbaar worden van een deel van het bovengrondse netwerk door extreme windstoten komt niet vaak voor. Door zeer heftige valwinden kunnen zelfs elektriciteitsmasten omvallen (Groenland, 2010). Dit komt zeer zelden voor en gebeurde voor het eerst in 2010 toen vijf elektriciteitsmasten omvielen (zie kader). De gemeten hoogst gemeten snelheid van een windstoot was toen 123 km/u, maar lokaal kunnen de windstoten theoretisch 180 tot 200 km/u worden. Dit was voor de netbeheerder TenneT een unicum. Na onderzoek bleek dat de masten voldeden aan de ontwerpeisen, deze stemden echter uit 1970. In het kader van klimaat verandering moet dus in de ontwerpfase al ver vooruit worden gedacht om ontwerpen te realiseren die geschikt zijn voor de toekomstige context (KEMA, 2010). In mogelijk kwetsbare gevallen wordt tegenwoordig beter rekening gehouden met de aanwezigheid van andere functies, zoals ondergrondse gasleidingen in de invloedssfeer van de aan te leggen elektriciteitsmasten (Deltares, 2012).

Hoogspanningsmasten begeven het door harde wind, 2010

Op woensdag 14 juli 2010 zijn twee 150-kV hoogspanningsstations in Ulfst en Dale spanningsloos geworden door extreme valwinden. Ongeveer 30.000 klanten ontvingen geen elektriciteit meer (57 MW verlies). Vijf hoogspanningsmasten hadden het begeven. Volledig herstel van de twee verloren hoogspanningsstations kostte zo'n drie maanden. Door het aanleggen van een noodlijn en het omleiden van de elektriciteit kon op relatief korte termijn de elektriciteitsvoorziening weer worden hervat.



Bronnen: <http://www.cobouw.nl/nieuws/2010/07/16/Staalwerk-van-vijf-gevallen-hoogspanningsmasten-brak-af.html>;
<http://www.gelderlander.nl/voorpagina/achterhoek/6981417/Zes-hoogspanningsmasten-omgewaaid.ece>; <http://www.allepersberichten.nl/persbericht/14423/1/TenneT-werkt-aan-noodlijn-tussen-Doetinchem-en-Ulfst/> http://www.tennet.eu/nl/fileadmin/content-images/news-archive/omgevallen-mast1_tcm43-19251.jpg.

3.3.3 *Ondergronds netwerk van kabels en leidingen*

(8)/(9) Schade aan het ondergrondse netwerk van kabels en leidingen door extreme windstoten

In de energiesector kunnen gasleidingen en elektriciteitskabels schade door boomwortels ondervinden. Het gaat hierbij om boomwortels die zich verplaatsten doordat harde windstoten de bomen doen bewegen.

Ook waterleidingen zijn hiervoor gevoelig. Deze sector is nauw verbonden met energie, een groot deel van het water dat in een huishouden wordt gebruikt wordt eerst elektrisch of door middel van gas verwarmd (CROW, 2013). Er is weinig bekend over de directe en indirecte schade die dit fenomeen met zich mee brengt. De meeste schade aan leidingen komt door graafwerkzaamheden en boomwortels die langzaam de infrastructuur aantasten. Tegen deze effecten worden vaak al maatregelen genomen uiteenlopend van technische innovaties tot een beter afstemming tussen partijen. Het voorkomen van schade aan het ondergrondse netwerk door klimaateffect zou relatief gemakkelijk meegenomen kunnen worden in deze ontwikkelingen (SEO, 2007).

3.3.4 Koppelstations

(10) *Overstromen van koppelstations in het elektriciteits- of gasnetwerk door extreme regenval en onweer; zie ook (1) Overstromen van elektriciteitscentrales*

(11) *Blikseminslag in koppelstations in het elektriciteits- of gasnetwerk door extreme neerslag en onweer*

Op basis van onderzoek is bekend dat een elektriciteitsuitval in geheel België gedurende een uur terwijl alles in volle gang is 120 miljoen euro kost. Hiervan is twee miljoen euro door gemiste inkomsten aan elektriciteit en de rest door secundaire economische schade (Federaal planbureau, 2014).

Blikseminslag treft elektriciteitscentrale België, 2011

Nadat de bliksem insloeg in één van de transformatoren van de elektriciteitscentrale in Sint-Ulriks-Kapelle, België ontstond er een hevige brand. Dit kwam onder andere doordat een voorraad van 40.000 liter olie vlamvatte. Er vielen geen slachtoffers, maar van een deel van de centrale moest de stroom uitgeschakeld worden. De economische schade was relatief klein. De stroomvoorziening voor de omgeving kon door blijven gaan doordat er direct werd naar hulptransformatoren.



Bron: <http://www.persinfo.org/2011/06/29/volledig-bliksem-zet-stroomcentrale-brand/>.

In 2003 heeft het SEO kosten van een uur stroomuitval voor iedere regio in Nederland becijferd waarbij ook gerekend is uitval overdag versus in de nacht en voor week- en weekeinddagen (C. Bijvoet et al, 2003). Voor de Randstad overdag kwam men toen uit op maatschappelijke kosten in de orde van grootte van 72 miljoen euro per uur bij een waarde van de niet geleverde stroom van 'slechts' 1,6 miljoen euro. Uitval in geheel Nederland overdag op werkdagen zou 156 miljoen euro per uur kosten.

Er van uitgaande dat een uitval door extreem weer op een kleiner geografisch gebied zal plaatsvinden, maar langer dan een uur zal duren, is te verwachten dat de economische aanzienlijk zal zijn. De sociale schade is afhankelijk van locatie-specifieke factoren, maar kan bij een tijdsbestek tot volledig herstel van een aantal dagen tot een week tussen de tien- en honderdduizenden getroffen klanten tellen.

Relatief kleine storingen, door bijvoorbeeld brand in een transformatorhuisje, kunnen al tienduizenden getroffen klanten tellen.

(12) Overstromen koppelstation als gevolg van zeespiegelstijging of extreme piekafvoer rivieren (zie ook (6) Overstromen elektriciteitscentrale als gevolg van zeespiegelstijging of extreme piekafvoer rivieren)

Bij een overstroming kunnen ook koppelstations inunderen.

3.3.5 Overige risicofactoren

Uit de risico-inventarisaties tijdens de expert- en stakeholdersessies kwamen ook risico's naar voren die niet direct in de tabel passen, maar die door hun unieke karakter wel interessant zijn om te vermelden.

Zeewind en zoutdepositie

Een periode van harde droge wind aan of nabij zee kan leiden tot vergrote depositie van droge, zoute aërosolen op hoogspanningsisolatoren. Bij de eerste mist of zachte regenval kan dat leiden tot doorslag over de isolatoren waardoor de hoogspanning uitvalt. Met een toenemende kans op en frequentie van perioden van langdurige hitte neemt de kans op deze condities aan zee toe. Dit kan het risico op isolatordoorslag voor de hoogspanningslocaties in Zeeland, Maasvlakte, Velsen/Beverwijk en mogelijk ook de Eemsmond verhogen.

Uitval schakelstation door droge zeewind en zoutdepositie, 2007

Op respectievelijk 18 en 19 januari 2007 viel het 150 kV hoogspanningsstation Vlissingen uit. Op 29 oktober 2002 gebeurde dat ook met het schakelstation Borssele. De uitval had negatieve effecten voor de chemische complexen van Dow Chemical, Total en Air Liquide in Terneuzen en Vlissingen met grote affakkelvlammen als zichtbaar gevolg.



Bron: <http://www.ad.nl/ad/nl/1012/Nederland/article/detail/3520702/2013/10/03/Kerncentrale-Borssele-ligt-stil-door-kapotte-koelers.html>.

Temperatuurstijging & organismen

Door de stijging van de gemiddelde zeewatertemperatuur in combinatie met specifieke lokale condities kan de kans groter worden dat organismen, zoals kwallen en zeewier de productie van energiecentrales doen verminderen. Doordat centrales afhankelijk zijn van grote hoeveelheden koelwater is het productieproces gevoelig voor ongeregelheden met de inlaat hiervan. Er zijn voorbeelden in de Verenigde Staten, Japan en Schotland waar een overmaat aan kwallen of zeewier een negatief effect hadden op het productieproces. Ook in Nederland zou dit voor kunnen komen bijvoorbeeld bij de Eemshaven of Borsele.

Afschakelen kerncentrale door overspoeling van kwallen, 2011

30 juni 2011, Torness - "Grote hoeveelheden kwallen hebben een kerncentrale gedwongen om het productie proces voor twee dagen te stoppen. De kwallen zwommen in de zeewaterfilters waardoor het personeel uit voorzorg handmatig beide reactoren op de Torness centrale heeft afgeschakeld. Het bedrijf EDF Energy gaf aan dat zij nog niet weten wanneer de kerncentrale weer heropend kan worden, maar de voorzorgsmaatregel om de reactor af te schakelen is volgens procedure uitgevoerd.



Bron: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2009771/Jellyfish-force-shutdown-nuclear-power-station-swimming-filters.html>.

Governance

De klimateffecten die ingrijpen op het dagelijks opereren van de infrastructuur (fysieke schade, verminderd gebruik, vertragingen et cetera) zijn veelal het aangrijpingspunt voor maatregelen. Stakeholders en experts constateren echter dat er een aantal cruciale risicofactoren is die te maken hebben met de governance van de infrastructuur. De partijen die verantwoordelijk zijn voor de infrastructuur en het gebruik ervan (overheid, privaat, beheerder, eigenaar, et cetera) hebben moeite om met onzekerheid om te gaan. Dit werd ook door de Raad voor Verkeer en Waterstaat al geduid in haar rapport "Witte Zwanen, Zwarte Zwanen" met een oproep voor adaptief beleid. Doordat klimaatverandering een langzame trend is die relatief onverwachte weersextremen in de hand kan spelen, moet er continue geschakeld worden tussen de dreigingen op de korte termijn (de komende jaren) en de verwachting hoe deze dreigingen zich manifesteren op de lange termijn (bijvoorbeeld over 50 jaar). In diverse gesprekken en bijeenkomsten zijn verschillende governance barrières genoemd die het omgaan met dit soort risico's moeilijk maakt:

1 Urgentie

De ene partij voelt meer urgentie dan de ander, dit kan bijvoorbeeld omdat recentelijk door extreemweer de infrastructuur of het gebruik daarvan in het geding is gekomen. Daarnaast zijn er ook partijen die met een minder mate van directe urgentie toch willen nadenken over de klimaatrisico's van de toekomst, omdat zij overtuigd zijn van de meerwaarde om hier in een relatief vroeg stadium op te acteren. Daarnaast zijn er ook partijen voor wie de effecten van klimaatverandering van weinig invloed zijn op hun acteren; zij verwachten op de korte termijn geen last ervan en achten het nog niet nodig om over de lange termijn na te denken.

2 Informatie

Een partij wil zijn afwegingen en beslissingen graag baseren op zo duidelijk en volledig mogelijke informatie. Hier begint de uitdaging. Immers, hoewel er voor een aantal effecten van mogelijke weersomstandigheden nu al informatie

beschikbaar is, is er voor veel andere effecten geen informatie beschikbaar, of is deze arbitrair doordat berekeningen geen rekening houden met specifieke lokale omstandigheden.

3 Cross-sectorale verbanden

Doordat partijen vaak afhankelijk zijn van anderen, soms meer dan ze beseffen, is het eigenlijk niet voldoende om als individuele partij bezig te zijn met klimaatverandering en de mogelijke effecten daarvan. Partijen zijn vaak afhankelijk van de toevoer van energie, het gebruik van wegen om bij hun eigen infrastructuur te komen, en van de digitale aansturing en de communicatie die ICT mogelijk maakt. Wanneer een extreme weersomstandigheid meer (sub)sectoren tegelijkertijd onbruikbaar maakt spreekt men van een 'common cause failure' (Laprie, 2007). Daarnaast kan het ook voorkomen dat een extreme weersomstandigheid die bij de ene sector voor uitval zorgt, door de verbondenheid met andere netwerken ook daar effecten teweegbrengt. In een dergelijk geval wordt er van cascade- of domino-effecten gesproken. Door samen te werken zouden partijen zich beter kunnen voorbereiden op deze effecten van klimaatveranderingen. Verschillende partijen hebben echter een eigen invalshoek om naar het probleem te kijken, gebruiken hun eigen jargon en hebben vooralsnog weinig kennis van de problemen van andere partijen en willen niet altijd hun informatie delen met de buitenwereld. Een verkenning van cross-sectorale verbanden vanuit energie met andere sectoren wordt in bijlage D gegeven.

4 Tijdhorizonten

De tijdspannes waarop een actor zijn dagelijkse activiteiten baseert kunnen erg uiteenlopen. Een actor die verantwoordelijk is voor de ICT-infrastructuur heeft bijvoorbeeld in veel gevallen een tijdshorizon van maximaal vijf jaar, terwijl een actor die verantwoordelijk is voor energie-infrastructuur wel vijftig jaar vooruit kijkt. De weg infrastructuur beheerder probeert voldoende rekening te houden met de verre toekomst, maar is na aanleg van de infrastructuur weinig flexibel meer. De ICT-aanbieder zal zich niet zo druk maken om de verre toekomst, maar door zijn relatief korte tijdshorizon kan hij zich redelijk gemakkelijk aanpassen aan veranderende omstandigheden. Door investeringsagenda's op elkaar af te stemmen kan er gezocht worden naar momenten waarop verschillende belangen tegelijkertijd worden gediend. Door gebruik te maken van dit soort meekoppelmomenten kan er efficiënt gehandeld worden en tegelijk rekening gehouden worden met mogelijke effecten van klimaatverandering.

5 Onzekerheid

Onzekerheid over wat er kan gebeuren beïnvloedt op allerlei manieren het gedrag van mensen, bijvoorbeeld door een verzekering te nemen voor eventuele schade aan hun woning door brand. Wanneer bij beleidsbeslissingen rekening gehouden wordt met de relatief verre toekomst moet er omgegaan worden met de factor onzekerheid. Het is echter zeer menselijk om keuzes op basis van zoveel mogelijk gepercipieerde zekerheid te willen nemen. Informatie over trends en ontwikkelingen uit het verleden kunnen voor een deel het verlangen naar zekerheid stillen, maar in feite moet er altijd op basis van onzekerheid beslissingen gemaakt worden. Voor complexe vraagstukken met een lange tijd horizon, zoals klimaatadaptatie, is deze onzekerheid des te voelbaarder. Het accepteren en leren omgaan met onzekerheid is daarom een belangrijke stap. Door monitoring, het borgen van flexibiliteit en het maken van

robuuste beslissingen kan het proces beter ingericht worden op een onzekere context.

6 Implementatie

Lokale partijen, zoals lagere overheden, het bedrijfsleven, infrastructuurbeheerders en bewoners hebben elkaar nodig om tot toepasbare, breed gedragen oplossingen te komen. Om de belangen van deze partijen mee te nemen en om de kans op een succesvol proces zo groot mogelijk te maken moet er gebruik worden gemaakt van collaboratieve besluitvormingsprocessen. Methoden die hierbij kunnen ondersteunen zijn Joint Fact Finding, Group Model Building, Mutual Gains Approach, et cetera. Bij deze processen ligt het zwaartepunt van de interactie aan de voorkant, waardoor er in een vroeg stadium duidelijk wordt wie betrokken is bij het proces, welke belangen zij hebben en hoe deze belangen in een gezamenlijk besluit vorm kunnen krijgen. Dit komt doorgaans de kwaliteit van de oplossing ten goede en kan voorkomen dat er een veelheid aan bezwaren wordt ingediend na het bekend maken van de voorgenomen plannen. Gezien de lange termijn en onzekerheid van klimaatverandering zal een voortdurende interactie en monitoring nodig zijn om te toetsen of de afspraken nog steeds voldoen aan alle randvoorwaarden of dat men vindt dat de genomen koers aangepast moet worden.

3.4 Kansen als gevolg van klimaatverandering

De klimaatverandering biedt ook kansen. Door de experts en stakeholders zijn een aantal kansen benoemd. Deze hebben we geclusterd naar kansen door vermeden kosten, meekoppelen en innovatie.

3.4.1 *Kansen door vermeden kosten*

- De opwarming van de aarde zorgt voor gemiddeld minder strenge winters. Hierdoor zal er een lagere energie vraag voor verwarming zijn in de winterperiode. Hier staat echter tegenover dat door de toename van het gebruik van airconditioning er in de gemiddeld warmere zomers een hogere energievraag is.
- De afhankelijkheid van energie voor verwarming kan in de gebouwde omgeving worden verminderd door besparing. Beter isolatie en andere manieren om een pand warm te krijgen, bijvoorbeeld een warmtepomp beïnvloeden de vraag naar energie.

3.4.2 *Meekoppelkansen*

- Als adaptatie aan klimaatverandering gepaard gaat met een benadering over de sectoren heen, kan dit leiden tot robuustere systemen, die ook voor andere calamiteiten beter toegerust zijn. Een voorbeeld: elektriciteitsopwekking door middel van zonnepanelen zal relatief meer opleveren ten tijde van extreme hitte, tijdens deze periodes zou dit kunnen compenseren voor het verminderde rendement van thermische elektriciteitscentrales of de verminderde capaciteit door een te kort aan koelwater.
- De ontwikkeling van 'smart grids' kan er voor zorgen dat energie efficiënter over het elektriciteitsnetwerk wordt verdeeld ook als er op enkele locaties problemen zijn ontstaan door extreem weer.
- De ontwikkelingen in de sectoren energie en transport en ICT zijn nauw met elkaar verbonden. De verwevenheid en afhankelijkheid tussen de sectoren

neemt toe, de energiesector zal bijvoorbeeld worden beïnvloed door de ontwikkeling van elektrische semi-zelfsturende auto's. Efficiënt met elkaar optrekken maakt het mogelijk om slimme investeringen te doen.

- Er zijn kansen voor Nederlandse ingenieurs door de export van expertise. Op het gebied van water lopen we al voorop in kennisontwikkeling rondom klimaatadaptatie. Door dit als Nederland ook te doen op het thema energie, bijvoorbeeld in de ontwikkeling van windmolens en andere duurzame energieproductie kan Nederlandse kennis worden geëxporteerd naar het buitenland.

3.4.3 *Kansen voor innovatie*

- Duurzame opwekking door zonne- of windenergie kan verder ontwikkeld worden. Daarnaast zijn er ook kansen in de ontwikkeling van energie opwekking door middel van getijden stromen in zee. Ook de ontwikkeling van methoden om energie op te slaan is erg waardevol voor het huidige en toekomstige energie systeem. Nederland zou hierdoor zijn positie in de offshore windindustrie kunnen versterken (TNO, 2013).
- Er is nog steeds veel te winnen in de doorontwikkeling van 'smart grids', hierdoor kunnen bijvoorbeeld de communicatie-eigenschappen van het netwerk worden verbeterd waardoor er meer informatie beschikbaar is over de specifieke omstandigheden van het energienetwerk. Hierdoor kunnen investeringen voor klimaatadaptatie efficiënter worden gemaakt.
- Naast technische innovaties zijn er ook innovaties mogelijk in sociaal, economisch en bestuurlijk opzicht, zoals een integrale aanpak van decentrale energieopwekking. Door een het 'polderen' opnieuw uit te vinden kan de robuustheid van het energie netwerk worden versterkt. Nederland kan zich onderscheiden door te accelereren op het gebied van integrale, participatieve besluitvorming over klimaatadaptatie.

4 Risico's en kansen op basis van toekomstige ontwikkelingen

4.1 Toekomstige ontwikkelingen in de sector

De energiesector in Nederland staat aan de vooravond van grote veranderingen, waarvan sommige nu al zichtbaar worden. Deze veranderingen worden onder andere ingegeven door het dreigende tekort aan fossiele brandstoffen en de mogelijkheden die de snelle ontwikkelingen van ICT bieden. De volgende ontwikkelingen zijn het meest relevant bevonden door de experts:

4.1.1 *Explosieve toename in vraag naar elektriciteit*

In 2008 was de capaciteit in Nederland 24000MW, de geschatte benodigde capaciteit in 2020 is 38000MW (ECN, 2009). Door de snelle ontwikkelingen in sectoren zoals ICT en transport neemt het gebruik van energievragende producten en diensten steeds meer toe. De elektrische fiets en auto winnen aan populariteit en het aantal elektronische apparaten dat een huishouden gebruikt neemt toe. Hoewel veel elektrische apparaten steeds zuiniger worden, leidt de groei in gebruik tot een forse toename in de totale energievraag. Daarnaast betekent dit dat bij het uitvallen van de elektriciteit er steeds meer functies niet meer kunnen opereren.

4.1.2 *Ontwikkeling smart grid*

De ontwikkeling van smart grids in Nederland heeft voornamelijk tot gevolg dat elektriciteit efficiënter over het distributie- en transmissienetwerk kan worden verdeeld. De toename in vraag naar elektriciteit zorgt dat er slimmer omgegaan met moet worden met de verschillen in vraag en aanbod. Een smart grid heeft als voornaamste functie de vraag en aanbod te reguleren en balans te houden om op die manier enerzijds overbelasting van het net te voorkomen en anderzijds tekorten te voorkomen.

4.1.3 *Decentrale opwekking*

De toename van decentrale opwekking zal langzaam het bestaande energielandschap doen veranderen. Onder decentrale opwekking wordt het verspreid opwekken van warmte en elektriciteit verstaan. Dit gebeurt niet meer alleen in de grote energiecentrales, maar ook op een kleine schaal over het hele land verspreid. Op de korte termijn is decentrale opwekking verantwoordelijk voor een relatief klein deel van de energie opwekking en zal dit geen directe gevolgen hebben voor de bestaande elektriciteitsnetten. Per 1 januari 2014 wordt een belastingkorting van 7,5 ct/kWh ingevoerd voor hernieuwbare energie die in coöperatief verband of door een vereniging van eigenaren wordt opgewekt (Nationaal Energieakkoord, 2013). Wanneer het aandeel decentrale opgewekte energie toeneemt zal in de loop der tijd het energiesysteem beter moeten worden afgestemd op deze ontwikkeling.

4.1.4 *Duurzame energie*

Het aandeel fossiele energie in de brandstofmix van Nederland wordt naar verwachting kleiner. Vormen van energie opwekking waarvan wordt geacht dat de mensheid er voor onbeperkte tijd over kan beschikken, zoals wind en zonne-energie nemen in aandeel toe. In Nederland zal fors geïnvesteerd worden in onder andere wind- en zonne-energie, zodat in 2023 16% van de totale energieopwekking

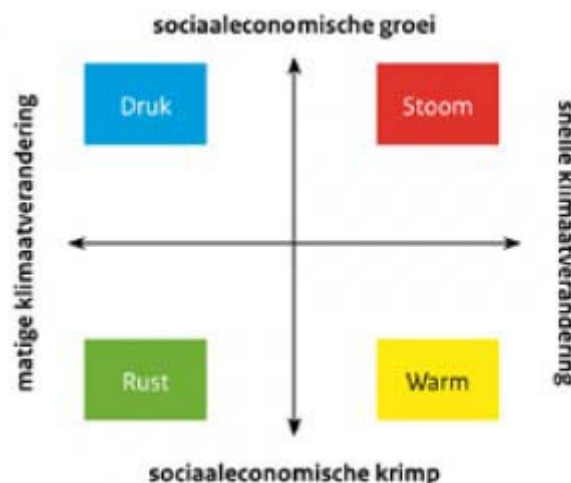
uit hernieuwbare bronnen komt (Nationaal Energieakkoord, 2013). Dit zijn intermitterende bronnen, die we anders dan centrales op fossiele energie, niet aan kunnen zetten als de vraag toeneemt. Het energiesysteem zal daarom moeten veranderen (Verzijlbergh et al. 2014). Deze transitie zal relatief langzaam gaan, in 2013 was het aandeel energie uit hernieuwbare bronnen slechts 5% van de totale Nederlandse energiemix. Doordat het huidige systeem bijna geheel is ingesteld op fossiele bronnen zal er bij elke investering in energie-infrastructuur de afweging worden gemaakt of er wordt geïnvesteerd in optimalisatie van het huidige systeem of het inslaan van een nieuwe route waarbij waarschijnlijk in eerste instantie een lager rendement gehaald zal worden (TNO, 2013).

4.1.5 *Internationale connectiviteit*

De verbondenheid met andere landen neemt toe. Verschillende landen maken gebruik van elkaars elektriciteitsnetwerken om de belasting op het net en daarmee de energievoorziening zo efficiënt en robuust mogelijk te laten zijn. Door de ontwikkeling van de gasrotonde verbetert Nederland zijn positie als doorvoerland van gas (Energierapport, 2011). In het kader van de Nationale Adaptatie Strategie wordt er door het Planbureau voor de Leefomgeving een studie uitgevoerd die zich volledig richt op de internationale effecten van klimaatverandering en Nederland.

4.2 Risico's en kansen in de Deltascenario's

De geïdentificeerde kansen en risico's kunnen in de toekomst veranderen. De veranderingen als gevolg van klimaatverandering staan in een eerder hoofdstuk beschreven en de consequenties van veranderingen in de sector zelf zijn ook al belicht. Maatschappelijke en economische veranderingen kunnen ook van invloed zijn op de risico's en kansen. De veranderingen van het klimaat en de sociaaleconomische en ruimtelijke ontwikkelingen van Nederland zijn echter niet te voorspellen. Door te werken met scenariomethodiek zijn in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu Deltascenario's opgesteld voor het jaar 2050 en 2100. Deze Deltascenario's worden geconstrueerd door twee assen loodrecht op elkaar. Eén as beschrijft de mate van klimaatverandering, van matig tot snel; de andere as gaat van sociaaleconomische krimp naar sociaaleconomische groei. De afbeelding van deze assen geeft vier scenario's.



Figuur 10 De deltasenario's in twee assen: klimaatverandering en economische ontwikkeling.

Deze toekomstbeelden geven niet alleen een indicatie van de mogelijke veranderingen in de fysische en sociaaleconomische omgevingsfactoren, maar ze laten ook zien hoe dit tot verschuivingen in het gebruik van ruimte, land en water kan leiden. De scenario's zijn opgesteld vanuit het perspectief van waterveiligheid en waterbeheer; in deze rapportage zijn ze gebruikt om de invloed op de energiesector te duiden.

De deltasenario's beschrijven specifiek de waterbehoefte door de energiesector, gebaseerd op de snelheid van de energietransitie, het gebruik van fossiele brandstof en energie-efficiency.

In DRUK vindt een snelle energietransitie plaats door sterk stijgende energieprijzen. Ook vernieuwbare grondstoffen komen in zwang. De EU en Nederland komen goed mee. Economische groei en toename van het elektriciteitsaandeel in verkeer en huishoudens leidt tot een toename van de behoefte aan koelwater. In STOOM draait de samenleving nog heel lang op fossiele brandstoffen. Schaliegas en ook de winning van olie en gas uit het smeltende Noordpoolgebied wordt gemakkelijker, waardoor de duurzame energietransitie achterwege blijft. Dat leidt tot een forse toename van koelwater gebruik van meer dan een verdriedubbeling in 2100. De onttrekking van zoet water en de warmtelozing op de binnenwateren zal nauwelijks toenemen. In WARM blijft de energietransitie eveneens achterwege door voldoende aanbod van fossiele brandstoffen. Door de lager economische groei in die scenario verandert de koelwatervraag nauwelijks. Tenslotte doet de lage economische groei en snelle transitie naar duurzame energie de koelwatervraag in RUST afnemen.
Citaat uit: Deltares/PBL (2013) Deltascenario's 2050 en 2100.

STOOM zal in het algemeen het scenario zijn met de grootste risico's omdat de klimaatverandering én de sociaaleconomische groei het grootst is. Ook voor de energiesector is het scenario met de grootste risico's het STOOM scenario. In dit scenario zal de vraag naar energie toenemen door hoge economische groei, maar ook door de gestegen vraag naar koeling door de hoge temperatuur. Het gasnetwerk zal nog goed benut worden door het blijvend gebruik van fossiele brandstoffen. De weersextremen zijn in dit scenario het meest heftig en leiden ook tot de meeste directe en indirecte effecten door de hoge economische groei die tot intensivering van het ruimtegebruik en tot een hogere productiefactor leidt. De vaker optredende droogteperiodes zorgen ervoor dat de bestaande elektriciteitscentrales vaker met een gebrek aan koelwater te maken krijgen. De elektrificatie van de energiesector als autonome ontwikkeling van de sector maakt de impact in dit scenario nog groter.

Het scenario met de grootste kansen voor de energiesector is ook het STOOM scenario. Die kansen hebben betrekking op ondernemerschap en innovatie, op een gunstig vestigingsklimaat en op kostenbesparing.

Juist door de hoge economische groei ontstaat er veel ruimte voor innovatie en ondernemerschap. En de snelheid van de klimaatverandering maakt ook dat bewustwording groter is, en ondernemers sneller kansen zien voor het ontwikkelen van nieuwe producten en diensten. Het oprichten van TankNotStrom¹⁵ in Berlijn is

¹⁵ <http://www.tanknotstrom.de/tanknotstrom>.

bijvoorbeeld een initiatief die tot een positieve business case kan leiden als noodgeneratoren vaker moeten draaien als gevolg van weersomstandigheden, en er dus meer behoefte gaat ontstaan aan afstemming.

Het Nederlandse energiesysteem wordt door de experts beschouwd als behoorlijk stabiel en betrouwbaar. Wanneer we deze reputatie kunnen vasthouden ten opzichte van andere (Europese) landen, houden wij dit voordeel en zal dit een aantrekkelijke vestigingsplaatsfactor worden voor nieuwe bedrijven en organisaties. Dit geldt vooral voor die bedrijven die sterk afhankelijk zijn van energie, zoals datacenters, internet exchange hubs, hightech productielocaties.

De gemiddeld hogere temperaturen in de winter zorgen ervoor dat de verwarming minder vaak aan hoeft en de behoefte aan gas lager wordt. De huidige bouwpraktijk in Nederland gaat nog uit van een behoorlijke isolatie ten aanzien van winterse temperaturen en de keuze voor een energiesysteem met gas of warmte in woonwijken is daar veelal op afgestemd. Een beperking van de vraag naar isolatie, dan wel lagere gasvraag leidt tot een hogere duurzaamheid en lagere energielasten.

4.3 'Wild cards': nauwelijks denkbaar, grote gevolgen

Door de stakeholders en experts zijn geen risico's benoemd die tot de categorie 'wild cards' behoren. In de bestudeerde documenten zijn dergelijke risico's ook niet opgenomen. In het filmpje Superstorm van Kennis voor Klimaat TV wordt een beeld geschetst wat er zou kunnen gebeuren als er een superstorm over Nederland zou komen. Door Dykstra wordt zeer beeldend een scenario beschreven als er een superstorm over Nederland zou trekken¹⁶. Hierin ontstaat de noodtoestand in Nederland als het oog van de storm over Rotterdam trekt. Rotterdam en Den Haag moeten verplicht evacueren en er ontstaat chaos op de weg. De stroom valt uit, communicatie valt weg, drinkwater komt niet meer uit de kraan. Na drie dagen worden distributiecentra ingericht, maar hulpgoederen kunnen pas vervoerd worden onder begeleiding van het leger.

Deze zogenaamde 'common mode failure'¹⁷ leidt tot het gelijktijdig wegvallen van verschillende systemen. Het blijkt dat veel rampenplannen van overheden of 'contingency' plannen van bedrijven ervan uitgaan dat de systemen van anderen wel blijven functioneren, of daar niet over nagedacht hebben. Een voorbeeld is het uitvallen van elektriciteit die leidt tot het uitvallen van de pompen van de drinkwaterleidingen. Op het moment dat in computers opgezocht moet worden wat de onderhoudsstatus is van deze pompen is deze informatie niet beschikbaar. Op het moment dat mensen niet meer naar hun werk kunnen komen als gevolg van wateroverlast, en ze thuis willen gaan werken, terwijl ook de servers het niet meer doen (of preventief zijn uitgeschakeld), werkt deze terugvaloptie niet meer.

Daarnaast heb je ook de 'cascade-effecten', dat we hier definiëren als gevolg-effecten die optreden doordat een onderdeel van een systeem niet meer functioneert. Uit empirisch onderzoek van Luijff¹⁸ blijkt dat van de ruim 1700 vitale infrastructuurverstoringen 24% een eerste orde cascade-effect was, 4% is het

¹⁶ Dykstra, E.H. (2006) Katrina in Nederland, storm over Europa, Uitgeverij Banda, Kollum.

¹⁷ Definitie: Failure of two or more structures, systems or components in the same manner or mode due to a single event or cause. (IAEA, geraadpleegd 12 juni 2014).

¹⁸ Luijff, E. et al (2009) Empirical findings on Critical Infrastructure Dependencies in Europe, in R. Setola and S. Geretshuber (Eds) CRITIS 2008.

resultaat van een tweede orde cascade, en slechts vier gebeurtenissen waren een derde orde cascade effect. Vierde orde cascade-effecten zijn in Europa en internationaal niet gevonden. Een groot deel van de gebeurtenissen zijn dus onafhankelijk en staan op zich zelf. De afhankelijkheden die er zijn, zijn asymmetrisch: Uitval in energie netwerken is in bijna 10% van de gevallen veroorzaker van cascade-effecten, voor telecom is dit in 5% van de gevallen. Uitval in de sector transport is juist in 10% van de gevallen een resultante van een cascade effect.

Tabel 4 Initiërende en resulterende cascade-effecten op basis van empirische data¹⁹.

Sectoren van vitale infrastructuren	Cascade initiërend	Resultante cascade	Onafhankelijk	Totaal
Onderwijs	0	3	1	4
Energie	146	76	388	609
Financiële dienstverlening	1	26	44	60
Voedselvoorziening	0	4	3	8
Overheid	2	40	26	68
Gezondheidszorg	1	16	22	39
Industrie	5	15	7	27
Internet	15	51	95	161
Post	1	0	0	1
Telecom	69	125	114	308
Transport	19	128	276	423
Drinkwater	9	18	51	78
Total	268	501	1017	1786

Cascade-effecten worden niet altijd expliciet genoemd in evaluaties door overheden over hun acties in het kader van rampenbestrijding na een calamiteit²⁰. Meestal worden ze vanuit het perspectief van een infrastructuur beschreven²¹, dan wel vanuit een enkele bedreiging. Literatuuranalyses door Chappin & Lei (2012) laat zien dat onderzoek naar klimaateffecten tot dan toe voornamelijk heeft gefocust op de gevolgen van veranderende (extreme) weersomstandigheden op technische elementen van infrastructuur. Er is nog vrijwel geen onderzoek gevonden dat ingaat op de (lange termijn) effecten op systeemniveau.

Ook is er nog weinig aandacht voor het tegelijk falen (common cause failure) van meer vitale infrastructuren door extreem weer, een aspect dat vaak vergeten wordt bij het opstellen van calamiteitenplannen.

Een voorbeeld in dat verband betreft de toename van elektrisch vervoer, een van de ontwikkelingen in het transportsysteem. Elektrische auto's gaan aan het elektriciteitsnetwerk leveren, maar er ook aan onttrekken. Een prijsdaling van accu's zal deze ontwikkeling aanjagen. Hier zit dus een duidelijke interactie tussen energie en transport, maar weten we nog niet goed hoe dit uitpakt.

¹⁹ Luijff, E et al (2009) Empirical Findings on Critical Infrastructure Dependencies in Europe, Critical Information Infrastructure Security, Lecture Notes in Computer Science, Volume 5508, 2009, pp 302-310.

²⁰ Idem.

²¹ Final report.

4.4 Risico's en kansen in de toekomst

Wanneer we de toekomstige ontwikkeling van de sector, de ontwikkeling zoals die beschreven is in de Deltascenario's, en 'wild cards' beschouwen leidt dit tot het volgende beeld:

- De transitie naar een meer elektriciteitsafhankelijke maatschappij maakt dat veel sectoren afhankelijk zijn van de energievoorziening. Uitval van het elektriciteitsnetwerk heeft dan meteen veel grotere gevolgen.
- Decentrale opwekking kan de robuustheid van het energiesysteem vergroten. Het is dan wel vereist dat het elektriciteitsnetwerk de vraag en aanbod 'bewegingen' kan bijhouden.
- Meer duurzame energie opwekkers betekent dat er meer op andere manieren energie opgewekt gaat worden dan vanuit de thermische centrales. Deze opwekkers hebben weer hun eigen kwetsbaarheden. Windmolens kunnen stopgezet moeten worden vanwege hevige wind en zonnepanelen kunnen schade oplopen door harde regen of rondvliegende objecten tijdens een storm.
- De impact van de besproken risicofactoren wordt groter als er meer economische groei is, omdat er dan meer schade voor economische bedrijvigheid is en omdat bij een hogere economische groei de vraag naar energie groter is. In het STOOM scenario zijn de groeikansen voor iedere sector het grootst.

5 Perspectieven voor beleid, praktijk en wetenschap

De kennis en informatie uit voorgaande hoofdstukken, die is gebaseerd op wetenschappelijke literatuur, beleidsdocumenten, experts en stakeholders, leidt tot een aantal handelingsperspectieven. Deze lijst met perspectieven is niet uitputtend, maar geeft beknopt de kern weer van de lessen uit dit onderzoek die meegenomen moeten worden naar de Nationale Adaptatie Strategie.

5.1 Perspectieven om te komen tot een NAS

- Bij het opstellen van de NAS is het van belang dat voldoende rekenschap gegeven wordt aan complexiteit als gevolg van verschillend gevoelde urgentie, onvolledige of verschillende informatie, cross-sectorale verbanden en verschillende tijdshorizonten.
- Accepteer dat risico's en kansen van voorkomen verschillend worden beleefd en gewaardeerd en dat er inherent aan klimaatverandering onzekerheden blijven bestaan. Besteed bij de vormgeving van de adaptatiestrategie aandacht aan de acceptatie van en omgang met onzekerheid in combinatie met de perceptie.
- Neem bij beslissingen zo vroeg mogelijk de gevolgen van klimaatverandering mee en laat dit meewegen in de besluitvorming. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld 'no' of 'low regret' maatregelen worden genomen. Dit zijn maatregelen die ongeacht de gevolgen van klimaatverandering genomen zouden worden, maar gelijktijdig wel klimaatadaptatie ondersteunen. Het hoeft echter niet altijd te betekenen dat er gekozen wordt voor een preventieve strategie. Het accepteren van de schade en herstelkosten kan ook verkozen worden als de beste oplossing.
- Betrek de lokale overheden en trek samen met hen op bij het opstellen van lokale adaptatie strategieën. De lokale verschillen in ontwerp en architectuur en organisatie (van bijvoorbeeld veiligheidsregio's) maken een lokale aanpak nodig.
- Creëer bewustzijn bij de samenleving over nut en noodzaak van klimaatadaptatie. Kijk daarbij ook naar onderwijs en leerprogramma's. De lange termijn waarop klimaatverandering speelt, maakt bewustwording bij kinderen des te effectiever.

5.2 Praktijk van de sector

- Zowel publieke als private partijen spelen een belangrijke rol in het energie systeem. Bij de ontwikkeling van de klimaatadaptatiestrategie moet rekening gehouden worden met de belangen van beide typen bedrijven. Koppel bijvoorbeeld de korte termijn planning van private partijen aan de lange termijn plannen van de publieke sector.
- Deel informatie en kennis met andere stakeholders. Ga voor je eigen 'calamiteitenplannen' na of je daarin voldoende rekening houdt met de risicofactoren als gevolg van klimaatverandering. Identificeer in welke mate je afhankelijk bent van andere (vitale) infrastructuurdiensten en waar de eigen diensten voor hen een cruciale rol vervult. Zorg voor inzicht in de risicofactoren van andere infrastructuurdienstenoperators. Leg de verschillende risicomatrixen

naast elkaar, zodat je van elkaar weet waar, wanneer en voor wie een kritische grens in beeld komt.

- Betrek bij het opstellen van een nieuw langjarig onderhoudscontract ook klimaatdeskundigen, civiel ingenieurs, bouwers en onderhoudsexperts, omdat deze disciplines nodig zijn om onbekende parameters in de klimaateffecten beter te kunnen duiden, en beter zicht te krijgen op de kritische prestatie-indicatoren.
- Neem klimaatadaptatie op in de Milieu Effect Rapportage (MER). De lange levensduur van energie-infrastructuur vraagt om vroegtijdige aandacht voor klimaatadaptatie.
- Civiele constructies (riolen, drinkwaterleidingen, gasleidingen, bruggen, tunnels) hebben een bepaalde levensduur waarna ze vervangen moeten worden. Door deze programma's en projecten met het klimaatadaptatiebeleid te verbinden kunnen klimaatadaptatiemaatregelen voor bestaande infrastructuur uitgevoerd worden in samenhang met het onderhoudsprogramma.

5.3 Wetenschap en kennisontwikkeling

- Ontwikkel methodieken om adaptatie als 'opbrengst' mee te kunnen nemen in levenscycluskosten. Bij besluitvorming in de transportsector over een nieuwe snelweg wordt in veel gevallen al een strook ruimte gereserveerd, mocht de weg ooit nog moeten worden uitgebreid. Het is goedkoper om nu al een grotere overspanning te maken, dan later veel werkzaamheden te moeten verrichten om dit alsnog te realiseren. Deze opbrengst mee laten wegen (in de vorm van vermeden kosten later) is bij dergelijke investeringen heel gewoon. Hier zou de energiesector lering uit kunnen trekken. Het ontwikkelen van praktische methodieken kan dit proces stimuleren.
- Ontwikkel kwetsbaarheidsanalyses vanuit een systeembenadering die het multi-infrastructuur perspectief meenemen. Daarin moet aandacht zijn voor het individueel belang als onderdeel van het grotere belang, voor de onderlinge afhankelijkheid van de infrastructuren en voor de beoordeling van strategieën op systeemniveau.
- Ontwikkel een kennisbasis voor klimaatadaptatie: het monitoren, projecteren en documenteren van extreme weersomstandigheden, zodat meer kennis en 'ervaring' ontstaat over de effecten van klimaatverandering, de kritieke punten en de methoden om met onzekerheid om te kunnen gaan.
- Ontwikkel in gezamenlijkheid met klimaatdeskundigen, bouwers, onderhoudsexperts een gedragen beeld over wat een acceptabel risico is. Dit is onder andere van belang voor concessies of langjarige onderhoudscontracten.
- Tot op heden zijn er nog steeds veel inhoudelijke en specifieke kennisvragen onbeantwoord. Voor onderdelen van de energie infrastructuur is niet duidelijk hoe kwetsbaar ze precies zijn voor extreme weersomstandigheden. Er ligt hiervoor een verantwoordelijkheid bij zowel overheden als private partijen om gezamenlijk op te trekken en meer onderzoek te doen naar de specifieke situatie van de betreffende infrastructuur onderdelen.

6 Conclusies

Klimaatverandering zal tot gevolg hebben dat een aantal extreme weereffecten vaker voorkomen in Nederland. Deze extreme weereffecten hebben impact op het energiesysteem. Door hitte kunnen er risico's ontstaan omdat elektriciteitscentrales hun koelwater niet meer mogen lozen op het oppervlaktewater. Door droogte kan het voorkomen dat er door een laag rivierwaterpeil te weinig koelwater is. Extreme neerslag of overstroming als gevolg van zeespiegelstijging of een toename aan piekafvoer van rivieren kunnen cruciale punten in het energienetwerk inunderen. Ook wanneer deze situatie dreigt te gebeuren in het elektriciteitsnetwerk zal er preventief afgeschakeld worden om de schade aan de infrastructuur te beperken. Een toename in harde windstoten zal nadelige gevolgen hebben voor de elektriciteitsopwekking door windmolens, omdat zij bij te harde wind wellicht volledig moeten afschakelen. Harde windstoten kunnen in uitzonderlijke gevallen ook het bovengrondse netwerk van kabels en leidingen beschadigen, zo is het mogelijk dat er plaatselijk elektriciteitsmasten omvallen. Harde windstoten kunnen ook de ondergrondse kabels en leidingen beschadigen, doordat de wind bomen in beweging brengt en de boomwortels verstrengeld zitten met kabels en leidingen. Als gevolg van vaker onweer kan het meer voorkomen dat de bliksem inslaat in bovengrondse fysieke energie-infrastructuur elementen.

Een deel van deze risicofactoren werd ook al in de Nationale Adaptatie Strategie (NAS) uit 2007 geïdentificeerd. Gezien de relatief langzame dynamiek van zowel maatschappelijke veranderingen als klimaatverandering is dat te begrijpen. Het is echter ook duidelijk geworden dat er na zeven jaar nog steeds vrij weinig bewustwording is bij partijen over de effecten van klimaatverandering en dat er nog steeds relatief weinig maatregelen voor klimaatadaptatie worden genomen. Deze beperkte implementatie van de NAS kan verklaard worden door de veelheid en verscheidenheid van actoren die met elkaar moeten samenwerken om implementatie te realiseren. Naast de fysieke risicofactoren zijn er institutionele en governancebarrières die het proces van klimaatadaptatie zeer complex maken. Denk aan de governancecomplexiteit als gevolg van verschillend gevoelde urgentie, beschikken over onvolledige of verschillende informatie, het niet gewend zijn om kruisverbanden te leggen over de eigen en andere sectoren heen, en andere tijdshorizonten waarop partijen hun plannen en beslissingen maken.

Door de NAS te vertalen naar lagere schaalniveaus en door het stimuleren van collaboratieve besluitvorming kan de implementatie van klimaatadaptatiemaatregelen worden gestimuleerd.

Er zijn ook kansen voor Nederland als gevolg van klimaatverandering doordat:

- kosten vermeden worden (bijvoorbeeld door minder energie gebruik in de winter),
- er meegekoppeld wordt met ontwikkelingen (bijvoorbeeld decentrale duurzame energieopwekkers die op een smart grid zijn aangesloten),
- er innovaties ontstaan waarbij deze innovaties en de kennisbasis waaruit ze ontstaan vervolgens een exportproduct van Nederland vormen.

De geïdentificeerde risicofactoren en kansen kunnen veranderen door de toekomstige ontwikkeling van het energiesysteem. Het is zeer goed mogelijk dat de

vraag naar elektriciteit toe neemt door een verandering van gebruikte producten, zoals elektrische fietsen en auto's. De energie wordt steeds meer decentraal opgewekt waardoor het energie systeem er heel anders uit komt te zien. Energie zal voor een steeds groter deel uit hernieuwbare bronnen worden opgewekt. Dit heeft als gevolg dat bestaande technieken zoals wind- en zonne-energie steeds dominanter zullen worden. Daarnaast zullen er zich wellicht ook andere vormen van duurzame energie ontwikkelen, zoals opwekking door middel van getijdenstromen. Door de ontwikkeling van een smart grid kan het energiesysteem beter omgaan met pieken in vraag en aanbod, dit maakt een ander gebruik van het elektriciteitsnetwerk mogelijk. Door de internationale verbindingen van het elektriciteitsnetwerk wordt Nederland steeds meer afhankelijk van andere landen. Klimaatadaptatie moet dus steeds meer internationaal en integraal plaats gaan vinden.

Dit rapport formuleert een aantal handelingsperspectieven voor beleid, praktijk en wetenschap die klimaatadaptatie ten goede komen. Klimaatadaptatie moet bij beleidsbeslissingen zo vroeg mogelijk worden meegenomen. Hierbij moeten zowel publieke als private partijen aangehaakt zijn. Klimaatadaptatie moet expliciet worden opgenomen in de Milieu Effect Rapportage (MER). Klimaatadaptatie kan efficiënt worden gecombineerd met reguliere onderhouds- en vervangingswerkzaamheden en meerjarenonderhoudsprogramma's. In de praktijk moet klimaatadaptatie dus meer worden opgenomen in de normale procedures. Hierbij komt dat kennis en informatie gedeeld zou moeten worden tussen stakeholders en dat verschillende disciplines met elkaar moeten samenwerken om een volledig beeld te krijgen van de oplossingen voor mogelijke effecten van klimaatverandering op verschillende infrastructuren. Door wetenschappelijke methoden en instrumenten te ontwikkelen om de risico's en kansen van klimaatverandering in beeld te brengen wordt steeds meer duidelijk waar mogelijke oplossingen liggen. De kennisbasis over omgaan met onzekerheid, technische innovaties en collaboratieve besluitvorming over implementatie heeft de potentie om een nieuw exportproduct van Nederland te worden.

De belangrijkste boodschap is dat de te verwachten extreme weersomstandigheden niet veel zullen afwijken van de effecten die ook in de NAS van 2007 zijn opgenomen. Echter, door een toenemende afhankelijkheid van elektriciteit in het dagelijks leven zullen de gevolgen van het uitvallen van (een deel van) de energiesector steeds grotere negatieve gevolgen hebben. Door een toename in bewustwording bij verschillende partijen zal het besluitvormingsproces meer integraal worden opgezet. De NAS kan de grootste bijdrage aan de klimaatadaptatie van Nederland geven door een handreiking te geven om het proces van strategie naar concrete adaptie te structureren.

A Deelnemers aan de bijeenkomsten

Deelnemers expertsessie (1 april 2014)

Zofia Lukszo (TU Delft TBM)
Hans Eerens (PBL)
Marijke Vonk (PBL)
Heleen Mees (UU)
Rob van Dorland (KNMI)
Marieke Klaver (TNO)
Eric Luijff (TNO)

Deelnemers stakeholderbijeenkomst (27 mei 2014)

Herman Kasper Gilissen (Universiteit Utrecht)
Rob van Dorland (KNMI)
Charles Angenendt (Min IenM)
Hans Eerens (PBL)
Marijke Vonk (PBL)
Jan Egbertsen (Port of Amsterdam)
Stefan Jak (ProRail)
Henk van der linden (PWN)
Paul Fortuin (RWS)
Hens Runhaar (Universiteit Utrecht)
Caroline Uijtenbroek (Universiteit Utrecht)
Leendert van Bree (PBL)
Anthony Meyer zu Schlotern (Innovation Booster) (HTM)
Erik van Garderen (KPN)
Leen Pronk (Gasunie)
Gijs Coenraads (Movares)
Annemarie Zielstra (TNO)
Marieke Klaver (TNO)
Sander van Oort (TNO)
Ferdinand Timmermans (Movares)
Kees van Deelen (KennisvoorKlimaat)
Sonja Dopp (KennisvoorKlimaat)

Overige bijdragen

Judith Marinissen (Min IenM)
Onno Hazelaar (ProRail)
Mathilde Buitendijk (Min VenJ)

B Referentiedocumenten

B.1 Documenten gebruikt tijdens de desktopanalyse

Aanpassen met beleid; Bouwstenen voor een integrale visie op klimaatadaptatie, PBL, 2013
Adapting Energy, Transport and Water Infrastructure to the Long-term Impacts of Climate Change, URS, 2010
Adapting infrastructure to climate change; An EU Strategy on adaptation to climate change, EC, 2013
Adaptation to climate change for CEDR, H. Jeekel, 2012
Adapting to climate change in the infrastructure sectors, PWC, 2010
Analyse waterrobuuste inrichting; Voor nieuwbouw en vitale & kwetsbare functies, RoyalHaskoning DHV, 2012
Building Resilience in Supply Chains; An Initiative of the Risk Response Network, WEF & Accenture
Climate Change adaptation Strategy and Framework, highways agency, 2009
Climate change & extreme weather vulnerability assessment framework, US department of transportation/Federal Highway Administration, 2012
Climate change and infrastructure, urban systems and vulnerabilities, U.S. department of energy, 2012
Climate Change in the U.S.; The Prohibitive Costs of Inaction; UCS, 2009
Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Changing Climate, HM Government, United Kingdom, 2011
Klimaat en binnenvaart; Een strategische verkenning naar de effecten van klimaatverandering op het gebruik van het Hoofdvaarwegennet, Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart, 2011
Klimaatbestendigheid van de nationale netwerken, PBL, 2009
Resilience of UK infrastructure, House of parliament, 2010
Risk management for roads in a Changing climate; RIMAROCC method, SGI et al., 2010
Risk-Based Adaptation Frameworks for Climate Change Planning in the Transportation Sector, TRC, 2013
The impact of flooding on critical infrastructures, C.A.G. Jolly, 2013
The UK Climate Change Risk Assessment 2012, HR Wallingford, 2012
Urban Regions: Vulnerabilities, Vulnerability Assessments by Indicators and Adaptation Options for Climate Change Impacts, ETAC/ACC, 2010
WEATHER FP7; Weather Extremes: Assessment of Impacts on Transport Systems and Hazards for European Regions, ISIS et al. 2011
Witte zwanen, zwarte zwanen, advies voor pro-actieve klimaatadaptatie, Advies van Raad voor Verkeer en Waterstaat, 2009

B.2 Overige referentiedocumenten

CROW (2013) Een boom hoeft geen obstakel te zijn; combineren van onder- en bovengrondse infrastructures en bomen
Droogtestudie Nederlands fase 1 (2003) Beoordelingskader, afwegingskader en effectenbepaling
ECN (2009) Brandstofmix elektriciteit 2020 Inventarisatie, mogelijke problemen en oplossingsrichtingen
Energierapport (2011) Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van landbouw en innovatie

Federaal Plan Bureau (2014) Belgische Blackouts Berekend; Een kwantitatieve evaluatie van stroompannes in België
Groenland, R., Groen, G., Hemink, J., Kuiper J. and Wever, N. (2010) Het noodweer van 14 juli 2010 in Vethuizen en Neerkant e.o., meteorologisch onderzoek en achtergronden, KNMI
KEMA (2010) Rapport storingsonderzoek 150kv-lijn Doetinchem-Ulft/Dale 14 juli 2010
Laprie, J. Kanoun, K. Kaanice, M. (2007) Modelling Interdependencies between the Electricity and Information Infrastructures, Université de Toulouse, France
Lautof (2008) Infonu: Wetenschap: Windmolens, nu en in de toekomst, te vinden op < http://wetenschap.infonu.nl >
Ministerie van Economische zaken (2012) Infographic: Hoe verhoudt energie zich tot economie?, Min. EZ
Pruiksma (2012) Impact omvallende hoogspanningsmasten 380 kV op nabijgelegen bestaande Gasleidingen, Deltares
Rijksoverheid (2004) Kamerbrief 4039009: Structurele maatregelen elektriciteitsproductie in tijden van hitte/droogte
C. Bijvoet, M. de Nooij, C. Koopmans (2003) "Gansch het raderwerk staat stil". De kosten van stroomuitval. SEO-rapport nr. 685, Amsterdam (in opdracht van TenneT)
SEO (2007) Evaluatie van ondergrondse infrastructuur; Maatschappelijke kosten-batenanalyse van het ondergronds bundelen van kabels en leidingen, in opdracht van COB
TNO (2013) Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland
Vermeulen, C. Leenders, J. Groot, E. de (2010) Gevolgen overstromingen dijkringen 14, 15 en 44 te beperken?, HKV lijn in water
RWS (2010) Coördinatieplan dijkkring 14
Wetemans, T. (2013) Plazilla: grote stroomstoring grootste bedreiging ter wereld, te vinden op < http://plazilla.com >
Verzijlbergh et. al. (2014) A Note on System Integration to Support a Renewable Energy System
NAVI (2010) Rapportage weerbaarheid van de sector Gas tegen ernstige elektriciteit- en telecommunicatie-uitval in opdracht van de ministeries van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties/DG Veiligheid en Economische Zaken/DG Energie en Telecom

C Risicotabel energiesector

	Risico	Klimaatteffect	Impact						Waarschijnlijkheid				Kennisbasis
			Economisch	Ecologisch	Sociaal	Ernst	Omvang	Indirecte schade / cascade effecten	Huidige situatie		2050 -meest risicovol scenario		
			Hoog Midden Laag	Hoog Midden Laag	Hoog Midden Laag	kwalitatieve beschrijving gevolgen	kwantitatief. Orde grootte gevolgen: aantal getroffen, duur van overlast / uitval, areaal etc..	hoe werken gevolgen door binnen en buiten de sector; naar welke sectoren / domeinen?	Hoog Midden Laag Zeer laag	mogelijke frequentie (../jaar, 1/.. jaar)	Hoog Midden Laag Zeer laag	mogelijke frequentie (../jaar, 1/.. jaar)	Hoog Matig Laag
eco impact, sociaal impact, waarschijnlijkheid 2050	korte aanduiding risico	klimaatvariabele/weersextreem											
midden,midden,laag	Blikseminslag in elektriciteitscentrale	Extreme regenval en onweer	Midden	Laag	Midden	Blikseminslag zorgt voor uitval elektriciteits centrale	Dagen/week	Elke sector in het getroffen gebied die afhankelijk is van electriciteit ondervindt hinder	Laag	Volgens de KNMI '14 scenarios wordt onweer heviger	Laag		Laag
midden, midden, midden	Overstroming elektriciteitscentrale	Extreme regenval en onweer	Midden	Laag	Midden	Overstroming zorgt voor afschakelen elektriciteits centrale	dagen/weken	Elke sector in het getroffen gebied die afhankelijk is van electriciteit ondervindt hinder	Laag	Volgens de KNMI '14 scenarios neemt de kans op zowel extreme neerslag in de winter als de intentsiteit van extreme zomerbuien toe	Midden		Laag
laag, laag, laag	Bliksem inslag in bovengrondsnetwerk voor elektriciteit	Extreme regenval en onweer	Laag	Laag	Laag	Blikseminslag zorgt dat een deel van het netwerk onbruikbaar is	dagen	Door redundantie in het netwerk zijn er alternatieve routes mogelijk en blijven de gevolgen beperkt	Laag	Volgens de KNMI '14 scenarios wordt onweer heviger	Laag		Laag
midden, midden, midden	Overstroming van koppelschakel- en transformatorstation	Extreme regenval en onweer	Midden	Laag	Midden	Overstroming zorgt dat knooppunten in het netwerk onbruikbaar zijn	dagen/week	Locatiespecifiek, indien er alternatieve 'routes' in het netwerk beschikbaar zijn vallen de gevolgen mee	Laag	Volgens de KNMI '14 scenarios neemt de kans op zowel extreme neerslag in de winter als de intentsiteit van extreme zomerbuien toe	Midden		Laag
laag, midden, laag	Blikseminslag in koppelschakel- en transformatorstation	Extreme regenval en onweer	Laag	Laag	Midden	Blikseminslag zorgt dat knooppunten in het netwerk onbruikbaar zijn	dagen/week	Locatiespecifiek, indien er alternatieve 'routes' in het netwerk beschikbaar zijn vallen de gevolgen mee	Laag	Volgens de KNMI '14 scenarios wordt onweer heviger	Laag		Laag
laag, laag, Midden	Beperkte koelwaterlozing door elektriciteitscentrales op rivieren	Extreem hoge temperatuur	Laag	Midden	Laag	Vermindering van de capaciteit van elektriciteitscentrales die afhankelijk zijn van het lozen van koelwater op het oppervlaktewater	dagen	Door de koelwater grenzen te overschrijden kan er toch voldoende electriciteit worden opgewekt, dit heeft echter negatieve gevolgen voor de ecologie	Midden	De temperatuurgrens van het rivierwater van de Rijn bij Lobith is 24 graden celsius. In 2000 gebeurde dit 30 keer de trend is dat dit blijft toenemen	Midden		Laag
Midden, laag, midden	Koelwater tekort voor elektriciteitscentrales door lage waterstand rivieren	Droogte	Midden	Laag	Laag	Vermindering capaciteit van elektriciteitscentrales die afhankelijk zijn van koelwater uit de rivieren	dagen/weken	Wanneer de capaciteit van een of meerdere centrales afneemt wordt sinds 2003 de procedure Stappenplan Koelwater inwerking gezet. Dit houdt in dat bepaalde stroomvragende functies bewust worden afgeschakeld	Laag	De kans op een 'zeer droog jaar', een jaar dat droger is dan een droog jaar is eens in de 30 jaar, de kans dat een jaar een 'extreem droog jaar' is, een jaar dat droger is dan een zeer droog jaar, is eens in de 50 jaar	Midden		Laag

Laag, laag, laag	Vermindering capaciteit elektriciteitsopwekking door afschakeling windmolens	Extreme windstoten	Laag	laag	Laag	Vermindering capaciteit windmolens	dagen	Wanneer op grote schaal windmolens sterk moeten minderen in geleverd vermogen aan het net moeten andere opwekkers dit snel kunnen opvangen. Dit vraagt vooral veel van de onderlinge afstemming van het energie systeem	Laag	10 minuten, windkracht 10 gebeurd een aantal keer per 10 jaar	Laag		Laag
laag, laag, laag	Onbruikbaar worden bovengrondse elektriciteitskabels	Extreme windstoten	Laag	Laag	Laag	Deel van het bovengrondse elektriciteitsnetwerk wordt onbruikbaar	dagen	Wanneer een deel van het bovengrondse netwerk niet meer gebruikt kan worden kan dit op de korte termijn voor overlast zorgen, maar door redundantie in het netwerk kan in de meeste gevallen via een andere 'route' elektriciteit geleverd blijven worden.	Laag	Volgens de KNMI '14 scenario's neemt de kans op extreme windstoten toe	Laag		Laag
laag, laag, laag	Onbruikbaar worden ondergrondse kabels en leidingen	Extreme windstoten	Laag	Laag	Laag	Deel van het ondergrondse gas of elektriciteitsnetwerk wordt onbruikbaar	dagen	Wanneer bomen in beweging komen door extreme wind kunnen de wortels zich gaan verplaatsen en de bodem waardoor kabels en leidingen beschadigd raken	Laag	Volgens de KNMI '14 scenario's neemt de kans op extreme windstoten toe	Laag		Laag
midden, midden, laag	Overstroming elektriciteitscentrale	Gevolgen zeespiegelstijging en hogere piekafvoer rivieren	Midden	Midden	Midden	Energiecentrales die nabij zee of een rivier liggen zullen indien mogelijk preventief afgeschakeld worden en schade ondervinden	weken/maanden	Door een overstroming vanuit zee of in het rivierengebied kan er veel schade ontstaan. Naast schade aan het energiesysteem zal er bij een grootschalige overstroming ook veel schade optreden aan allerlei andere sectoren	Laag	1/1000 jaar (of 1/100 jaar voor secundaire keringen) (=conform overstromingskans primaire en secundaire dijken)	Laag		Laag
midden, midden, laag	Overstroming van koppelschakel-transformatorstations	Gevolgen zeespiegelstijging en hogere piekafvoer rivieren	Midden	Midden	Midden	Koppelschakel- en transformatorstation die in het overstromingsgebied liggen zullen indien mogelijk preventief afgeschakeld worden en schade ondervinden	weken/maanden	Door een overstroming vanuit zee of vanuit het rivierengebied kan er veel schade ontstaan. Naast schade aan het energiesysteem zal er bij een grootschalige overstroming ook veel schade optreden aan allerlei andere sectoren	Laag	1/1000 jaar (of 1/100 jaar voor secundaire keringen) (=conform overstromingskans primaire en secundaire dijken)	Laag		Laag

D Cross-sectorale verbanden

Deze opsomming is geen uitputtend overzicht, maar geeft de resultaten weer van een brainstorm over de cross-sectorale verbanden.

Effecten van energie op:

ICT

- ICT functies kunnen niet opereren zonder energie, tal van ICT functies die afhankelijk zijn van elektriciteit moeten overschakelen op een noodaggregaat of vallen uit. Informatievoorziening die cruciaal is in een nood situatie wordt sterk beperkt omdat communicatienetwerken uitvallen. Ook het digitale betalingsverkeer en de beurs kunnen niet meer opereren.

Gezondheid

- Wanneer de energie uitvalt kunnen drinkwatervoorzieningen, waterzuiveringsinstallaties, ziekenhuizen en verzorgingshuizen in problemen raken. Deze voorzieningen hebben een zeer directe relatie met de gezondheid van de samenleving.
- Kans: verbetering luchtkwaliteit door elektrische auto's.

Natuur

-

Visserij

-

Land en tuinbouw

- De agrarische sector is grotendeels geautomatiseerd en afhankelijk van koeling. Deze functies komen in het geding zodra de elektriciteitsvoorziening stil komt te liggen.

Transport

- Allerlei transport systemen die afhankelijk zijn van energie komen stil te liggen. Denk hierbij aan elektrische trein, tram en metro, maar ook de pompmechanismes van de benzinepomp functioneren niet meer. Bruggen die elektrisch worden bediend kunnen niet meer geopend of gesloten worden.

Effecten van op energie:

ICT

- Energiecentrales gebruiken ICT systemen om te functioneren. Als de ICT niet meer functioneert kan dit nadelige gevolgen hebben voor opereren van deze diensten.

Transport

- Indien het transport van energie bronnen wordt gehinderd kan dit nadelige effecten hebben op de energie sector.
- Indien het transport van personeel naar de onderdelen van de energie infrastructuur wordt gehinderd kan dit nadelige effecten hebben op de energie sector.

Gezondheid

-

Natuur

- Lage waterstanden kunnen leiden tot tekorten aan koelwater en dit kan het opwekken van energie nadelig beïnvloeden.

Visserij

-

Land en tuinbouw

-