

Earth, Life & Social Sciences

Van Mourik Broekmanweg 6

2628 XE Delft

Postbus 49

2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00

F +31 88 866 30 10

TNO-rapport

TNO 2014 R11324| Eindrapport

Klimaatverandering en transport en infrastructuur

Actualisatie van de risico's en kansen voor

klimaatadaptatiebeleid

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.



Datum 25 september 2014

Auteur(s) Nienke Maas, Ruben Vogel

Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 62 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen

Opdrachtgever Kennis voor Klimaat, Planbureau voor de Leefomgeving, KNMI

Projectnaam Actualisatie klimaatrisico's

Projectnummer 060.06852

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

Belangrijkste boodschappen

Voor u ligt een rapportage voor de sector transport, waarin is aangegeven welke risico's en kansen er als gevolg van klimaatverandering voor deze sector zijn. Hierin is onderscheid gemaakt naar vijf subsectoren van wegen, spoorwegen, binnenvaart en havens, luchthavens en drinkwaterstelsel. Gevolgen van langdurige droogte, extreme temperatuur, extreme buien, zeespiegelstijging in combinatie met hoge rivierwaterafvoer en harde windstoten zijn als klimaateffect meegenomen. We hebben ons daarbij geconcentreerd op de risico's op de fysieke infrastructuur. De belangrijkste boodschappen uit deze rapportage zijn:

Grootste risico's in beperkte beschikbaarheid en fysieke schade

De grootste risico's ontstaan door een combinatie van extreme buien met harde windstoten, vooral na periode van droogte, bij overstromingen als gevolg van zeespiegelstijging en hoge rivierwaterafvoer en bij langdurige droogte. Deze omstandigheden zijn in de klimaatscenario's zeker goed denkbaar.

Door extreme buien met harde windstoten is de schade vooral gerelateerd aan beperkte beschikbaarheid van de infrastructuur (wegen, spoorwegen, vaarwegen, luchthaven) of aan gelijktijdig optreden van materiaalschade (leidingen). Door overstromingen als gevolg van zeespiegelstijging en hoge rivierwaterafvoer is de schade vooral gelegen in de kosten van herstel van getroffen infrastructuur en in het ontbreken van verbindingen door langdurig onbruikbare infrastructuur. Specifiek voor de binnenvaart zorgt een laag waterpeil door langdurige droogte voor een prijsopdrijvend effect voor het transport.

De risico's worden in de toekomst waarschijnlijk groter

Door sociaaleconomische ontwikkelingen en nieuwe technologie als slimmere voertuigen worden risico's waarschijnlijk steeds groter. Het transport is afhankelijk van andere sectoren, en die afhankelijkheid neemt alleen maar toe, waardoor de kwetsbaarheid ook groter wordt. Doordat actoren van elkaar de risico's en de maatregelen niet kennen, kunnen hier ook onbekende risico's manifest worden.

Het omgaan met deze risico's kent barrières

Het nemen van maatregelen op zowel technisch als procesmatig vlak is niet eenvoudig, door de complexiteit die de governance van klimaatadaptatie met zich meebrengt. Barrières zijn een door stakeholders verschillend gevoelde urgentie, onvolledige of verschillende informatie, omgaan met onzekerheid, cross-sectorale verbanden en verschillende tijdshorizonten. Deze barrières zijn een risico voor het opstellen en uitvoeren van de Nationale Adaptatie Strategie.

Een gezamenlijk ontwikkelde adaptatiestrategie is belangrijk bij het slechten van deze barrières

Het slechten van deze barrières is mogelijk door bewustzijn te vergroten, dialogen te organiseren, tussen en met sectoren afhankelijkheden en risico's bespreekbaar te maken. Private partijen zijn essentieel bij het bepalen van deze strategie. Door hun korte-termijn belang te koppelen aan het lange termijn klimaatbelang wordt bewustwording over dit thema vergroot. Spoor hen aan om hun calamiteitenplannen onderling te bespreken en klimaateffecten daarbij in ogenschouw te nemen.

Adaptatie-opties zijn velerlei

Adaptatie-maatregelen kunnen op een paar onderdelen aangrijpen, namelijk in de planvorming, in het kiezen en detailleren van de oplossing en het onderhoud. Een goede adaptatiestrategie adresseert het expliciet meenemen van klimaat bij besluitvorming over investeringen in de transportinfrastructuur. Er bestaan kansen om klimaatverandering mee te koppelen met lopende meerjaren-onderhoudsprogramma's. Relevante opties zijn inzetten op een robuuster netwerk, waaraan zowel ontwerp, configuratie, techniek, informatie en organisatie kunnen bijdragen, het aanpassen van bestaande ontwerprichtlijnen en het toevoegen van klimaatadaptatie in de besluitvormingsprocessen en beoordelingscriteria. Voor risico's met een grote waarschijnlijkheid en een groot effect, zoals hinder op wegen en schade aan leidingen door extreme regenval is een preventieve strategie effectief.

Kansen als gevolg van klimaatverandering ontstaan doordat kosten vermeden worden (bv door minder winteronderhoud), doordat er meegekoppeld wordt met ontwikkelingen (bijvoorbeeld smart vehicles ook geschikt maken om zich aan te passen aan weersomstandigheden) en doordat er innovaties ontstaan/gevraagd worden.

Kennisleemten bestaan op deelsectoren én op systeemniveau

De kennisbasis over klimaatverandering en de transportinfrastructuur is nog mager. Voor subsectoren zijn van de geïnterpreteerde risico's veel kwantitatieve informatie niet bekend. Wanneer treedt dit risico precies op? Hoe zit het faalmechanisme in elkaar? Op welk moment wordt een kritieke grens bereikt, en in welke mate beïnvloedt klimaatverandering deze grens? Op systeemniveau is de onderlinge interactie tussen sectoren en de interactie met andere vitale sectoren nog onvoldoende in beeld. En de doorwerking van risico's: hoe verandert de modal split als de risico's daadwerkelijk gaan optreden? Het ontbreekt ook aan methodieken voor analyse, beoordeling en monitoring van het klimaatrisico. Er is nog geen aanpak om klimaat als onderdeel van de levenscyclusberekening mee te nemen. Er is een begin gemaakt met het ontwikkelen van kennis voor een maatschappelijke kostenbatenanalyse waarin klimaat is meegenomen, maar hier ligt nog geen aanpak die toegepast kan worden. Ook worden slechts experimenteel multi-infrastructuur kwetsbaarheidsanalyse opgesteld.

Key messages

This report gives an overview of the risks and opportunities for transport and infrastructure due to climate change. Subsectors within transport and infrastructure are road, rail, inland shipping and harbours, airports and drinking water. Consequences of climate change that has been taken into account are extreme drought, high temperature, extreme rainfall, sea level rise in combination with peak river flows and strong gusts. We focused on the risks for physical infrastructure elements.

Key messages from this report are:

Highest risks in limited availability and physical damage.

The main risks are related to a combination of extreme rainfall with strong gusts, especially after periods of drought and to flooding due to sea level rise and peak river flows and to extreme drought. These circumstances are likely to occur in the existing Dutch climate scenarios.

Extreme rainfall with strong gusts can result in the limited availability of infrastructure (roads, railways, waterways, airport) or material damage (pipes). By flooding due to sea level rise and peak river flows the risks are mainly related to the costs of restoration of affected infrastructure and the lack of connections through broken and unusable infrastructure. Inland shipping specific minimum river flows due to extreme drought pushed up prices for transport.

The risks will likely to be higher in the future

Due to socio-economic developments and new technologies such as smarter vehicles, risks are likely to increase. Transport will be more dependent on other sectors, like energy and ICT, and these dependencies will increase. This will increase vulnerability as well. Since actors do not know each other risks and measures unknown risks will be manifest here.

Dealing with these risks will encounter barriers

Taking action on both technical and process-level is not easy, due to the complexity of climate adaptation governance. Most important barriers are differently perceived urgency, incomplete or various information, dealing with uncertainty, cross-sectoral linkages and multiple time horizons. These barriers form a risk in itself to the preparation and implementation of the National Adaptation Strategy.

A jointly developed adaptation strategy is important in breaking down these barriers

It is possible to break down these barriers. Effective ways are creating awareness, organizing dialogues and enhancing discussions on dependencies between sectors and risks. Private stakeholders are essential in determining the adaptation strategy. Joint awareness on this issue will increase by linking the long-term climatic importance with their short-term interest. Urge them to share their contingency plans, while taking into consideration the effects of extreme weather events on their networks.

Many adaptation options exist

Adaptation measures can act on a few parts, namely in the planning, in choosing

and detailing the solution and in maintenance. A good adaptation strategy addresses the specific inclusion of climate change effects in decision-making on transport infrastructure investments in transport infrastructure. There are opportunities for climate change to pair with ongoing multi-year maintenance programs. Relevant options are creating a more robust network that pays attention to both design, configuration, technology, information and organization, modifying existing design guidelines and adding climate change adaptation in the decision making processes and assessment criteria. A preventive strategy is effective for the risks with a high probability and a large effect such as nuisance on roads and damage to pipes by extreme rainfall.

Opportunities resulting from climate change arise because costs are avoided (eg less winter maintenance), because future developments can accommodate climate change from the beginning (eg make smart vehicles suited to adapt to climatic conditions), and because innovations and thus economic potential are asked.

Knowledge gaps exist in subsectors and on system level

The knowledge base on climate change and transport infrastructure is still poor. For sub-sectors quantitative information of the inventoried risks is not much known. When does this risk occur exactly? How does the failure mechanism work? At what point a critical limit is reached and to what extent is this limit effected by climate change?

At the system level, insight in the interaction between sectors and the interaction with other vital sectors is still insufficient. And the secondary effects of occurred risks: how does it effect for instance the modal split. It lacks methodologies for analysis, assessment and monitoring of climate risks. Climate change has not been part of life cycle analysis yet. A start has been made with the development of knowledge for a social cost-benefit analysis of infrastructure investments for climate change effects, but it is not practice-ready. Only experimental multi-infrastructure vulnerability analysis exist.

Inhoudsopgave

	Belangrijkste boodschappen	3
	Key messages	5
1	Inleiding	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Afbakening van het thema transport en infrastructuur	9
1.3	Aanpak	10
1.4	Leeswijzer	11
2	Systeembeschouwing transport en infrastructuur	13
2.1	Betekenis van transport en infrastructuur	13
2.2	Sectorbeschrijving van vijf subsectoren	14
3	Klimaatverandering en gevolgen voor de Nederlandse transport infrastructuur	21
3.1	Meest relevante klimaateffecten	21
3.2	Aanpak risico-actualisatie en risico-variabelen	23
3.3	Risico's en kansen voor het huidige systeem	24
3.4	Systeemrisico's	35
3.5	Grootste risico's in beperkte beschikbaarheid en fysieke schade	38
3.6	Kansen als gevolg van klimaatverandering	38
3.7	Grootste risico's in beperkte beschikbaarheid en fysieke schade	40
4	Risico's en kansen op basis van toekomstige ontwikkelingen	41
4.1	Toekomstige ontwikkelingen in de sector	41
4.2	Klimaat en sociaal-economische ontwikkelingen tot 2050 in de Deltascenario's ...	42
4.3	'Wild cards': nauwelijks denkbaar, grote gevolgen	44
4.4	Risico's en kansen in de toekomst	46
5	Perspectieven voor beleid, praktijk en wetenschap	47
Bijlagen	51
	Bijlage A: deelnemers bijeenkomsten	
	Bijlage B: gebruikte literatuur voor risico-inventarisatie	
	Bijlage C: uitgebreide risico-tabel	
	Bijlage D: cross-sectorale verbanden	

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Dit rapport geeft een actualisatie van de risico's en kansen als gevolg van klimaatverandering op het thema transport en infrastructuur. Het is opgesteld als bouwsteen voor de Nationale Adaptatie Strategie (NAS). In de NAS, die in 2016 zal verschijnen, stelt het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) vast met welk beleid Nederland klimaatbestendig wordt en welke activiteiten daarbij horen. Hiervoor is het nodig om de risico's en kansen van klimaatverandering in beeld te brengen.

Belangrijke aanleiding voor deze actualisatie van de klimaatrisico's en kansen is een onderzoeksrapport door de Algemene Rekenkamer¹. Hierin geeft zij aan dat het huidige klimaatadaptatiebeleid van Nederland niet voldoet aan de vraag van de Europese Commissie naar een integraal klimaatadaptatiebeleid. Volgens de Rekenkamer ontbreekt het aan een geïntrigeerde aanpak voor alle klimaatrisico's en is er een sterke dominantie op de onderwerpen waterveiligheid, zoetwatervoorziening en klimaatbestendige stad. De sectoren gezondheid, visserij, natuur, land- en tuinbouw, energie, ICT en transport krijgen te weinig aandacht. Het Deltaprogramma brengt in Vitaal en Kwetsbaar al in beeld hoe groot de risico's als gevolg van overstromingen zijn voor de vitale infrastructuren, en hoe de verantwoordelijkheden daaromtrent nu geregeld zijn. Dit vindt plaats in nauwe afstemming met Herijking Vitaal van het Ministerie van Veiligheid en Justitie. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft aan PBL, KNMI en Kennis voor Klimaat gevraagd om de risico's en kansen als gevolg van klimaatverandering op deze thema's in beeld te brengen. Deze rapportage heeft TNO in opdracht van Kennis voor Klimaat opgesteld voor het thema transport. 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.

De NAS van 2007 noemt al een aantal risico's voor het thema transport genoemd. De scheepvaart wordt belemmerd in zomer en winter, het vliegverkeer ondervindt hinder door meer regen en hoge temperaturen, en zowel wateroverlast als hogere temperaturen leveren meer schade op. Ook zijn er kansen benoemd, zoals minder winterschade aan de rail- en weginfrastructuur en minder hinder voor het vliegverkeer als gevolg van minder ijsdagen. Dit rapport geeft aan de hand van de nieuwste inzichten van het KNMI over klimaatverandering en recente studies over klimaat en infrastructuur een actueel beeld van de risico's.

1.2 Afbakening van het thema transport en infrastructuur

Deze rapportage gaat over het thema transport en infrastructuur. Het begrip transport komt in het rapport van de Algemene Rekenkamer voor als in transportsector, transportnetwerken en transportsysteem. Het begrip infrastructuur wordt gebruikt daar waar het gaat om de fysieke elementen. Deze actualisatie legt dan ook de nadruk op kansen en risico's als gevolg van klimaatverandering op de

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

fysieke transportinfrastructuur. Zowel de directe effecten als de daarbij optredende indirecte effecten komen aan de orde. Hiervoor hebben we gebruik gemaakt van literatuur, experts en stakeholders.

In Nederland ligt een uitgebreid transportnetwerk aan spoorwegen, tramlijnen, metrolijnen, fietspaden, stadswegen, snelwegen, vaarwegen, buisleidingen, waterleidingen, rioolstelsels, havens en vliegvelden, bruggen en tunnels. Om de balans tussen diepgang en overzichtelijkheid te borgen, beperkt dit rapport zich tot een aantal subsectoren die een groot deel van dit personen- en goederenvervoer in Nederland verzorgen en die zoveel mogelijk aansluiten bij de definitie van vitale sectoren². Buisleidingentransport nemen we niet mee, omdat de klimaateffecten op de fysieke infrastructuur vergelijkbaar zijn met olie- en gasleidingen, die in het deelrapport Energie worden behandeld.³ Wel nemen we de drinkwater- en rioolleidingen mee.

Dat betekent dat we ons concentreren op de volgende vijf subsectoren⁴:

- wegen voor gemotoriseerd verkeer (hoofdwegen),
- spoorwegen
- havens en hoofdwaterwegen
- luchthavens.
- drinkwater- en rioolleidingen

Civiele kunstwerken als bruggen en tunnels in de netwerken van wegen, spoorwegen en binnenvaart nemen we bij deze subsectoren mee.

1.3 Aanpak

We hebben de volgende stappen gevolgd, die tot deze rapportage hebben 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 analysekader.
- Afbakening van de onderdelen tot de vijf subsectoren.
- Specificeren van de relevante klimaateffecten, voornamelijk gericht op extreme weersomstandigheden, in nauwe afstemming met KNMI, op basis van KNMI'14 scenario's.
- Scan van beschikbare literatuur (wetenschappelijk en adviesrapporten) gericht op risico's als gevolg van verwachte veranderende weersomstandigheden voor de fysieke infrastructuur zoals die nu is.
- Ordening van deze risico's tot 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, toekomstbeelden.
- Afstemming met andere thema's, PBL en KNMI over meest risicovolle Deltascenario, tipping points in klimaat, uitgebreide risicotabel en onderlinge interacties.
- Toets in stakeholdersessie van de risicotabel en inventarisatie van kansen.

² Informatie Vitale sectoren (2010) Brochure Ministerie van BZK

³ Buisleidingen voor gas zijn meegenomen in Vogel, R (2014) Klimaatverandering en energie, actualisatie van de risico's en kansen als gevolg van klimaatverandering, TNO, Delft (Concept).

⁴ De eerste vier categorieën worden ook onderscheiden in een studie uit Verenigd Koninkrijk naar risico's van klimaatverandering in DEFRA (2012)

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

1.4 Leeswijzer

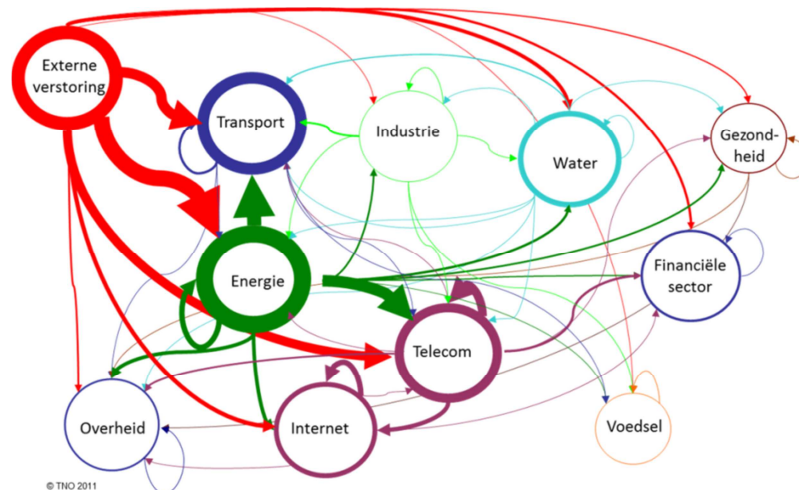
Dit rapport vervolgt na deze inleiding met een systeembeschrijving van de fysieke bouwstenen waaruit de transportinfrastructuur is opgebouwd, ingedeeld naar de vijf subsectoren. Hoofdstuk 3 geeft de belangrijkste klimaateffecten weer op basis van de verwachting van de KNMI'14 scenario's. Ook beschrijft dit hoofdstuk op welke wijze de ontwikkeling van het klimaat van invloed kan zijn op deze subsectoren. Dit geeft de risico's weer, die worden toegelicht of met sprekende voorbeelden worden geduid. Ook volgt er een opsomming van kansen die zich voordoen als gevolg van klimaatverandering. Hoofdstuk 4 gaat over de toekomst van de sector en van sociaaleconomische veranderingen die tot andere of nieuwe risico's en kansen kunnen leiden. Hoofdstuk 5 beschrijft de handelingsperspectieven voor beleid, de kennisleemten voor de wetenschap, en de maatregelen die de transportsector kan nemen. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies.

2 Systeembeschouwing transport en infrastructuur

2.1 Betekenis van transport en infrastructuur

De transportinfrastructuur in Nederland vervult een belangrijke functie in het economisch en maatschappelijk verkeer. Het zorgt er namelijk voor dat goederen en mensen kunnen bewegen en zo de motor van de economie kunnen laten draaien. In 2010 was sprake van 183 miljard personenkilometers (waarvan 136 miljard autokilometers, 19 miljard treinkilometers)⁵. In het goederenvervoer ging 56 miljard tonkilometers over de weg, 6 over het spoor, 14 via buisleidingen en 39 via de binnenvaart op een totaal van 115 miljard tonkilometers.⁶ Via de luchthavens werden in 2010 49 miljoen lucht passagiersbewegingen afgewikkeld en 1,6 miljoen ton vracht, het merendeel via luchthaven Schiphol. Via met name de haven van Rotterdam is in Nederland 568 miljoen ton aan goederen overgeslagen. Dit maakt de mainports Rotterdam en Schiphol belangrijk voor de economie van Nederland. Waterleidingen zorgen voor schoon drinkwater voor gezinnen, gezondheidszorg, groei van gewassen en ons rioolstelsel zorgt voor de afvoer van overtollig regenwater en het hygiënisch afvoeren van afvalwater. Het is van cruciaal belang dat onder invloed van de gevolgen van klimaatverandering deze infrastructuren blijven functioneren.

De fysieke infrastructuur van het transportnetwerk heeft een belangrijke rol in het ondersteunen en mogelijk maken van andere functies van vitale sectoren zoals bijvoorbeeld in de aanvoer van kolen voor opwekking elektriciteit, de levering van medicijnen en het vervoer van personeel. Daarnaast is het zelf ook afhankelijk van andere vitale infrastructuren zoals energie (o.a. brandstof voor vervoersbewegingen) en ICT (o.a. procescontrole- en communicatiesystemen).

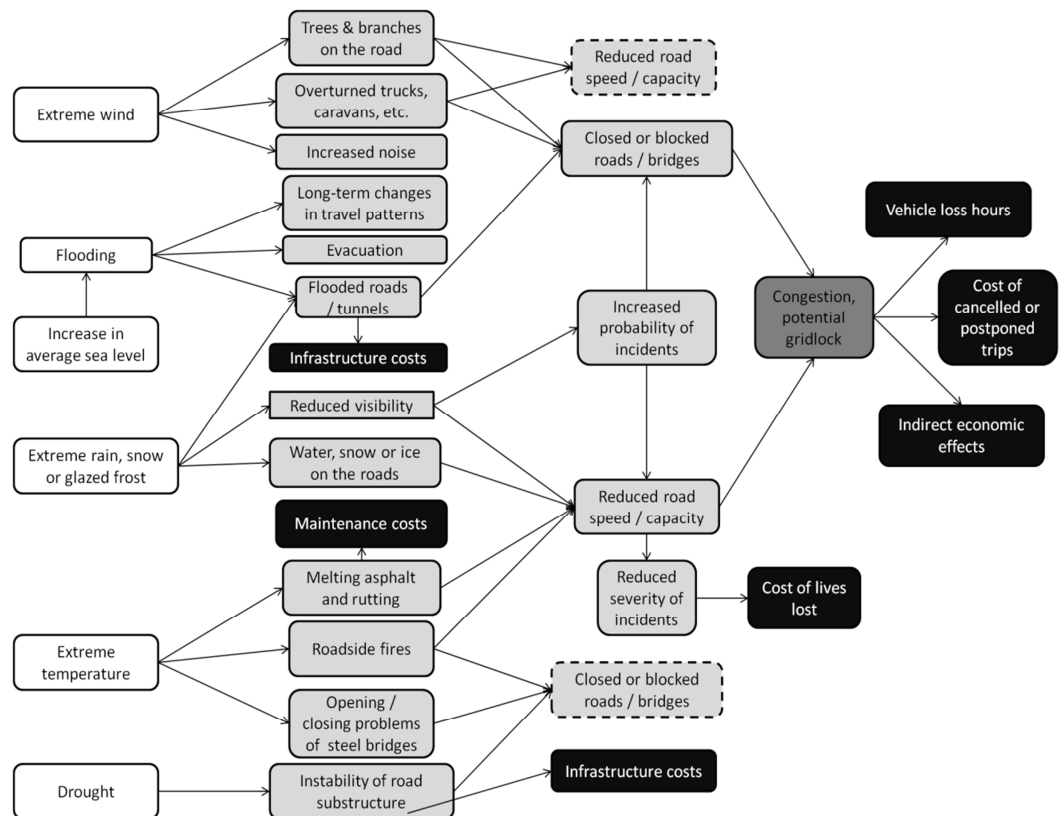


Figuur 1. Relatieve uitval van vitale infrastructuren in Nederland (2005-2011) en cascade-effecten (de aantallen externe verstoringen zijn gedeeld door vijf i.v.m. de visualisatie) [N=911]

⁵ KiM (Mobiliteitsbalans 2011) via www.compendiumleefomgeving, geraadpleegd juni 2014

⁶ Idem. Via buisleidingen gaat 14 miljard tonkilometers per jaar. Voor informatie over de risico's van klimaatverandering voor buisleidingen verwijzen we naar Vogel, R (2014) Klimaatverandering en energie, actualisatie van de risico's en kansen als gevolg van klimaatverandering, TNO, Delft (Concept).

Vele factoren, waaronder klimaatverandering, kunnen ervoor zorgen dat er verstoringen optreden in een of meer van de vitale infrastructuren. Uitval van een van deze systemen kan vervolgens leiden tot het niet meer of in mindere mate functioneren van de vervoersfunctie van transportinfrastructuur. Zie ook figuur 1. Ook kan er een verplaatsingseffect optreden: doordat bij uitval van een deel van het netwerk een alternatieve route of een andere vervoerswijze wordt gekozen, is er een grotere kans op stremmingen door teveel vraag en te weinig vervoerscapaciteit. Figuur 2 geeft een indruk van mogelijke gevolgen van klimaatverandering op de weginfrastructuur en geeft inzicht in soorten van effecten (kosten van infrastructuur, onderhoud, vertraging of veiligheid, voertuigverliesuren, indirecte economische effecten).



Figuur 2. Mogelijke gevolgen van klimaatverandering op weginfrastructuur (samengesteld door Bollinger et al, 2013). Effecten worden weergegeven in de donkere blokken.

2.2 Sectorbeschrijving van vijf subsectoren

2.2.1 Hoofdwegen

Tot de hoofdwegen behoren zowel de Rijkswegen als de provinciale wegen. Deze noemt men in de hiërarchische onderverdeling van het Nederlandse wegennet ook wel stroomwegen. De andere wegen zijn erftoegangswegen en gebiedsontsluitingswegen⁷.

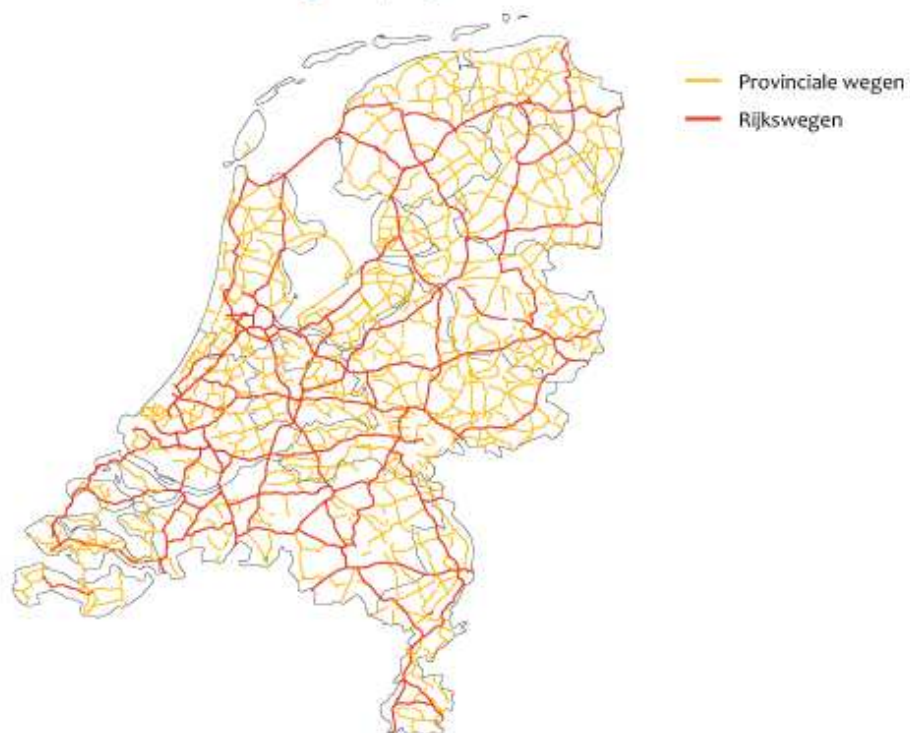
⁷ <http://nl.wikibooks.org/wiki/Infrastructuurplanning/Netwerkopbouw>

Het Nederlandse hoofdwegennet bestaat uit ongeveer 5200 kilometer snelweg en 7800 km provinciale weg⁸ (zie figuur 3). Deze wegen zijn uitsluitend voor gemotoriseerd verkeer toegankelijk en de maximaal toegestane snelheid varieert van 80 km/u tot 130 km/u. Meestal hebben deze een asfaltverharding als toplaag, slechts zelden is sprake van betonplaten. De drie meest gebruikte asfaltsoorten hiervoor zijn: dicht asfaltbeton, zeer open asfaltbeton (ZOAB) en steenslag mastiekasfalt, elk heeft zijn specifieke eigenschappen⁹. ZOAB verbetert bijvoorbeeld het zicht tijdens regen, maar heeft als neveneffect dat het bij vorst-dooi periodes sneller gerepareerd moet worden.

De verantwoordelijkheid voor het beheer en onderhoud van het Nederlandse hoofdwegennet ligt bij het Rijk en de provincie. De hiërarchisch lagere wegen, zoals erfontsluitingswegen en gebiedsontsluitingswegen worden voornamelijk beheerd door lagere overheden, zoals gemeenten en waterschappen¹⁰.

In het hoofdwegennet zijn diverse kunstwerken opgenomen zoals tunnels, bruggen, aquaducten en viaducten. Voor de vervanging en renovatie van objecten in het hoofdwegennet is voor de periode 2014-2018 364 miljoen euro begroot. Voor de totale vervanging en renovatieopgave van hoofdwegen en hoofdvaarwegen is in het Verlengde MIRT (2021 t/m 2028) een reservering opgenomen van 3,2 miljard euro.

Het Nederlandse hoofdwegennet, 2013



Bron: Nationaal Wegenbestand.

CBS/jan14
www.clo.nl/nl209604

Figuur 3. Het Nederlandse hoofdwegennet, 2013

⁸ DVS/CBS. 11-6-2014

⁹ <http://auto-en-vervoer.infonu.nl/verkeer/62861-asfaltopbouw-en-de-meestgebruikte-soorten.html>

¹⁰ <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/wegen/vraag-en-antwoord/wat-voor-wegen-zijn-er-in-nederland-en-wie-is-de-wegbeheerder.html>

2.2.2 Spoorwegen

Nederland heeft bijna 3000 kilometer spoorlijnen. Driekwart van deze spoorlijnen zijn geëlektrificeerd. Dit betekent dat de railvoertuigen worden voorzien van een elektrische voeding door middel van een bovenleiding¹¹. De niet-geëlektrificeerde spoorlijnen liggen voornamelijk in het noorden en oosten van Nederland¹². De spoorwegen spelen een belangrijke rol in het dagelijkse vervoer van personen en goederen binnen Nederland en tussen Nederland en het buitenland. Het Nederlandse spoorstelsel is een van de drukst bereden spoorwegen van de wereld.

Er zijn verschillende partijen betrokken bij het spoorstelsel. De beheerder van het hoofdspoorstelsel is ProRail, zij is verantwoordelijk voor het onderhoud van de rails, de capaciteitsverdeling en de verkeersleiding. ProRail is voor honderd procent in het bezit van de rijksoverheid. Het ministerie van Infrastructuur en Milieu is verantwoordelijk voor het beleid ten aanzien van het spoorstelsel, in dit kader is onlangs de lange-termijn spooragenda ontwikkeld¹³.

Door middel van concessies zijn de vervoerders verantwoordelijk voor het personen- en goederenvervoer per trein. Grote personenvervoerders in Nederland zijn bijvoorbeeld de NS, Syntus, Arriva, Veolia en Connexxion¹⁴. Enkele goederenvervoerders zijn DB Schenker Rail Nederland BV, ERS Railway BV.

De lange-termijn spooragenda, het Programma Hoogfrequent Spoor, moet voor reizigers leiden tot spoorboekloos rijden, hetgeen betekent dat uiterlijk 2028 elke tien minuten een intercity beschikbaar is op een aantal trajecten, vooral van en naar de Randstad. Hiervoor zijn vier belangrijke corridors benoemd (Schiphol – Lelystad, Alkmaar - Eindhoven, Schiphol – Nijmegen, Den Haag – Eindhoven). Voor het goederenvervoer worden separate goederenvervoerroutes gecreëerd vanaf de Betuweroute door Oost- en Zuid-Nederland. Stations, wissels en seinen worden ook aangepast om dit mogelijk te maken. Met dit programma is tot 2028 een investeringsvolume van 4,5 miljard euro gemoed.

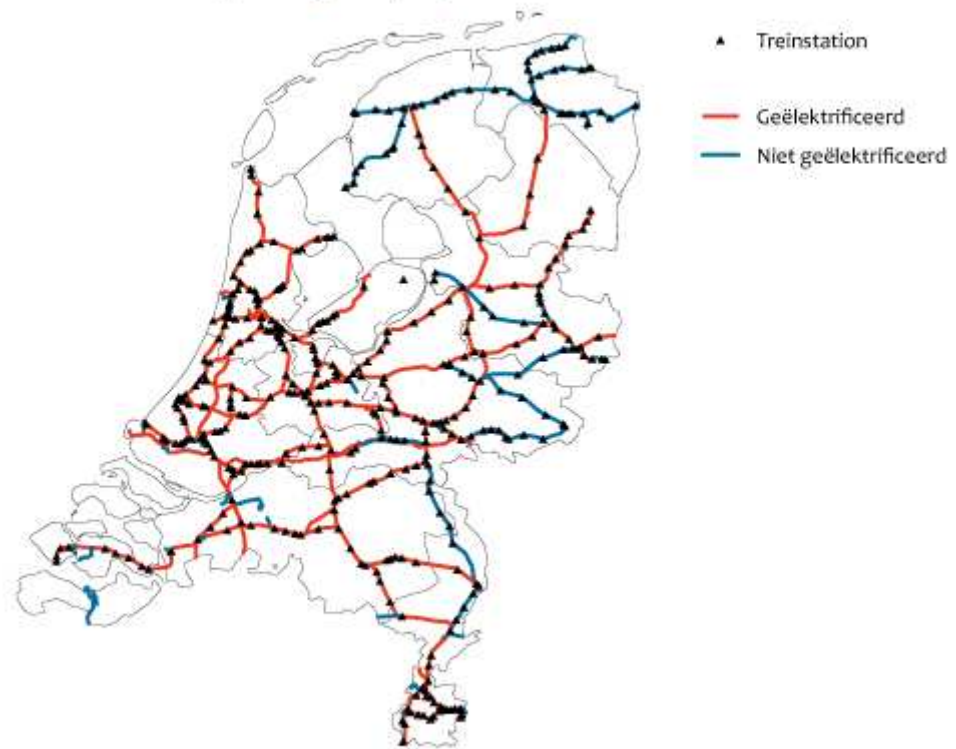
¹¹ http://nl.wikipedia.org/wiki/Spoorlijnen_in_Nederland

¹² Metro en tramlijnen zijn in deze actualisatie buiten beschouwing gelaten, deze hebben veelal een lokale functie.

¹³ <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/openbaar-vervoer/rol-rijksoverheid-prorail-en-ns>

¹⁴ <http://www.ns.nl/over-ns/wat-doen-wij/spoorsector/verantwoordelijkheden-op-het-spoor>

Het Nederlandse spoorwegennet, 2013



Bron: Nationaal Wegenbestand, CBS.

CBS/jan14
www.clo.nl/nl209604

Figuur 4. Het Nederlandse spoorwegennet, nog zonder Hanzespoorlijn

2.2.3 Havens en waterwegen

Dit rapport behandelt alleen havens en hoofdvaarwegen die een significante rol spelen in het transportsysteem van Nederland over water. Havens en waterwegen voor recreatief gebruik worden buiten beschouwing gelaten. Aan vaarwegen is 1450 kilometer beschikbaar. De Nederlandse binnenvaart heeft een aandeel in de modal split van het goederenvervoer van 38%. Europees gezien is de Rijn de belangrijkste verbinding: 63% van het totale volume van de Europese binnenvaart gaat via de Rijn. Over de Nederlandse vaarwegen werd in 2010 93 miljoen ton binnenlands en 170 miljoen ton van en naar het buitenland vervoerd¹⁵. De komende jaren worden knelpunten in capaciteit van sluisen en vaarwegen op de drukst bevaren routes aangepakt.

Meer dan de helft van het goederenvervoer van en naar Nederland gaat per zeeschip. In 2010 werd er 590 miljoen ton goederen via de zeevaart van en naar Nederland gebracht, waarvan ruim 400 miljoen ton via de haven van Rotterdam¹⁶. Ongeveer 30% van alle lading die via de haven van Rotterdam wordt vervoerd, vindt plaats via containers. De zeehavens hebben een cruciale rol in het verbinden van de zeevaart met het transport per vrachtwagen, trein of binnenvaartschip¹⁷.

¹⁵ Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen 11-6-2014, geraadpleegd 11 juni 2014

¹⁶ Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen 11-6-2014, geraadpleegd 11 juni 2014, CompendiumLeefomgeving.nl, geraadpleegd 4 juli 2014

¹⁷ <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/zeevaart-en-zeehavens>



Figuur 5. Het vaarwegennet in Nederland¹⁸

Het Rijk is in beginsel verantwoordelijk voor de hoofdvaarwegeninfrastructuur, zoals maritieme toegangswegen en binnenvaartwegen. De Nederlandse zeehavens vallen in principe onder de gemeentelijke autoriteiten, zoals bij de haven van Amsterdam en Rotterdam. Deze havenautoriteiten zijn verantwoordelijk voor de havenbekkens en kades voor zee- en binnenvaart¹⁹. Het is ook mogelijk dat de gemeentelijke verantwoordelijkheden worden overgedragen aan publieke-private of geheel private partijen, zoals havenschappen als Groningen Seaports, Havenschap Moerdijk, enzovoort. Sommige onderdelen in de haven, zoals containerterminals, worden door private partijen geëxploiteerd.

2.2.4 Luchthavens

Er wordt door de rijksoverheid een onderscheid gemaakt in vier typen luchthavens:

¹⁸ Bureau Voorlichting Binnenvaart.

http://www.bureauvoorlichtingbinnenvaart.nl/over/basiskennis/vaarwegen#vaarwegen_nederland

¹⁹ <http://www.havenraad.nl/nederlandse-zeehavens/>

- Schiphol: dit is verreweg de grootste luchthaven van Nederland. Dit vliegveld verwerkte in 2012 bijna 51 miljoen passagiers, daarnaast is het ook een grote speler in het goederenvervoer via de lucht.
- Luchthavens van nationale betekenis: dit zijn de luchthavens Groningen Airport Eelde, Eindhoven, Lelystad, Maastricht-Aachen Airport en Rotterdam-The Hague Airport. Deze vallen onder de verantwoordelijkheid van het Rijk.
- Luchthavens van regionale betekenis: dit zijn de overige burgerluchthavens en zij vallen onder de verantwoordelijkheid van de betreffende provincies.
- Militaire luchthavens: deze vallen onder de verantwoordelijkheid van het ministerie van Defensie. Het vliegveld Eindhoven heeft een dubbelfunctie: luchthaven van regionale betekenis en militair vliegveld.

De bereikbaarheid van Nederland via de lucht wordt de komende jaren versterkt, dit staat vastgelegd in de luchtvaartnota. Dit houdt in dat Schiphol kan groeien naar 510.000 vluchten per jaar in 2020. Het Rijk zet ook in op het verbeteren van de bereikbaarheid van de luchthavens per weg en spoor²⁰.

2.2.5 *Drinkwaterleidingen en rioolstelsel*

De drinkwatervoorziening is een van de vitale sectoren, van primair belang voor de volksgezondheid en voor het economisch en maatschappelijk functioneren van Nederland. Onze samenleving kan niet lang zonder drinkwater. De minimale behoefte is drie liter per persoon per dag. Gemiddeld verbruikt een persoon 50.000 liter per jaar. Dit wordt met drinkwaterleidingen aangevoerd en met het riool afgevoerd. Samen dus een transport van ca. 220 m³/gemiddeld gezin/jaar (komt overeen met ruim 900 volle grijze afvalcontainers). Drinkwater wordt daarnaast ook gebruikt in vele industriële processen.

Het Nederlandse drinkwaternetwerk vindt zijn oorsprong eind 19^e en begin 20^e eeuw en is gemiddeld 30 tot 40 jaar oud. Het Nederlandse systeem omvat 237 drinkwaterbronnen, honderden drinkwaterfabrieken, pompstations en buffervoorraden en een omvangrijk stelsel van ruim 118.000 km ondergrondse hoofdtransport en distributieleidingen van allerlei materialen (PVC, AC, nodulair gietijzer, grijs gietijzer, PE, staal, beton en koper).

Drinkwaterleidingen liggen gemiddeld één meter onder het maaiveld, en vaak naast gasleidingen, riool, elektriciteitskabels, coaxkabels, telefoonkabels en ook steeds vaker glasvezel. Het drinkwaterstelsel dient onder alle omstandigheden onder druk te staan, ook bij rampen en calamiteiten. Een drukval in omvangrijk gebied, geeft een verontreiniging van het drinkwaterstelsel waar maanden voor nodig zijn om de drinkwatervoorziening weer op het oude kwaliteitsniveau te herstellen. Hoe langer de herstelperiode, des te groter de bedreiging voor de volksgezondheid.

Het beheer van de drinkwaternetwerken ligt in handen van tien drinkwaterbedrijven die regionaal verdeeld zijn. Zij zorgen voor schoon water uit de kraan, door grond- of oppervlaktewater te winnen, te zuiveren en via een leidingnet aan de klant te leveren. In 2012 leverden zij 783 miljoen kubieke meter drinkwater aan consumenten en 287 miljoen kubieke meter drinkwater aan bedrijven via in totaal 7,6 miljoen aansluitingen. De verwachting is dat de waterbehoefte tot 2025 min of meer stabiel blijft.

²⁰ <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/luchtvaart/luchthavens>

In Nederland kennen we verschillende rioolstelsels. In een gemengd riool stromen afval- en regenwater samen in één buis naar de rioolwaterzuivering (rwzi). Afggekoppelde en (verbeterde) gescheiden systemen voeren afvalwater en regenwater in twee aparte buizen af. Bij de meeste rioolstelsels lopen de buizen een klein beetje schuin, zodat het water onder invloed van de zwaartekracht vanzelf wegstroomt. Bij persriolen duwt een pomp het afvalwater met kracht door de buis. De belangrijkste onderdelen van een riool vormen de buizen, putten, kolken, gemalen en overstorten. Het rioolwater loopt door de buizen. Putten maken bochten in de riolering mogelijk en zijn nodig voor reiniging. Via kolken (de putjes in de weg of stoeprand) loopt regenwater van de straat het riool in. Bij hevige regen kan het riool het extra water afvoeren via nooduitlaten: de overstorten.

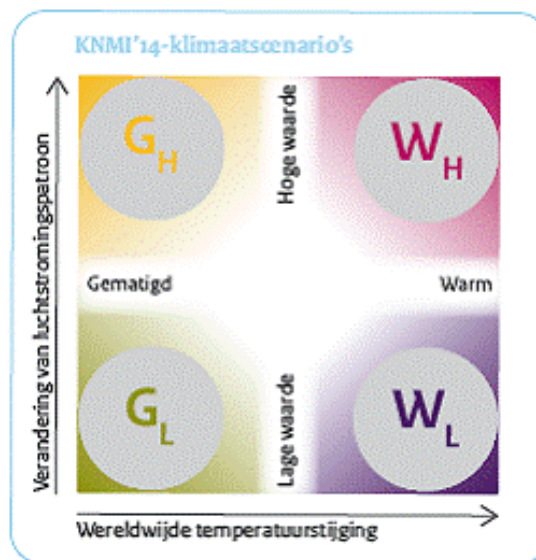
Het openbare rioleringsnetwerk in Nederland is bijna 110.000 kilometer lang. Slechts 20.000 huishoudens zijn niet aangesloten: zij hebben een eigen miniwaterzuiveringsinstallatie. De gemeente beheert het openbare rioleringsstelsel. De jaarlijkse kosten om deze infrastructuur in stand te houden zijn inmiddels gegroeid naar 1,2 miljard euro per jaar. In een aantal regio's wordt de riool- en afvalwaterzuivering centraal uitgevoerd door waterschappen of in interregionaal samenwerking.

3 Klimaatverandering en gevolgen voor de Nederlandse transport infrastructuur

Dit hoofdstuk geeft weer hoe klimaatverandering ingrijpt op de Nederlandse transport netwerken. Het gaat daarbij zowel om de risico's als de kansen die klimaatverandering met zich meebrengt. Dit hoofdstuk gaat uit van de huidige netwerken, hoofdstuk 4 zet de toekomst van deze netwerken centraal. De eerste paragraaf geeft weer welke aspecten van de verwachte klimaatverandering het meest relevant zijn voor de sector transport en de vijf geselecteerde transportinfrastructuren. Vervolgens beschrijven we op welke wijze we de risico's hebben geïventariseerd. Bij de informatie hebben we binnen de scope en beschikbare tijd van de studie gebruik gemaakt van literatuur en van informatie van experts en stakeholders. We maken een onderscheid naar risico's op de fysieke infrastructuur en systeemrisico's. Dit hoofdstuk geeft daarmee inzicht in de risico's van de verwachte ontwikkeling van het klimaat op de huidige infrastructuur.

3.1 Meest relevante klimaateffecten

Het KNMI heeft in mei 2014 vier nieuwe klimaatscenario's gepresenteerd voor de toekomstige klimaatverandering in Nederland²¹. De scenario's zijn in een assenstelsel uiteen gezet op de indicatoren temperatuurstijging en verandering Luchtstromingspatroon. Volgens het KNMI zullen veel van de huidige klimaattrends in de toekomst doorzetten. Het tempo van de zeespiegelstijging neemt de komende decennia aan de Noordzeekust toe.



Figuur 6. De KNMI '14 scenario's langs assen van temperatuurstijging en luchtstromingspatronen

²¹ KNMI (2014): KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective; by Bart van den Hurk, Peter Siegmund, Albert Klein Tank (Eds) et al. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands. www.climatescenarios.nl

Volgens deze nieuwste klimaatscenario's stijgt de zeespiegel aan de Nederlandse kust tot 2085 met 25 tot 80 centimeter. De temperatuur stijgt verder: het meest in de winter, het minst in de lente. In Nederland ligt de opwarming ten opzichte van de huidige gemiddelde temperatuur tussen 1,0 en 2,3 graden rond 2050 en kan oplopen tot 3,7 graden in 2085. De toekomstige winters in Amsterdam kunnen meer gaan lijken op de huidige winters in Bordeaux. De neerslag neemt ook toe, extreme buien zullen door opwarming en daarmee toename van luchtvochtigheid extremer worden en gepaard gaan met meer 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 weersextremen (coïncidenties) vindt in het huidige klimaat ook al plaats, en is niet zozeer afhankelijk van een bepaald scenario. Het is daarmee een bijzonder aandachtspunt voor het KNMI en van belang voor de effecten van klimaatverandering op de beschouwde vijf subsectoren van transport. Op basis van deze KNMI'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 tien mm regenwater per vijf 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 transportsysteem of hebben grotere negatieve gevolgen dan anderen. Dit rapport legt de nadruk op de effecten door toename van extreem hoge temperaturen, langdurige droogte, overstromingen, kortstondige extreme windomstandigheden en intensere regenbuien. Sommige van deze verschijnselen kunnen in combinatie met elkaar optreden.

3.2 Aanpak risico-actualisatie en risico-variabelen

We maken bij het actualiseren van de risico's onderscheid naar risico's op de fysieke infrastructuur en systeemrisico's. Systeemrisico's grijpen niet rechtstreeks in op deze fysieke infrastructuren 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.

Voor de analyse van waarschijnlijkheid en impact maken we gebruik van de methodiek van de Nationale Risicobeoordeling van het Ministerie van Veiligheid en Justitie²². Deze methodiek hanteert 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 relevante 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."²³

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 1000 jaar tot een keer per jaar.

Voor de impactklassen gebruiken we die effecten uit de Nationale Risicobeoordeling die voor deze sectoren 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.

Voor de economische impact wordt gekeken naar de economische schade (van mensen, fysieke onderdelen, van diensten). Op basis van de risico-effecten die we hebben gevonden, gebruiken we de volgende impactklassen.

²² Nationale Risicobeoordeling Leidraad Methode 2008, Ministerie BZK, Den Haag

²³ WRR (2014) Consistent maatwerk – handreikingen voor dossieroverstijgend risico- en veiligheidsbeleid

<i>Economische impactklassen in euro's</i>
<10.000 euro
10.000 euro – 100.000 euro
100.000 euro – 1 miljoen euro
1 miljoen euro – 10 miljoen euro
10 miljoen euro – 100 miljoen euro
100 miljoen euro – 1 miljard euro

Voor de sociale impact gaan we uit van de verstoring van het dagelijks leven. Dit kan dan 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, geen toegang tot drinkwater. 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.

De impactklassen worden gebaseerd op het aantal getroffen:

<i>Sociale impactklassen in getroffen</i>
< 1.000 mensen
1.000 -10.000 mensen
10.000 – 100.000 mensen
100.000 mensen – 1 miljoen mensen
Meer dan 1 miljoen mensen

De inschatting voor de score van een risico voor beide impactklassen is gebaseerd op documenten en op input van experts en stakeholders.

3.3 Risico's en kansen voor het huidige systeem

De risico's per subsector worden in een risicotabel weergegeven. Deze tabel geeft op de verticale as de vijf in paragraaf 1.3 genoemde subsectoren weer en op de horizontale as de in paragraaf 3.1 genoemde extreme weersomstandigheden. De tabel geeft in één oogopslag weer waar de risico's van het Nederlandse transportnetwerk liggen ten aanzien van de extreme weersomstandigheden op basis van de nu aanwezige kennis over de te verwachten gevolgen en de kans dat een dergelijke situatie voorkomt. De tabel bevat de directe effecten. Ook geven we weer hoe deze risico's in impact en waarschijnlijkheid voorkomen. De impact betreft de impact op het huidige systeem, de waarschijnlijk gaat over de kans dat deze extreme weersomstandigheid in de toekomst ook van invloed gaat zijn op de infrastructuur. Na de tabel wordt per risico uit de tabel een toelichting gegeven op basis van beschikbare informatie, gebaseerd op eerder opgetreden situaties of op basis van verwachte effecten.

De weergegeven informatie is binnen de scope en tijdsbestek van deze studie verzameld. De nummers tussen haakjes verwijzen naar de nummering in de overzichtstabel met de risico's.

De geanalyseerde documenten (bijlage B) en de aanvullingen van stakeholders en experts leidt tot het volgende overzicht voor de beschouwde vijf subsectoren.

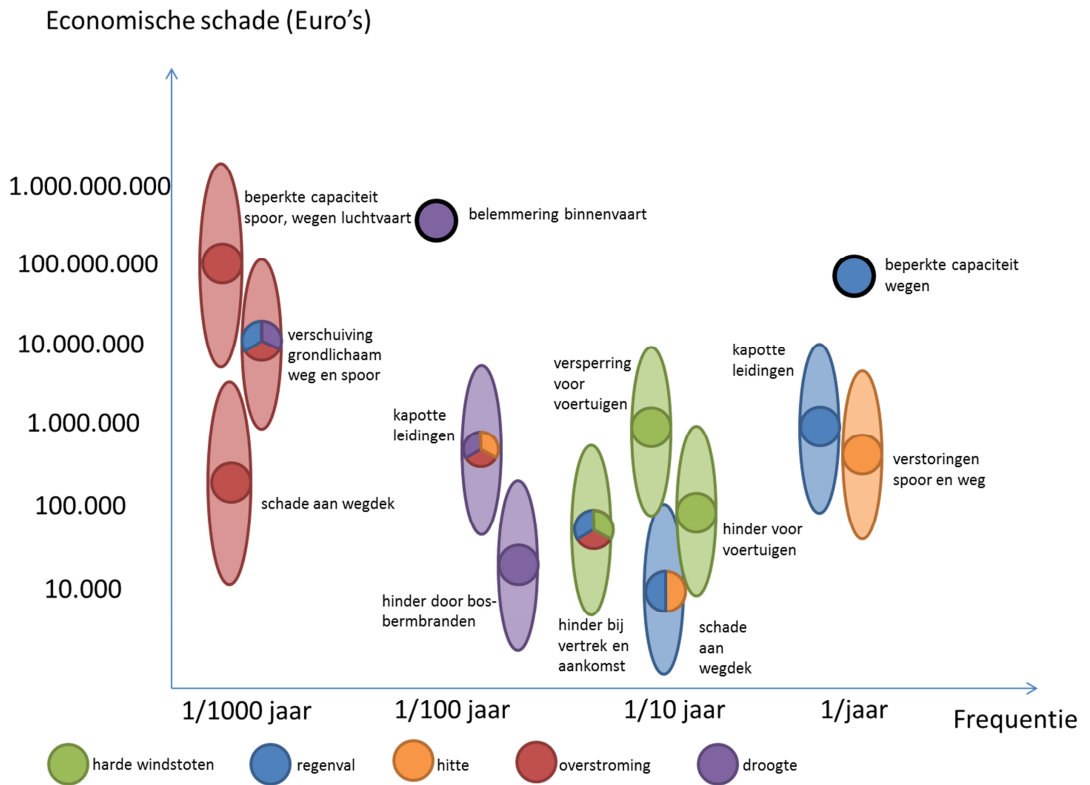
Weersomstandigheid	Extreme regenval en onweer	Extreem hoge temperaturen	Droogte	Extreme windstoten	Gevolgen van zeespiegelstijging en hogere piekafvoer rivieren
Fysieke bouwstenen Transport infrastructuur					
Wegen	Waterschade aan weg (1)	Vervorming asfalt (4)	Verschuiving grondlichaam weg (6)	Hinder voor grote voertuigen (8)	Waterschade aan weg (10)
	Beperkte capaciteit verkeer (2)	Bruggen openen en sluiten niet goed (5)	Hinder door bos en bermbranden (7)	Versperring door gevallen objecten ²⁴ (9)	Beperkte capaciteit verkeer (11)
	Verschuiving grondlichaam weg (3)		Verschuiving grondlichaam weg (12)		
Spoorwegen ²⁵	Stabiliteit grondlichaam (13)	Vervorming rails (14)	Verschuiving grondlichaam rails (15)	Versperring door gevallen objecten (17)	Beperkte capaciteit (18)
	Beperkte capaciteit (13a)	Oververhitting elektrotechnisch systeem (14a)	Hinder door bos- en bermbranden (16)		Stabiliteit grondlichaam (18a)
Havens en waterwegen	Hinder bij laden en lossen schepen (19)	Minder concentratie personeel kranen (20)	Te laag waterpeil (21) binnenvaart	Hinder bij laden en lossen vrachtschepen (22)	Hinder bij laden en lossen vrachtschepen (23)
Luchthavens	Hinder bij opstijgen en landen ²⁶ (24); vertraging bij (de)boarden bij onweer	Vervorming asfalt (25)	(26)	Hinder bij opstijgen en landen (27)	Beperkte capaciteit (28)
Buisleidingen (water, riool)	Breuk bij harde wind en zeer natte ondergrond (29)	Breuk door ongelijkmatige zettingen in de grond (30)	Breuk door ongelijkmatige zettingen in de grond (31)	Breuk bij uprooting (32)	Opdrijven van de leidingen Ontzetting leidingen in waterkeringen (33)

²⁴ De meningen over de impact van zijwind en omvallende bomen op transport zijn verdeeld. De effecten zijn relatief kleinschalig en lokaal. Bij extreme wind op meer plekken kan het echter voor problemen op verschillende plekken zorgen. De literatuur en expertsessie noemden beiden de fenomenen, de stakeholdersessie vond het geen groot genoeg probleem (voor rood, wel voor oranje).

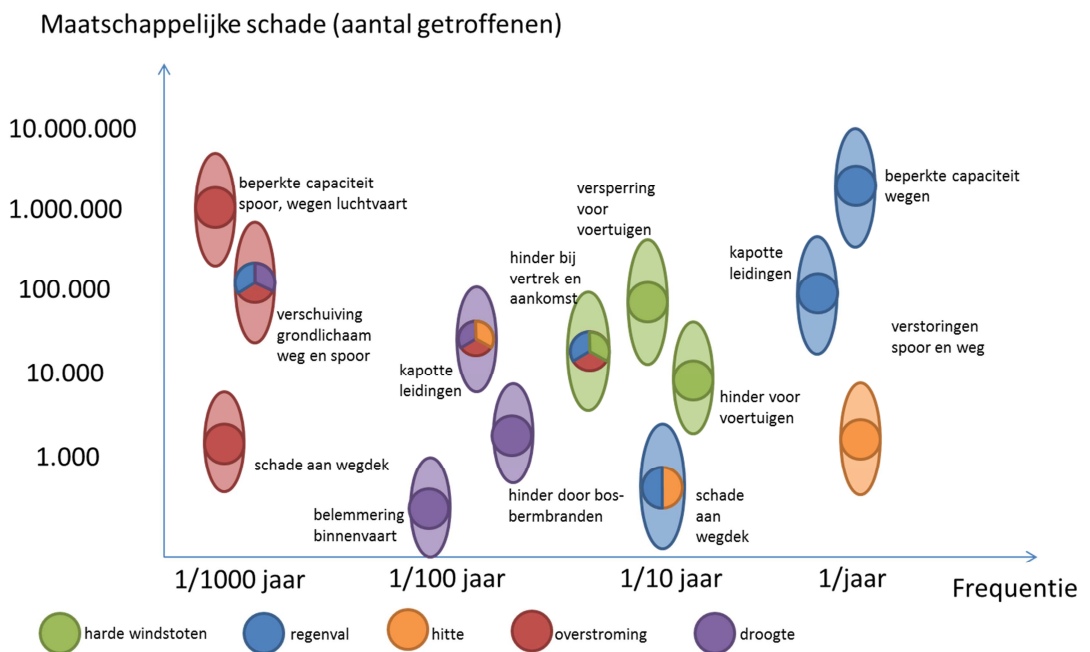
²⁵ Een stakeholder benadrukt de afhankelijkheid van het spoor van energie en ICT, voor beveiliging en communicatie.

²⁶ Hinder voor vliegtuigen wordt in de literatuur en door de expert wel genoemd, maar niet als zeer groot risico beschouwd. Vanuit de stakeholders werd geopperd dat dit risico ook hoog gewaardeerd moet worden (rood).

De in deze tabel genoemde risico's in combinatie met de impactklassen en waarschijnlijkheid uit paragraaf 3.2 leidt tot figuren 7 en 8. De basis voor deze figuren is de uitgebreidere risicotabel in bijlage C.



Figuur 7. Economische schade en waarschijnlijkheid van risico's



Figuur 8. Maatschappelijk schade en waarschijnlijkheid van risico's

Wegen

In het FP7 project Weather wordt inzicht gegeven in de kosten als gevolg van extreme weersomstandigheden²⁷. Deze kosten zijn niet specifiek voor Nederland, maar geven wel een indicatie. Voor Frankrijk zijn de jaarlijkse kosten van regen, storm en overstroming ca 160 miljoen euro, voor de Britse eilanden worden deze ingeschat op 80 miljoen euro. Hierin worden verschillende kostenposten meegenomen, namelijk zowel de schade aan de infrastructuur en voertuigen, als de voertuigverliesuren. Tabel 2 laat zien dat het merendeel van de schadeposten in de fysieke infrastructuur zit.

Tabel 2. Jaarlijkse kosten van extreem weer op onderdelen, voor totaal Europa²⁸

Infrastructuur	Schade per jaar (mln euro) per extreem weertype			
	<i>Regen en overstroming</i>	<i>Hitte en droogte</i>	<i>Storm</i>	<i>(Winterse omstandigheden)</i>
Veiligheid	22	47	6	165
Voertuigverliesuren	95	-	63	125
Voertuigen	25	-	5	81
Schade	630	-	76	249
Overig	51	Onbekend	24	139
Totaal	823	47	174	759

- (1), (3) Schade aan weginfrastructuur treedt op bij heftige regenval van 100 – 150 mm/24 uur of meer.
- (2) Reistijden op de weg worden beïnvloed door regenval. Een neerslagintensiteit van twee millimeter per uur geeft gemiddeld ongeveer 10% kans op extra vertragingen, dit neemt toe tot ongeveer 25% bij een neerslag van meer dan 10 millimeter per uur. De voertuigverliesuren als gevolg van deze vertragingen bij regenval bedraagt ongeveer 50-80 miljoen uur per jaar. Uitgaande van een reistijdwaardering van tien euro per uur, betekent dit een economische schade van 0,5 tot 0.8 miljard euro per jaar²⁹. In een bottleneck groeit de kans op congestie van 50% naar bijna 87% bij lichte regen, en ruim 77% bij zware regen. Tussen verschillende bottlenecks bestaat een grote variatie. Ook gebeuren er twee keer zoveel ongelukken als het regent, en die ontstaan vooral als er een langduriger periode geen regen is gevallen. Naast vertraging kan regenval ook leiden tot ondergelopen tunnels. (zie voorbeeld).
- (4) Schade aan het wegdek treedt op bij meer dan 32°C (smeltend asfalt, “gespat beton” en kapotte bestrating).
- (5) Bruggen haperen al bij een buitentemperatuur van 30-35°C.
- (6) Als gevolg van langdurige droogte kunnen (veen)dijken afschuiven, zoals gebeurde in Wilnis in 2003.
- (7) Bos- en bermbranden kunnen het verkeer op het hoofdwegennet in de droge zandgronden (A1, A12, A28, A50) belemmeren.

²⁷ Enei, R. et al (2011) Vulnerability of transport systems-Main report, Transport sector Vulnerabilities within the research project WEATHER (FP7), Karlsruhe

²⁸ Weather Deliverable 2 (2011)

²⁹ Calvert, S.C., M. Snelder (2013) Influence of rain on motorway road capacity – a data-driven analysis, paper voor ITSC 2013

- (8), (9) Bij windsnelheden meer dan 17 m/s kunnen bomen ontwortelen met als gevolg een kapot wegdek of een belemmerde doorstroming. De meningen over de impact van zijwind en omvallende bomen op transport zijn verdeeld. De effecten zijn relatief kleinschalig en lokaal. Bij extreme wind op meer plekken kan het echter voor problemen op verschillende plekken zorgen. De literatuur en expertsessie noemen dit beiden een belangrijk risico; de stakeholdersessie vond het een minder groot risico.
- (10) Een weg die langere tijd onder water staat verliest sterkte en materiaal degradeert sneller, met schade aan het wegdek als gevolg.
- (11) Als gevolg van overstromingen is het verkeer langdurig belemmerd³⁰. Hoewel er bij het ontwerp van tunnels en aquaducten steeds meer rekening wordt gehouden met de mogelijkheid van overstroming (door bijvoorbeeld de pompcapaciteit aan te passen), is het te verwachten dat bij een overstroming het merendeel van de tunnels en aquaducten niet meer passeerbaar is. Naast deze blokkades zal een deel van de wegen als gevolg van de overstroming niet meer zichtbaar zijn, waardoor ze nog maar beperkt gebruikt kunnen worden. Een halve meter snelstromend water is voldoende om een personenauto mee te sleuren.
- (12) De stabiliteit van een weglichaam na een overstroming is op zijn zwakst als het water weer aan het zakken is. Zolang er nog water aan beide zijden van de weg staat geeft dit water ondersteuning aan de stabiliteit van de weg. Juist dus als zo'n weg voor nood-, hulp- en hersteldiensten weer gebruikt kan gaan worden, kan de stabiliteit in het geding komen.

Het wegennetwerk is voor het leveren van nood- en hulpdiensten vaak van cruciaal belang. Als een calamiteit ook het wegennet onbruikbaar maakt, zijn niet alleen de nood- en hulpdiensten gehinderd, maar kan ook herstel en reparatie minder gemakkelijk plaatsvinden.

Spoorwegen

Uit een Engelse studie uit 2009 blijkt dat 20% van alle vertragingen in het spoor veroorzaakt worden door slechte weersomstandigheden. Een data-analyse in Nederland geeft aan dat 4% van alle verstoringen veroorzaakt worden door weergegerelateerde omstandigheden³¹. Een verstoring hoeft nog geen vertraging te betekenen. Hoge³² temperatuur, extreme buien na langdurige droogte, harde windstoten en water (door overstromingen of door stijgend grondwater) veroorzaken schade. Vooral de combinatie tussen lange periode van droogte waardoor de grond weinig water opneemt, en dan een flinke bui kunnen leiden tot verstoringen op gevoelige locaties.

Wanneer het warmer is dan 30°C neemt het totaal aantal verstoringen toe met 30% ten opzichte van het gemiddelde. Al boven de 23°C treden er aanzienlijk meer verstoringen in het spoornetwerk op. Boven de 26°C zijn ook de treinen vaker veroorzaker van de verstoring. Treinen zijn ook vaker vertraagd bij hogere (niet

³⁰ <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/beleid/management-0/overstromingslexicon/lexicon/uitval-voorzieningen/>

³¹ Xia, Y, J.N. van Ommeren, P. Rietveld, W. Verhagen, Railway infrastructure disturbances and train operator performance: the role of weather, *Transportation Research D*, 18, 97-102

³² Ook bij lage temperatuur ondervindt het spoor veel hinder. Gelet op de te verwachten effecten als gevolg van klimaatverandering nemen we deze extreme omstandigheid niet mee in deze rapportage.

extreme) temperaturen (bijvoorbeeld 26°C vergeleken met 22°C)³³. De oorzaken daarvoor kunnen liggen in het spoor of in de treinen. Onweer kan door inslaande bliksem leiden tot uitval van aandrijving en storingen in ICT rondom het spoor.

Tabel 3. Jaarlijkse kosten van extreem weer op onderdelen, voor totaal Europa³⁴
(kosteninschatting neemt kosteninschatting voor herstel ook mee)

Infrastructuur	Schade per jaar (mln euro) per extreem weertype		
	<i>Zeer zware storm</i>	<i>Zware storm</i>	<i>Overstroming</i>
<i>Railinfrastructuur</i>			
Fysieke schade	0.04	0.03	100
Voor vervoerder	6.77	5.28	91
Voor gebruikers	3.53	2.75	54
	10,34	8,06	245

- (13, 15 en 18a) Als gevolg van regenval en overstromingen kunnen aardenbanen afschuiven of opdrijven. Dit gebeurt als stabiliteit afneemt als gevolg van een zeer grote waterverzadiging van het grondlichaam dan wel een groot verschil van waterhoogte ter weerszijde van de spoorbaan. Spoordijken zijn meestal niet ontworpen op waterkerendheid.
- (14) Goed aangelegd en onderhouden spoor krijgen pas problemen boven 39 °C. Bij afwijkende situaties is ProRail al alert bij temperaturen hoger dan 25°C. Dit kan leiden tot het 'spatten' van spoorstaven, bruggen die niet meer sluiten en wissels die niet meer omgaan. Uit empirisch onderzoek blijkt dat er aanzienlijk meer verstoringen optreden bij temperaturen boven 23 graden Celsius³⁵.
- (14a) Door hoge buitentemperaturen kunnen bovenleidingen breken, schakelaars in kasten niet meer werken, relais in beveiligingssystemen niet meer werken, zeker indien dit zich voordoet in combinatie met het uitvallen van bijvoorbeeld koelingssystemen.
- (16) Bosbranden kunnen juist de doorstroming op spoorlijnen in de droge zandgronden belemmeren. Het gaat dan bijvoorbeeld om treinverbindingen naar Apeldoorn en de Achterhoek en die naar het noorden van Nederland. Bermbranden kunnen in geheel Nederland het spoorverkeer stilleggen.
- (17) Hinder ontstaat door omgevallen bomen, masten en spoorbomen die op de rails vallen, waardoor treinen direct gehinderd worden en door bomen die op de bovenleiding van een spoorlijn vallen waardoor de treinen door gebrek aan elektriciteit niet kunnen rijden. Opwaaiende bovenleidingen kunnen kapotgereden worden door de trein. Zie voorbeeld.

³³ Zie voetnoot 31

³⁴ Weather Deliverable 2 (2011)

³⁵ Zie voetnoot 31

29 oktober 2013 - Niet alleen de stroomvoorziening had veel last van de Sint-Judasstorm, zoals de Britten hem hebben gedoopt. Het treinverkeer is in veel landen ontregeld geraakt door omgevallen bomen die op het spoor en de bovenleiding terecht kwamen.

In grote delen van Denemarken konden geen treinen rijden. Er wordt met man en macht gewerkt aan het opruimen van de bomen en het repareren van de schade, aldus de Deense spoorwegen. Inmiddels rijden op de belangrijkste trajecten weer treinen. Reizigers in Noord-Duitsland moeten nog altijd rekening houden met veel vertragingen en uitval van treinen. De verwachting is dat er zeker tot het middaguur problemen zijn. In Groot-Brittannië is de situatie vergelijkbaar.



Bron: <http://www.nrc.nl/nieuws/2013/10/29/tienduizenden-europeanen-nog-zonder-stroom-na-herfststorm/>
<http://www.nrc.nl/nieuws/2013/10/28/storm-veroorzaakt-miljoenenschade/>

(18 en 13a) Overstromingen en hevige regenval kunnen leiden tot belemmeringen in de dienstregeling. Tunnels en onderdoorgangen lopen onder water; laaggelegen sporen staan onder water en zijn niet bruikbaar. Verder kan als gevolg van de grote hoeveelheid water de stabiliteit van de spoorlichamen afnemen. Door uitval van transformatorstations zal er geen elektriciteit zijn voor tractie en signalering.

Havens en waterwegen

De binnenvaart heeft het meeste last van te lage rivierwaterafvoer (omdat schepen minder zwaar beladen mogen worden) en van te hoge rivierafvoer (omdat dan bijvoorbeeld onderdoorgangen bij bruggen te laag zijn of de vaart wordt stilgelegd). Een te laag waterpeil voor de binnenvaart treedt op bij een Rijnafvoer van minder dan 1250 m³/s, bij lagere afvoeren nemen de kosten scherp toe. Eens per twee jaar is er al een tekort aan water waardoor schade ontstaat. De schade ontstaat voornamelijk door kleinere beladingen, waardoor vaker gevaren moet worden. In een rapportage uit 2006 van DVS wordt al aangegeven welke locaties in de Rijn, welke sluizen en welke onderdoorgangen kwetsbaar zijn³⁶. De schade die ontstaat

³⁶ DVS (2011) Klimaat en Binnenvaart - Een strategische verkenning naar de effecten van klimaatverandering op het gebruik van het Hoofdvaarwegennet

definiëren we als de extra kosten voor de scheepvaart ten opzichte van de gemiddelde kosten per jaar. De langjarige verwachte schade in de huidige situatie ten gevolge van droogte bedraagt 72 miljoen euro. De schade loopt op tot 885 miljoen euro in het jaar met de laagste afvoeren (met een herhalingstijd van 100 jaar).³⁷ Geschatte schade in het extreem droge jaar 2003 bedroeg 91 miljoen euro³⁸. Op basis van statistiek van neerslagtekort en rivieraanvoer is de herhalingstijd bepaald.

Tabel 4. Herhalingstijd van met schadejaren vergelijkbare periode van droogte (KNMI/RIZA 2004)

Droogte vergelijkbaar met schadejaar	Kans van voorkomen in Nederland (herhalingstijd)
1949	17
1959	55
1976	110
2003	12

- (21) Het directe effect van vertragingen omdat schepen minder snel mogen varen is bij het indirecte prijsopdrijvend effect door laag water verwaarloosbaar. Een lage rivierwaterafvoer zorgt er namelijk voor dat er minder lading kan worden meegenomen. Dit heeft een prijsopdrijvend effect, waardoor de kosten voor verladers toenemen. Dit kan voor een schip van gemiddelde omvang oplopen tot 74%, en nog hoger zijn voor grotere schepen.³⁹ Het transport van Nederland naar Duitsland wordt als gevolg van klimaatverandering duurder dan het transport de andere kant op. Deze kosten worden doorberekend aan consumenten. Investerings in klimaatadaptatie om het prijsopdrijvend effect van laagwater te voorkomen, komen dan dus vooral ten gunste van Duitse consumenten. De hogere prijs beïnvloedt de modal split in het goederenvervoer, die kan oplopen tot ruim 5% in het warmste KNMI '06 scenario⁴⁰ ten gunste van weg en spoor. Zie voorbeeld.

³⁷ KNMI/RIZA (2004) Droogtestudie Nederland, aard, ernst en omvang

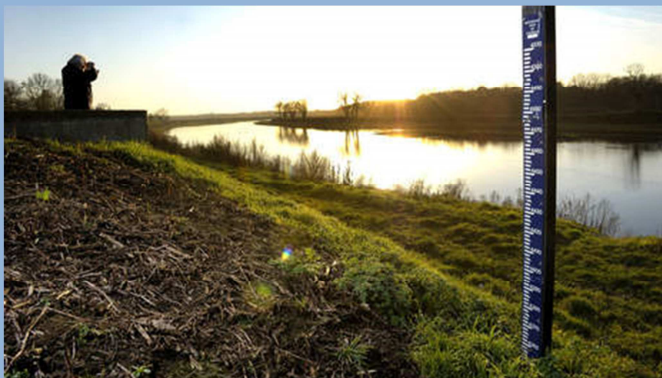
³⁸ Jonkeren et al (2007) Climate Change and inland waterway transport: welfare effects of low water levels on the River Rhine, Journal of Transport Economics and Policy 41

³⁹ Jonkeren et al (2011) Climate change impacts on inland transport systems

⁴⁰ Jonkeren et al (2011) Climate change impacts on inland transport systems

15 oktober 2003 - Historisch dieptepunt waterstand in de Rijn

Bij Lobith werd ongeveer 6,90 meter boven NAP gemeten. Het oude record was 7,16 meter op 17 augustus 2003, gevolgd door 7,22 meter op 13 september 1991. De lage waterstanden in de grote rivieren worden slechts voor een klein deel bepaald door de actuele droogte in Nederland, maar wordt vooral bepaald door de neerslag in de stroomgebieden van de rivieren. De te lage waterstanden maken scheepvaart over de rivieren vrijwel onmogelijk en leidde tot een welvaartsverlies van 91 miljoen euro.



Bron:

http://www.knmi.nl/cms/content/4165/2003_droogte_in_nederland_en_record_lage_waterstanden

<http://www.volkskrant.nl/vk/nl/2686/Binnenland/article/detail/3057480/2011/11/30/Droogste-november-veroorzaakt-laagste-waterstand.dhtml>

- (19, 22, 23) Sommige weersomstandigheden beïnvloeden het gemak waarmee schepen kunnen laden en lossen in de haven en ook kunnen aanmeren. Door extreem hoge waterafvoer, door een (te) laag waterpeil en door harde windstoten wordt dit laden en lossen bemoeilijkt.
- (20) Daar waar personeel geconcentreerd werk moet verrichten, bijvoorbeeld bij de bediening van containerkranen en waar de omstandigheden niet altijd zijn aangepast aan hoge temperaturen (airco), is oververhitting van personeel een risico.

Luchthavens

Voor luchthavens veroorzaken sneeuw en ijs de grootste kostenpost, hetgeen vooral veroorzaakt wordt door vertragingen van vluchten. Vliegvelden waar veel wordt overgestapt lijken daar ook meer last van te hebben dan kleinere vliegvelden of zogenaamde 'point-to-point' vliegvelden. Ook mist en in iets minder mate wind veroorzaken de meeste weersgerelateerde vertragingen. Totale kostenpost in Europa als gevolg van extreem weer (inclusief winterse omstandigheden) wordt door Weather ingeschat op 360 miljoen euro per jaar.

- (24 en 27) Bij een storm met harde wind en onweer wordt tweemaal zo veel schade geleden als bij een overstroming volgens inschattingen van Weather. Deze schade is zelden aan de infrastructuur maar raakt juist de vliegtuigen of de dienstverlening en de gebruikers. En juist dan wordt een hub- en spoke vliegveld als Schiphol hard getroffen.

- (25) Schade aan start- en landingsbanen en het platform treedt op bij meer dan 32°C (smeltend asfalt, "gespat beton").
- (28) Als gevolg van overstromingen is er geen vliegverkeer mogelijk. Afhankelijk van de omvang duurt het lang voor het water weg is en het vliegveld weer bruikbaar is.

Tabel 5. Jaarlijkse kosten van extreem weer op onderdelen, voor totaal Europa⁴¹

Infrastructuur	Schade per jaar (mln euro) per extreem weertype	
	Storm	Overstroming
<i>Luchthaven</i>		
Schade infrastructuur	-	-
Schade vliegtuigen	54	3,2
Voor dienstverleners	34	27
Voor gebruikers (bv vertraging)	38	30
Veiligheid	28	0 ⁴²

Drinkwater- en rioolleidingen

Ondergrondse leidingen worden door de samenstelling en beweging van de bodem als gevolg van klimaatverandering beïnvloed. Het gaat dan zowel om materiaalschade zoals corrosie als constructief falen zoals verbindingen die stuk gaan⁴³. Jaarlijks gaan tussen de vier en vijfduizend leidingen stuk door slijtage of doordat ze geraakt worden tijdens graafwerkzaamheden. De verwachte toename van de schade bij klimaatverandering zal jaarlijks maximaal tien procent ten opzichte van de normale schade aan het leidingnet zijn⁴⁴.

Kwetsbaar onderdeel van de drinkwaterleidingen vormen de pompstations inclusief hun stroomvoorziening. Als de druk in het systeem door een beschadiging aan de leidingen of het uitvallen van elektriciteit wegvalt, kan er geen water meer geleverd worden.⁴⁵ Drinkwaterwinning en pompstations hebben echter vaak onvoldoende capaciteit en zijn onvoldoende met elkaar verbonden om grootschalige uitval onderling op te kunnen vangen.

- (30 en 31) Droogte en hoge temperaturen zorgen voor meer kapotte leidingen. Een toename in schade aan leidingen wordt vaak waargenomen in droge (zomer) periodes⁴⁶. En tegelijkertijd zorgen hoge temperaturen voor een hogere watervraag, die van invloed kan zijn op de waterdruk en plotselinge verschillen daarin⁴⁷. In de meeste gevallen is het leidingnet daarop uitgelegd⁴⁸. Figuur 7 geeft een overzicht van mogelijke klimaateffecten die de belasting of de sterkte van de

⁴¹ Weather Deliverable 2 (2011)

⁴² Afgerond 0 (0,2 miljoen euro per jaar)

⁴³ Deze rapportage beperkt zich tot de effecten op het fysieke netwerk. De gevolgen van klimaatverandering (hoge temperaturen) op de kwaliteit van het drinkwater is meegenomen in effecten van klimaat op de zoetwatervoorziening, een van de onderdelen waaraan volgens de Algemene Rekenkamer voldoende aandacht aan wordt besteed.

⁴⁴ Wols, B. A. and P. Van Thienen (2014). "Modelling the effect of climate change induced soil settling on drinking water distribution pipes." *Computers and Geotechnics* 55: 240-247

⁴⁵ RoyalHaskoningDHV (2012) Analyse Waterrobuuste inrichting voor vitale en kwetsbare functies

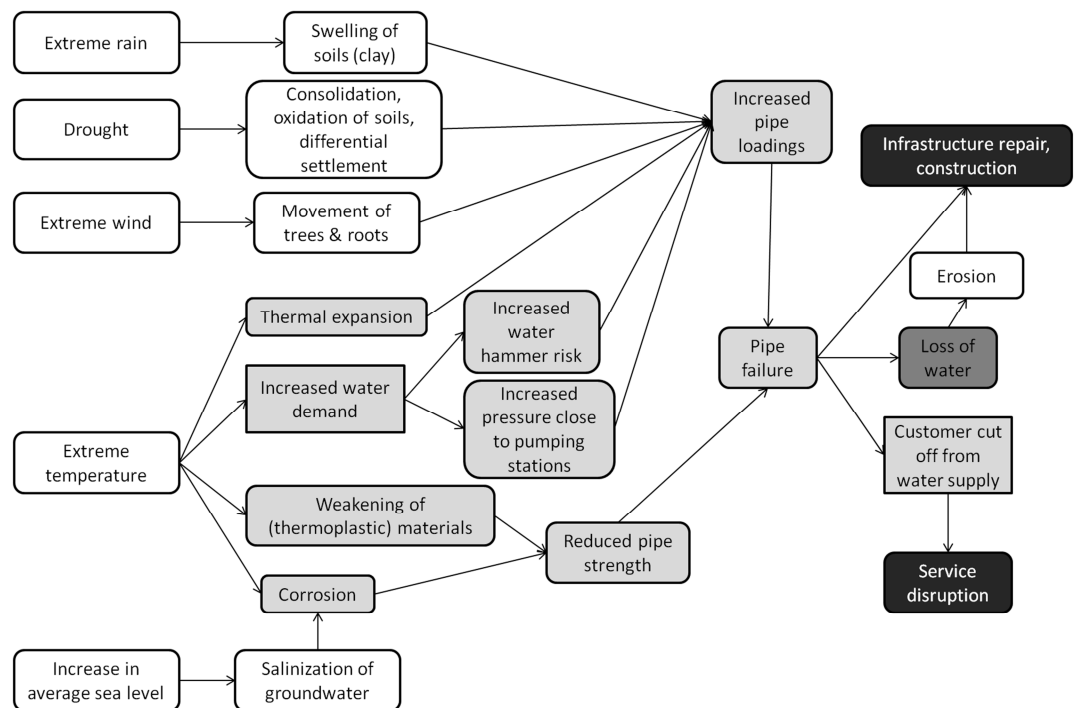
⁴⁶ Gould et al (2011) Seasonal factors influencing the failure of buried water reticulation pipes

⁴⁷ Billings and Jones (2008) Forecasting Urban Water Demand

⁴⁸ Opmerking in review van stakeholder.

leidingen kunnen verzwakken. Economische schade treedt op als gevolg van herstelwerkzaamheden, onderbroken watervoorziening (ook voor sectoren die gebruik maken van drinkwater) en gezondheidsschade.

- (29 en 32) Bomen die in stedelijk gebied vaak dichtbij drinkwater- en andere leidingen staan, zijn na een heftige regenbui en verzadigde grond minder goed geworteld. Als in de zomer of vroege herfst deze bomen ook nog vol in het blad zijn, hoeft het niet heel hard te waaien om toch schade aan de leidingen te veroorzaken. Dit kan de drinkwatervoorziening naar burgers en naar andere sectoren belemmeren, met mogelijk grotere gevolgschade.
- (33) Overstromingen kunnen leiden tot zettingen in de bodem, waardoor er schade aan leidingen ontstaat, en holle leidingen kunnen gaan opdrijven.⁴⁹



Figuur 7: Mogelijke gevolgen van klimaatverandering op (drinkwater)leidingen (samengesteld door Bollinger et al, 2013). Effecten worden weergegeven in de donkere blokken.

3.4 Systeemrisico's

Er zijn ook enkele risico's die niet zozeer rechtstreeks op deze fysieke infrastructures betrekking hebben, maar die aan de orde zijn in relatie tot 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. Daarom noemen we deze risico's systeemrisico's. Voornaamste bron voor de onderstaande beschreven risicofactoren zijn de experts en de stakeholders.

⁴⁹ Wols B.A. (2014) Opdrijven leidingen, presentatie gebiedsstudie Rotterdam – vertrouwelijk, KWR

- Uitval van een modaliteit zorgt voor een verminderde betrouwbaarheid en een hogere prijs van deze modaliteit.. Die kan leiden tot een verschuiving naar andere modaliteiten. In het geval van langdurige droogte kan dit een verschuiving in de modal split van 5% van binnenvaart naar andere modaliteiten betekenen. De zwaardere belasting van die andere modaliteiten kan tot knelpunten leiden.
- Slechtere bereikbaarheid van Nederlandse havens geeft een negatief effect op het transport tussen de havens en het achterland. Dit kan op termijn tot verplaatsing van bedrijven naar het buitenland leiden omdat de score op de vestigingsplaatsfactor 'bereikbaarheid' lager wordt.
- Als de transportinfrastructuur niet meer functioneert, kan ook het personeel voor bijvoorbeeld bediening, onderhoud, herstel, calamiteiten niet naar de plaats van bestemming komen. Tijdig herstel is cruciaal voor het beperken van de gevolgschade, maar dan moet dit wel mogelijk zijn.
- Onderhoud is niet 'sexy', maar vraagt wel een grote inzet van mensen en middelen. Het is ook vaak het onderdeel waarop bezuinigd wordt, niet conform de planning gewerkt wordt en er dus achterstallig onderhoud is. Een goed en tijdig uitgevoerd onderhoudsplan zorgt volgens een van de stakeholders al voor een veel grotere klimaatbestendigheid.
- Actoren in het infrastructuursysteem ervaren drempels bij het nemen van maatregelen, als gevolg van andere tijdshorizon, gevoelde urgentie, ongelijke informatie en cross-sectorale afhankelijkheden.

Dit laatste noemen we de 'governance risico's en worden hieronder nader toegelicht.

Governance-risico's

Ondanks dat de effecten van extreme weersomstandigheden op de fysieke infrastructuur (fysieke schade, verminderd gebruik, vertragingen etc.) vaak het aangrijpingspunt zijn voor maatregelen, constateren stakeholders en experts dat er een aantal cruciale risico's zijn die meer te maken hebben met de governance van het infrastructuursysteem, die het nemen van maatregelen bemoeilijken, en dus in zichzelf een risico vormen. In het kader van de NAS wordt een studie uitgevoerd naar de verantwoordelijkheidsverdeling⁵⁰. In deze paragraaf beschrijven we de drempels bij het nemen van maatregelen, zoals die in diverse gesprekken en bijeenkomsten zijn genoemd.

Deze drempels zijn:

- Gevoel van urgentie
De ene partij voelt een meer directe urgentie dan de ander, dit kan bijvoorbeeld omdat recentelijk door extreem weer de transportinfrastructuur 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 weinig van 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.

⁵⁰ Onderzoek wordt uitgevoerd door Universiteit Utrecht, verwachte oplevering in november 2014

- **Informatie**
Een partij wil zijn afwegingen en beslissingen graag baseren op zo duidelijk en volledig mogelijke informatie. 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 de berekeningen geen rekening houden met de specifieke lokale omstandigheden.
- **Omgaan met onzekerheid**
Het klimaat verandert, maar men weet niet precies hoe. Het fysieke systeem en het gebruik van de transportinfrastructuur veranderen ook, maar ook hier zijn geen vaststaande gegevens voor. De partijen die verantwoordelijk zijn voor de infrastructuur en het gebruik ervan (overheid, privaat, beheerder, eigenaar, etc.) hebben veel moeite om te gaan met onzekerheid. 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 (bijv. over 50 jaar).
- **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 of van de digitale aansturing en de communicatie die ICT mogelijk maakt. Ook komt het voor dat organisaties die geconfronteerd worden met niet-normale bedrijfsomstandigheden, ineens vitaal afhankelijk blijken te zijn van een totaal andere mix aan vitale producten en diensten zoals ICT⁵¹. Zo wordt in de dagelijkse situatie geen gebruik gemaakt van noodcommunicatie. Na een stroomuitval kan de noodcommunicatie ineens vitaal zijn voor een vitale sector.
Wanneer een extreme weersomstandigheid deze sectoren of delen ervan tegelijkertijd onbruikbaar maakt, spreekt men van een common cause failure. Daarnaast kan het ook voorkomen dat een extreme weersomstandigheid die bij de ene sector voor uitval zorgt, door de verbondenheid met andere infrastructuur ook daar negatieve effecten teweegbrengt. In zo'n geval wordt er van cascade-effecten gesproken⁵². Door samen te werken zouden partijen zich beter kunnen voorbereiden op deze negatieve effecten van klimaatveranderingen. Verschillende partijen hebben echter een eigen invalshoek om naar het probleem te kijken, gebruiken hun eigen jargon en hebben weinig kennis van de problemen van andere partijen en willen niet al hun eigen informatie delen met de buitenwereld. Een verkenning van cross-sectorale verbanden vanuit transport met andere vitale sectoren wordt in bijlage D gegeven.
- **Tijdhorizonten**
De tijdspannes waarop een actor zijn dagelijkse activiteiten baseert kan erg uiteenlopen. Een actor die verantwoordelijk is voor de ICT-infrastructuur heeft

⁵¹ Luijff, H.A.M. en Van Oort S. (2014) Klimaatverandering en ICT, actualisatie van de risico's en kansen als gevolg van klimaatverandering, TNO, Delft (Concept).

⁵² Cascade-effecten: gevolg-effecten die optreden doordat een onderdeel van een systeem niet meer functioneert.

bijvoorbeeld een tijdshorizon van maximaal vijf jaar, terwijl een actor die verantwoordelijk is voor weginfrastructuur wel 50 jaar vooruit kijkt. Beide hebben een voordeel en een nadeel, de weginfrastructuurbeheerder probeert voldoende rekening te houden met de verre toekomst, maar onderdelen als tracé, aardenbaan, constructies zijn na aanleg van de infrastructuur weinig flexibel meer. Terwijl de ICT-aanbieder zich niet zo druk maakt om de verre toekomst, maat door zijn relatief korte tijdshorizon wel steeds makkelijk kan 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.

3.5 Grootste risico's in beperkte beschikbaarheid en fysieke schade

De grootste risico's ontstaan door een combinatie van extreme buien met harde windstoten, vooral na periode van droogte, bij overstromingen als gevolg van zeespiegelstijging en hoge rivierwaterafvoer en bij langdurige droogte. Deze omstandigheden zijn in de klimaatscenario's zeker goed denkbaar.

Door extreme buien met harde windstoten is de schade vooral gerelateerd aan beperkte beschikbaarheid van de infrastructuur (wegen, spoorwegen, vaarwegen, luchthaven) of aan gelijktijdig optreden van materiaalschade (leidingen). Door overstromingen als gevolg van zeespiegelstijging en hoge rivierwaterafvoer is de schade vooral gelegen in herstel van langdurig onbruikbare infrastructuur en in het ontbreken van verbindingen. Specifiek voor de binnenvaart zorgt een laag waterpeil door langdurige droogte voor een prijsopdrijvend effect voor het transport.

3.6 Kansen als gevolg van klimaatverandering

De klimaatverandering biedt ook kansen. In deze paragraaf staat een eerste opsomming van door experts en de stakeholders genoemde kansen. Deze hebben we geclusterd naar kansen door vermeden kosten, kansen voor meekoppelen en kansen voor innovatie.

Kansen door vermeden kosten

- De opwarming van de aarde zorgt voor gemiddeld minder strenge winters en leidt daardoor tot lagere onderhoudskosten. Dit betekent dat er minder gestrooid hoeft te worden op de snelweg, maar ook dat de herstelwerkzaamheden van asfalt in de lente minder frequent hoeven plaats te vinden en tijdelijke snelheidsmaatregelen niet nodig zijn. Juist dooi-vorst-dooi periodes zorgen voor grote asfaltschade. De KNMI'14 scenario's geven geen aanwijzing dat deze periodes vaker voor zullen komen. Ook voor andere transportinfrastructuren, zoals wissels in spoorwegen, ijsvorming en ijsafzettingen voor de scheep- respectievelijk luchtvaart is dit gunstig. Dit zal mogelijk tot lagere onderhoudskosten kunnen leiden.
- De negatieve effecten op vervoerscapaciteit door sneeuw, ijs en mist voor zowel wegen, spoorwegen als luchthavens worden minder. Vertragingen op het spoor, geannuleerde vluchten, en ongelukken door zeer dichte mist zullen gemiddeld minder frequent voorkomen. De met de 'verliesuren' gepaard gaande kosten worden lager.

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: de accu's van een elektrische auto kunnen in de toekomst in geval van nood gebruikt worden om een woning van de benodigde energie te voorzien. Dit kan een extra risico zijn in verband met de netbalans. Ook zal de aandacht voor investeringen op basis van levenscycluskosten groter worden, hetgeen een incentive is voor meer duurzame investeringen.
- Steeds slimmere voertuigen en infrastructuur met sensoren kunnen zich gemakkelijk aanpassen aan weersomstandigheden, waardoor bijvoorbeeld de hoeveelheid ongelukken tijdens regenbuien veel minder toeneemt dan we nu denken.
- Gebruik maken van bestaande afsprakenkaders of programma's kan een versnelling mogelijk maken in het realiseren van klimaatadaptatie in de transportinfrastructuur. Voorbeelden van dergelijke kaders of programma's waarbij zou kunnen worden aangesloten zijn het Bestuursakkoord Water, Vervangingsopgave Natte Kunstwerken, vervanging gas- en rioolleidingen. Er zijn kansen voor Nederlandse ingenieurs: de export van expertise, vooroplopen in kennisontwikkeling rondom klimaatadaptatie. Op het gebied van water gebeurt dit al. Door dit als Nederland ook te doen op het thema transport en logistiek (ook een van de topsectoren) kan naast de export van kennis op dit thema, ook de positie van Nederland als transportland verstevigd worden. Klimaatadaptatieve infrastructuur wordt dan een belangrijke vestigingsplaatsfactor.

Kansen voor innovatie

- In het kader van de voorbereidingen op de NAS wordt een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden voor innovatie⁵³. In deze rapportage staat slechts een opsomming van opbrengst van de stakeholderbijeenkomst, en is zeker niet compleet. Schepen met minder diepgang die ook met laag water 24/7 kunnen varen.
- Een betere groenstructuur die goed aansluit bij het wegontwerp zorgt voor meer koeling in bijvoorbeeld de stad. Ruimtelijke ordening en transportinfra kunnen samen optrekken.
- De transportsector kan kansen grijpen door los te breken van het bestaande systeem. Enkele genoemde opties (out-of-the-box) zijn zonnevoertuigen of amfibievoertuigen.
- Naast technische innovaties zijn er ook innovaties mogelijk in sociaal, economisch en bestuurlijk opzicht, zoals bijvoorbeeld een collectieve aanpak van flexibele multimodale infrastructuurketens.
- Deze niet-technische innovaties zijn ook hard nodig om bijvoorbeeld multifunctioneel gebruik van dijken toe te staan. Door er ook een waterleidingbuis in aan te brengen, ontstaan er enerzijds kansen voor het vochtig houden van de dijk, en anderzijds extra risico omdat bij leidingbreuk de dijk kan uitspoelen. ICT-netwerken in de dijk maakt directe monitoring mogelijk. Multifunctioneel gebruik kan dus ook leiden tot een grotere kwetsbaarheid. Dit vergt dus een goede afweging vanuit meer perspectieven.

⁵³ Studie wordt uitgevoerd door Innovation Booster. Verwachte oplevering najaar 2014.

3.7 Grootste risico's in beperkte beschikbaarheid en fysieke schade

De grootste risico's ontstaan door een combinatie van extreme buien met harde windstoten, vooral na periode van droogte, bij overstromingen als gevolg van zeespiegelstijging en hoge rivierwaterafvoer en bij langdurige droogte. Deze omstandigheden zijn in de klimaatscenario's zeker goed denkbaar.

Door extreme buien met harde windstoten is de schade vooral gerelateerd aan beperkte beschikbaarheid van de infrastructuur (wegen, spoorwegen, vaarwegen, luchthaven) of aan gelijktijdig optreden van materiaalschade (leidingen). Door overstromingen als gevolg van zeespiegelstijging en hoge rivierwaterafvoer is de schade vooral gelegen in de kosten van herstel van getroffen infrastructuur en in het ontbreken van verbindingen door langdurig onbruikbare infrastructuur. Specifiek voor de binnenvaart zorgt een laag waterpeil door langdurige droogte voor een prijsopdrijvend effect voor het transport.

4 Risico's en kansen op basis van toekomstige ontwikkelingen

De in hoofdstuk 3 geïdentificeerde kansen en risico's kunnen in de toekomst veranderen. De veranderingen als gevolg van klimaatverandering staan in hoofdstuk drie beschreven. Maatschappelijke en economische veranderingen kunnen ook van invloed zijn op de risico's en kansen. Dit hoofdstuk beschrijft de toekomstige ontwikkelingen vanuit de sector (paragraaf 4.1), de sociaaleconomische ontwikkelingen op basis van de Deltascenario's (paragraaf 4.2) en vanuit zogenoemde 'wild cards'⁵⁴ (paragraaf 4.3). De laatste paragraaf van dit hoofdstuk geeft vervolgens weer wat deze toekomst betekent voor de risico's en kansen in hoofdstuk 3.

4.1 Toekomstige ontwikkelingen in de sector

De transportsector in Nederland staat aan de vooravond van grote veranderingen, die nu al steeds beter zichtbaar worden. Deze veranderingen worden ingegeven door een grote ruimtedruk, het dreigend tekort aan fossiele brandstoffen, en de mogelijkheden die de snelle ontwikkelingen van ICT bieden. Door de experts zijn de volgende ontwikkelingen het meest relevant bevonden in de transportsector.

- Slimme mobiliteit en slimme voertuigen
Ons mobiliteitssysteem staat onder grote druk door de continue groei in vraag naar mobiliteit. Er bestaat behoefte aan innovatieve concepten voor mobiliteit in drukbevolkte gebieden, die steeds vaker gebruik zullen maken van ICT en sensoren. Het gaat dan om innovaties in verkeersmanagement, het ontwerp van het netwerk en het sturen van de vraag naar mobiliteit.

Ontwikkelingen op het gebied van sensoren en ICT zorgen ervoor dat technische innovaties in auto's zich in hoog tempo opvolgen: zelfstandig inparkeren, adaptive cruise control, monitoring alertheid bestuurder. Dit leidt tot steeds slimmere voertuigen en mogelijk tot zelfstandig rijdende auto's. Dit heeft als effect een toename van de wegcapaciteit, doordat ze dichter op elkaar kunnen rijden, openbaar vervoer dat je 24/7 van deur tot deur brengt, meer deelautogebruik en minder parkeerplaatsen.

- Alternatieve brandstoffen
Nederland lijkt gidsland te kunnen worden voor elektrisch vervoer⁵⁵. De beperkte actieradius van auto's met een batterij past goed bij de relatief korte afstanden in het vlakke land. De overheid faciliteert en stimuleert de snelle uitrol van laadpalen, en binnenkort is er ook een netwerk van snellaadpalen. In combinatie met lokaal opgewekte energie (via zonnepanelen) verandert niet alleen het transportsysteem, maar ook het energiesysteem. Auto's op waterstof en extreem zuinige auto's zijn andere ontwikkelingen in relatie tot vermindering van het brandstofverbruik.

⁵⁴ Ook wel 'black swans' of 'unknown unknowns' genoemd

⁵⁵ Ernst & Young (2012) Elektrische mobiliteit in Nederland, volop kansen voor Nederland, visie rapport

- **Internet of things**
In de logistiek en industrie is al jaren sprake van 'tracking and tracing'. Via allerlei soorten barcodes zijn goederen herleidbaar naar hun herkomst en kunnen voorraden gemakkelijk worden aangevuld. Internet of things houdt in dat alledaagse voorwerpen zijn verbonden met het netwerk en gegevens kunnen uitwisselen⁵⁶. Dit betekent dus eigenlijk dat deze voorwerpen zelf computers zijn en via ICT uit zichzelf zaken monitoren en regelen. Bijvoorbeeld de temperatuur van diepgevroren producten meten en aanpassen, luchtvrachtcontainers die zelf communicatie initialiseren⁵⁷, sensoren in bruggen die waarschuwen als die instabiel worden, stoppen als de auto voor je stopt (slimme voertuigen maken bijvoorbeeld ook gebruik van dit principe).
- **Via internet winkelen en werken**
Steeds meer consumenten en bedrijven bestellen hun producten via het internet, en laten deze ook thuis bezorgen. Dit levert veel meer kleine, geografisch verspreide goederenstromen op, in plaats van grote geconsolideerde stromen. Ook zijn steeds meer mensen een of meer dagen vanuit huis of 'ontmoetingsruimte' aan het werk, in plaats van dat ze allemaal tussen negen en vijf op kantoor zitten. Dit levert een veel grotere spreiding van het verkeer op gedurende de dag. Deze consumenten en werknemers zijn wel afhankelijk van ICT-diensten.

4.2 Klimaat en sociaal-economische ontwikkelingen tot 2050 in de Deltascenario's

De veranderingen van het klimaat en de sociaaleconomische en ruimtelijke ontwikkelingen van Nederland zijn 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 2100⁵⁸. Deze Deltascenario's worden geconstrueerd door twee assen loodrecht op elkaar. Eén as beschrijft de mate van klimaatverandering⁵⁹, van matig tot snel; de andere as gaat van sociaaleconomische krimp naar sociaaleconomische groei. De afbeelding van deze assen geeft vier scenario's.

⁵⁶ Gebaseerd op definitie volgens Oxford Dictionaries

⁵⁷ Het project Dyconet, uitgevoerd bij Fraunhofer-IML in Dortmund, heeft betrekking op intelligente luchtvrachtcontainers. Het betreft containers die hun omgeving volgen via sensors, enige intelligentie hebben, en zelf communicatie (met andere containers) initialiseren.

⁵⁸ Deltares/PBL (2013) Deltascenario's 2050 en 2100

⁵⁹ De Deltascenario's gaan nog uit van de KNMI'06 scenario's. Deltascenario's gebaseerd op de nieuwste KNMI scenario's zijn in de maak.



Figuur 8. 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 sector transport en infrastructuur te duiden.

De deltasenario's beschrijven specifiek de gevolgen voor drie relevante onderdelen.

- Drinkwaterverbruik, gebaseerd op persoonlijke hygiëne en aantal huishoudens en efficiency van apparaten.
- Scheepvaart, gebaseerd op containeroverslag in havens.
- Binnenvaart, gebaseerd op transportbehoefte en bevaarbaarheid rivieren.

Voor het gebruik van drinkwater zien we enkele tegengestelde ontwikkelingen. Enerzijds neemt het waterverbruik af door verdere verbetering van de efficiëntie van huishoudelijke apparaten als wasmachines en toiletten. Anderzijds neemt het waterverbruik voor persoonlijke hygiëne (douchen) toe. In de scenario's DRUK en RUST zal de efficiëntie van apparaten verder toenemen. Door de stijgende temperaturen en langere droge periodes noteren we ook een toename van de watervraag voor tuinieren en recreatie rond huis. Persoonlijk watergebruik is overigens sterk cultuurgebonden. De hoge immigratie in DRUK en STOOM brengt een hoger watergebruik mee. Vergeleken met omliggende landen al helemaal ten opzichte van andere welvarende landen als Australië en de Verenigde Staten blijft het drinkwatergebruik in Nederland ook in de toekomst relatief laag.

De goederenoverslag in zeehavens is sterk afhankelijk van de economische groei in West Europa. In STOOM en DRUK neemt die overslag vooral tot 2050 aanzienlijk toe, [...]. In STOOM neemt het totale transportvolume in West Europa het sterkst toe, maar verliezen de Nederlandse zeehavens marktaandeel door verminderde bevaarbaarheid van de rivieren in de vaker voorkomende droge zomers. In RUST en WARM zien we tot 2050 een geringe toename van de goederenoverslag in zeehavens, [...]

De binnenvaart zal vooral in DRUK sterk toenemen, mogelijk zelfs verdubbelen in deze eeuw. Vooral het grote belang van duurzaam transport en een sterke economische groei is daar de oorzaak van. Multimodaal continentaal transport neemt in betekenis toe; dat leidt tot een grote behoefte aan uitbreiding van het Europese vaarwegennet. De transportgroei in STOOM is wat traditioneler. Na 2050 verliest de binnenvaart aandeel aan andere transportmodaliteiten, mede door de verminderde bevaarbaarheid van de rivieren. Daarmee heeft de binnenvaart ook in WARM te kampen; bovendien groeit de economie in dat scenario weinig. In RUST is de afname van de binnenvaart vooral het gevolg van de geringe economische groei. De toegenomen vraag naar duurzaam vervoer leidt in dit scenario echter wel tot een groei van het relatieve aandeel van de binnenvaart ten opzichte van de overige modaliteiten.

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 transportsector is het STOOM scenario het scenario met de grootste risico's. De weersextremen zijn in dit scenario het meest heftig en leiden ook tot de meeste directe en indirecte effecten door de hoge economische groei. Bovendien is bij die hoge economische groei de vraag naar transport het hoogst.

Omdat Schiphol in STOOM een belangrijkere internationale functie heeft, worden de risico's voor de omgeving Schiphol groter. De binnenvaart wordt minder betrouwbaar en de transportkosten hoger, mede door de verminderde bevaarbaarheid van de rivieren. De automobiliteit zal toenemen door verspreide verstedelijking. Gevoeligheid voor wateroverlast in steden neemt toe, met als gevolg meer directe verstoringen van de verkeersafwikkeling, dan wel cascade-effecten door uitval van energie of ICT.

Het scenario met de grootste kansen voor de transport en infrastructuursector is het DRUK scenario. Een geringe klimaatverandering maakt dat Nederlandse achterlandverbindingen aantrekkelijk blijven. En dat Nederland een aantrekkelijk vestigingslocatie blijft voor bedrijven, ook in de logistieke dienstverlening. De goederenoverslag in Amsterdam, Rotterdam en Antwerpen groeit sterk.

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. Dat is ook niet vreemd, omdat het om nauwelijks denkbare risico's gaat met grote gevolgen. 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 trekken⁶⁰. 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.

⁶⁰ Dykstra, E.H. (2006) Katrina in Nederland, storm over Europa, Uitgeverij Banda, Kollum

Deze zogenaamde ‘common cause failure’⁶¹ leidt tot het gelijktijdig wegvallen van verschillende systemen. Het blijkt dat in veel rampenplannen ‘contingency’ plannen bedrijven en overheden ervan uitgaan dat de systemen van anderen wel blijven functioneren, daar niet over nagedacht hebben. 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’, die we hier definiëren als gevolg-effecten die optreden doordat een onderdeel van een systeem niet meer functioneert. Dat hebben we eerder in deze rapportage (zie paragraaf 3.3) al aangegeven vanuit de afhankelijkheden die er bestaan tussen de netwerken. Uit empirisch onderzoek van Luijff⁶² blijkt dat van de ruim 1700 opgetreden gebeurtenissen met disfunctioneren van vitale infrastructuur in 24% van deze gebeurtenissen sprake was van een eerste orde cascade-effect⁶³, 4% een tweede orde cascade, en bij slechts vier gebeurtenissen kan je spreken van een derde orde cascade-effect. Vierde orde cascade-effecten zijn in Europa en internationaal niet gevonden. De afhankelijkheden zijn asymmetrisch: uitval in energie (resp. telecom) netwerken zijn in bijna 10% (resp 5%) veroorzaker van cascade-effecten, transport is in 10% resultante van de cascade.

Tabel 6. Initiërende en resulterende cascade-effecten op basis van empirische data⁶⁴

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

⁶¹ 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)

⁶² Luijff, E. et al (2009) Empirical findings on Critical Infrastructure Dependencies in Europe, in R. Setola and S. Geretshuber (Eds) CRITIS 2008

⁶³ Een eerste orde cascade-effect treedt op als eerste gevolg-effect na het initiërend effect. Een tweede orde cascade-effect is een gevolg-effect van het eerste orde cascade-effect, etc.

⁶⁴ 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

Cascade-effecten worden niet altijd expliciet genoemd in evaluaties door overheden over hun acties in het kader van rampenbestrijding na een calamiteit⁶⁵. Meestal worden ze vanuit het perspectief van één infrastructuur beschreven, dan wel vanuit een enkele bedreiging. Literatuuranalyses door Chappin & Lei (2012)⁶⁶ 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 (langetermijn)effecten op systeemniveau.

Een voorbeeld in dat verband betreft de toename van elektrisch vervoer, een van de ontwikkelingen in het transportsysteem (zie paragraaf 4.1). Elektrische auto's gaan aan het elektriciteitsnetwerk onttrekken, maar er mogelijk ook aan leveren. Goedkopere batterijen zullen deze ontwikkeling aanjagen. Hier zit dus een duidelijke interactie tussen energie en transport, maar weten we nog niet goed hoe dit uitpakt. Mogelijk is dit een kans om het energiesysteem met meer decentrale opwekking en opslag robuuster te maken, of kan dit juist zorgen voor een cumulatie van effecten.

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 transportsector wordt steeds afhankelijker van ICT, onder andere door slimmere voertuigen, slimme mobiliteit en slimme infrastructuur. Het gaat dan zowel om de aansturing van de voertuigen, om het lokaal regelen van de verkeersstromen, om mensen de route te wijzen en om digitaal ontmoeten (waarvoor geen fysieke verplaatsing meer nodig is). Het uitvallen van ICT-infrastructuur leidt mogelijk tot een grote chaos op de weg, uitval van logistieke planning, uitval van de 'papierstroom' bij douane en intermodaal vervoer, in bevoorradingsadministratie-systemen, in kostentoekening en -afrekening.
- De transitie naar elektrisch vervoer maakt de afhankelijkheid van elektriciteit voor wegvervoer groter. Uitval van het elektriciteitsnetwerk heeft grote effecten op het transport over de weg.
- De opkomst van elektrische voertuigen biedt kansen voor energielevering aan huis bij uitval van het energiesysteem. Dan moeten deze accu's ook kunnen opladen zonder het nationale en lokale grid.
- De impact van de risico's 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 vervoer groter is. In het STOOM scenario zijn ook de kansen voor iedere sector het grootst.
- Slimmere voertuigen en infrastructuur kunnen ook tijdig anticiperen op klimaatverandering, dan wel een bijdrage leveren aan de monitoring van de kwetsbaarheid (gladde weg door regen, afname stabiliteit). Deze sensoren zullen dan wel met deze kenmerken ontwikkeld moeten gaan worden.

⁶⁵ idem

⁶⁶ Chappin, E. J. L. & van der Lei, T. (2012), Modeling the adaptation of infrastructures to prevent the effects of climate change – an overview of existing literature, in 'Third International Engineering Systems Symposium – Design and Governance in Engineering Systems – Roots, Trunk, Blossoms'

5 Perspectieven voor beleid, praktijk en wetenschap

Op basis van voorgaande hoofdstukken, en na bestudering van aantal meer beleidsmatige documenten over strategieën zien wij een aantal belangrijke handelingsperspectieven. Deze lijst is niet uitputtend, maar geeft wel weer wat stakeholders en experts genoemd hebben, wat in diverse adviesrapporten staat en wat aansluit bij onze kennisbasis.

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 weeg het in de besluitvorming mee. Dit hoeft niet altijd te betekenen dat gekozen wordt voor een preventieve strategie; het kan ook betekenen dat de schade en herstelkosten geaccepteerd worden als de beste oplossing.
- De vervoerders en verladers zijn veelal privaat. Hoge impact is vooral van invloed op hun bedrijfsvoering. Betrek hen bij de ontwikkeling van de klimaatadaptatiestrategie en streef naar een koppeling tussen hun meer korte horizon met de langere horizon van beleid. Het is waarschijnlijk dat de private sector niet pro-actief is en pas in actie komt als de overheid daarom vraagt.
- Betrek de lokale overheden en trek samen met hun 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.

Bouwstenen voor een adaptatiestrategie

- De risico's met een hoge waarschijnlijkheid en grote economische en of maatschappelijke effecten, zoals hinder aan wegen en schade aan leidingen door regenval moeten preventief worden aangepakt, bijvoorbeeld door wegen minder kwetsbaar te maken.
- Maak een onderscheid in soorten maatregelen voor risico's met een grote waarschijnlijkheid en groot effect en risico's met een groot effect en een kleine waarschijnlijkheid.
- Neem klimaatadaptatie op in de Milieu Effect Rapportage voor nieuwe transportinfrastructuur, hun lange levensduur vraagt om slimme adaptatie.
- Doordat vele civiele constructies (riolen, drinkwaterleidingen, gasleidingen, bruggen, tunnels) tegen het einde van hun levensduur aanzitten, ligt hier een meekoppelkans. Verbind de programma's en projecten die hiervoor worden opgetuigd met het klimaatadaptatiebeleid. Dan kunnen klimaatadaptatiemaatregelen voor bestaande infrastructuur uitgevoerd worden in het onderhoudsprogramma.

- Ontwerp de netwerken in het transportsysteem als een geïntegreerd systeem, zodat gebruikers meer alternatieven hebben. Daardoor ontstaan terugvalopties en wordt het systeem robuuster.
- Pas de huidige ontwerprichtlijnen aan, aan de veranderingen in het klimaat.

Praktijk van de sector

- Neem bij investeringsbeslissingen zo vroeg mogelijk de gevolgen van klimaatverandering mee, en weeg het in de besluitvorming mee. Maak een bewuste keuze: een preventieve strategie of acceptatie van schade en herstelkosten. Het is van belang om de (spoor)wegen minder kwetsbaar te maken voor regenval en hitte
- Deel informatie en kennis met andere stakeholders. Ga voor de eigen 'calamiteitenplannen' na of daarin voldoende rekening wordt gehouden met risico's als gevolg van klimaatverandering. Identificeer in welke mate er afhankelijkheid bestaat van andere infrastructuren en waar welke organisatie een cruciale rol vervult. Zorg voor inzicht in de risico's die de andere stakeholders hebben. Leg de verschillende risicomatrixen naast elkaar, zodat iedere infrastructuureigenaar 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.
- Voer de onderhoudsplannen uit. Heel veel schade ontstaat namelijk door het niet goed of tijdig uitvoeren van het geplande onderhoud. De impact van niet (tijdig) uitvoeren van onderhoud als gevolg van klimaatverandering kan groter worden.

Wetenschap en kennisontwikkeling

- Ontwikkel instrumenten om te beoordelen en te laten zien wat de voordelen zijn van tijdig maatregelen zijn, en wat de kosten zijn van vertraagd handelen.
- Ontwikkel meer kwantitatieve kennis over risico's. Het is onbekend wanneer welke risico's optreden, wanneer een kritieke grens bereikt wordt en hoe klimaatverandering deze grens beïnvloedt.
- Niet alle risico's zijn al voldoende gekwantificeerd. De kans op een extreme weersomstandigheden, de kans dat die omstandigheid ook daadwerkelijk effect heeft op de infrastructuur (kwetsbaarheid) zijn niet voor alle risico's al bekend. De effecten zijn gebaseerd op zowel ex post als ex ante inschattingen, daar waar beschikbaar. Meer inzicht is nodig voor risico's met een hoge kans-hoge gevolg.
- Ontwikkel kennis over hoe de vitale sectoren en subsectoren elkaar onderling beïnvloeden. En zoek uit hoe klimaatverandering doorwerkt, bijvoorbeeld op de modal split.
- Ontwikkel methodieken om adaptatie als 'opbrengst' mee te kunnen nemen in levenscycluskosten. Bij besluitvorming over nieuwe snelwegen wordt in veel gevallen al een ruimtelijke strook 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 te wegen (in de vorm van vermeden kosten later) is bij dergelijke investeringen heel gewoon. Bij aanpassingen voor

klimaatverandering wordt de onzekerheid veel hoger gepercipieerd en lukt het veel minder goed om dergelijke opbrengsten mee te wegen. Naast een politieke afweging ontbreekt het ook aan praktische methodieken.

- Ontwikkel kwetsbaarheidsanalyses die vanuit een systeembenadering 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 infrastructures en voor de beoordeling op systeemniveau van strategieën.
- Ontwikkel een kennisbasis voor adaptatie: het monitoren, projecteren en documenteren van extreme weersomstandigheden, zodat meer kennis en 'ervaring' ontstaat over de effecten van klimaatverandering en over de kritieke punten. Dit moet vanuit meer disciplines gebeuren om steeds beter met de onzekerheden om te gaan.
- Ontwikkel in gezamenlijkheid met klimaatdeskundigen, bouwers en onderhoudsexperts een gedragen beeld over wat een acceptabel risico is. Dit is onder andere van belang voor concessies of langjarige onderhoudscontracten.

Bijlagen

Bijlage A. Deelnemers bijeenkomsten

Deelnemers expertsessie (10 april 2014)

Kees van Muiswinkel (RWS)
Arjan Venmans (Deltares)
Lori Tavasszy (TNO)
Rob van Dorland (KNMI)
Jannette Bessembinder (KNMI)
Gerben Geilenkirchen (PBL)
Arno Bouwman (PBL)

Deelnemers stakeholderbijeenkomst (27 mei 2014)

Herman Kasper Gilissen (Universiteit Utrecht)
Rob van Dorland (KNMI)
Charles Aangenendt (Min IenM)
Hans Eerens (PBL)
Marijke Vonk (PBL)
Arno Bouwman (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)
Ewout Fakkkel (Movares)
Mattijs Hehenkamp (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)
Peter Horst (PWN)
Mathilde Buitendijk (Min VenJ)

Bijlage B. Gebruikte bronnen en referenties

PBL (2013) Aanpassen met beleid; Bouwstenen voor een integrale visie op klimaatadaptatie

Adaptation Options for Climate Change Impacts, ETAC/ACC, 2010

URS (2010) Adapting Energy, Transport and Water Infrastructure to the Long-term Impacts of Climate Change

EC (2013) Adapting infrastructure to climate change; An EU Strategy on adaptation to climate change,

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

FHA (2012) Assessment framework, US department of transportation/Federal Highway Administration

WEF & Accenture (2011) Building Resilience in Supply Chains; An Initiative of the Risk Response Network

Calvert, S.C., M. Snelder (2013) Influence of rain on motorway road capacity – a data-driven analysis, paper voor ITSC 2013

Chappin, E. J. L. & van der Lei, T. (2012), Modeling the adaptation of infrastructures to prevent the effects of climate change – an overview of existing literature, in 'Third International Engineering Systems Symposium – Design and Governance in Engineering Systems – Roots, Trunk, Blossoms'.

FHA (2009) Climate change & extreme weather vulnerability, Climate Change adaptation Strategy and Framework,

US Department of Energy (2012) Climate change and infrastructure, urban systems and vulnerabilities

UCS (2009) Climate Change in the U.S.; The Prohibitive Costs of Inaction

HM Government (2011) Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Changing Climate

DEFRA (2012) UK Climate Change Risk Assessment: Government Report, HM Government, London

Deltares/PBL (2013) Deltascenario's 2050 en 2100, Utrecht/Bilthoven

DVS (2011) Klimaat en Binnenvaart - Een strategische verkenning naar de effecten van klimaatverandering op het gebruik van het Hoofdvaarwegennet, Rijkswaterstaat DVS

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

EEA (2013) Support to transport and environment assessments Adaptation to Climate Change in the Transport Sector, ETC/CCA Technical Paper 03/2013

Enei, R. et al (2011) Vulnerability of transport systems-Main report, Transport sector Vulnerabilities within the research project WEATHER (FP7), Karlsruhe

Ernst & Young (2012) Elektrische mobiliteit in Nederland, volop kansen voor Nederland, visie rapport

Jeekel, H. et al (2012) Adaptation to climate change for CEDR

Jolly, C.A.G. (2013) The impact of flooding on critical infrastructures, afstudeerrapport

Jonkeren et al (2007) Climate Change and inland waterway transport: welfare effects of low water levels on the River Rhine, Journal of Transport Economics and Policy 41

Jonkeren et al (2011) Climate change impacts on inland transport systems Klimaatbestendigheid van de nationale netwerken, PBL, 2009

KNMI (2014): KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective; by Bart van den Hurk, Peter Siegmund, Albert Klein Tank (Eds) et al. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands. www.climatescenarios.nl

KNMI/RIZA (2004) Droogtestudie Nederland, aard, ernst en omvang

Koetse M.J., Rietveld P. (2009) The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. Transportation Research Part D 14(3):205–221.

Krekt, A.J. et al (2011) Climate change and inland waterway transport: impacts on the sector, the Port of Rotterdam and potential solutions, CfK/037/2011, Knowledge for Climate, Utrecht

Bollinger, L.A., C.W.J. Bogmans, E.J.L. Chappin, G.P.J. Dijkema, J.N. Huibregtse, N. Maas, T. Schenk, M. Snelder, P. van Thienen, S. de Wit, B. Wols, L.A. Tavasszy (2013), Climate Adaptation of Infrastructure Networks: Lessons from the Energy, Transport and Water sector, Regional Environmental Change (2013). <http://link.springer.com/article/10.1007/s10113-013-0428-4>

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

Min BZK (2008) Leidraad Methodiek Nationale risicobeoordeling, Ministerie BZK, Den Haag

PWC (2010) Adapting to climate change in the infrastructure sectors,

Raad voor Verkeer en Waterstaat (2009) Witte zwanen, zwarte zwanen, advies voor pro-actieve klimaatadaptatie, Advies van Raad voor VenW, Den Haag

House of Parliament (2010) Resilience of UK infrastructure, Risk management for roads in a Changing climate; RIMAROCC method, SGI et al., 2010

Royal Haskoning DHV (2012) Analyse waterrobuuste inrichting; Voor nieuwbouw en vitale & kwetsbare functies

Thornes, J et al (2012) Climate Change Risk Assessment for the Transport Sector, studie uitgevoerd voor de UK DEFRA CCRA, London, HR Wallingford, Wallingford

TRC (2013) Risk-Based Adaptation Frameworks for Climate Change Planning in the Transportation Sector

Wols, B. A. and P. Van Thienen (2014). "Modelling the effect of climate change induced soil settling on drinking water distribution pipes." Computers and Geotechnics 55: 240-247

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

Xia, Y, J.N. van Ommeren, P. Rietveld, W. Verhagen (2013) Railway infrastructure disturbances and train operator performance: the role of weather, Transportation Research D, 18, 97-102

Bijlage C: Uitgebreide risicotabel

Nummer in tabel	Risico	Klimaat effect	Impact						Waarschijnlijkheid				Kennisbasis / confidence level
			Economisch	Ecologisch	Sociaal	Ernst	Omvang	Indirecte schade / cascade effecten	Huidige situatie		2050 -Meest risicovol scenario		Betrouwbaarheid kennisbasis
	<i>Korte aanduiding risico</i>	<i>Klimaat variabele/ weersextreem</i>	<i>Hoog Midden Laag</i>	<i>Hoog Midden Laag</i>	<i>Hoog Midden Laag</i>	<i>Kwalitatieve beschrijving gevolgen</i>	<i>Kwantitatief. Orde grootte gevolgen: aantal getroffen, duur van overlast / uitval, areaal etc..</i>	<i>Hoe werken gevolgen door binnen en buiten de sector; naar welke sectoren / domeinen?</i>	<i>Hoog Midden Laag Zeer laag</i>	<i>Mogelijke frequentie (.../jaar, 1/.. jaar)</i>	<i>Hoog Midden Laag Zeer laag</i>	<i>Mogelijke frequentie (.../jaar, 1/.. jaar)</i>	<i>Hoog Matig Laag</i>
1	Schade aan wegdek (Waterschade aan weg)	Extreme regenval	Laag	Laag	Laag	Kortdurende stortbuien (100 - 150 mm / 24 uur)	Duur: Weken/maanden, zeer beperkte belemmering wegverkeer	Elke sector die afhankelijk is van wegvervoer ondervindt hinder	Laag	100 - 150 mm Regen per 24 uur, 1/10 jaarvalt er 10 mm/5 min valt. 1 graad: 1 /5 jaar, bij 4 graden: 1/2 jaar.	Midden		Laag
4, 25	Schade aan wegdek en landingsbaan (Vervorming asfalt)	Extreem hoge temperatuur	Laag	Laag	Laag	Smeltend asfalt, gespat beton, meer dan 32 graden	Dagen, zeer beperkte belemmering wegverkeer	Alle sectoren die afhankelijk is van wegvervoer ondervindt hinder	Hoog	1 / Jaar, in stedelijke omgeving vaker	Hoog		
5	Verstoring doorstromig (bruggen sluiten niet goed)	Extreem hoge temperatuur	Laag	Laag	Laag				Hoog	1/Jaar	Hoog		
10	Schade aan wegdek (waterschade aan weg)	Zeespiegelstijging en hogere piekwaterafvoer	Midden	Laag	Laag	Overstroming kan ook leiden tot schade aan de fysieke infrastructuur	Weken / Maanden, langdurig beperkte bereikbaarheid bij onherstelbare schade	Hulpverlening en elke sector die afhankelijk is van wegvervoer	Zeer laag	1/1000 Jaar (of 1/100 jaar voor secundaire keringen) (=conform overstromingskans primaire en secundaire dijken)	Laag		Laag
2, 13a	Beperkte capaciteit verkeer	Extreem regenval	Hoog	Laag	Midden	Hevige regenval verlaagt capaciteit	Uren / Dagen, mocht een cruciale link geraakt	Elke sector die afhankelijk is van wegvervoer ondervindt hinder	Midden	Al bij zeer heftige regen	Hoog		Hoog

Nummer in tabel	Risico	Klimaat effect	Impact					Waarschijnlijkheid				Kennisbasis / confidence level	
			Economisch	Ecologisch	Sociaal	Ernst	Omvang	Indirecte schade / cascade effecten	Huidige situatie		2050 -Meest risicovol scenario	Betrouwbaarheid kennisbasis	
	Korte aanduiding risico	Klimaat variabele/ weersextreem	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
						wegvakken (ca 7%) en meer ongelukken	worden, zijn wel velen gedupeerd.						
11, 18, 28	Beperkte capaciteit wegen, spoorwegen en luchthavens	Zeespiegelstijging en hogere piekwaterafvoer	Hoog	Laag	Hoog	Overstroming maakt wegen etc onbegaanbaar, is al het geval bij meer dan 20 cm water op de weg	Weken / Maanden, langdurig beperkte bereikbaarheid	Elke sector die afhankelijk is van aan - en toevoer van producten ondervindt hinder	Zeer laag	1/1000 Jaar (of 1/100 jaar voor secundaire keringen) (=conform overstromingskans primaire en secundaire dijken)	Laag		Matig
3, 6, 12, 13,15, 18a	Verschuiving grondlichaam weg en spoor	Zeespiegelstijging en hogere piekwaterafvoer, regenval, droogte	Hoog	Laag	Laag		Weken / Maanden	Elke sector die afhankelijk is van aan - en toevoer van producten ondervindt hinder	Zeer laag	1/1000 - 1/10 Jaar	Laag		Matig
8	Hinder voor grote voertuigen door zijwind	Extreme windstoten	Midden	Laag	Laag	Voorals als het op grote schaal plaatsvindt	Uren / Dagen	Elke sector die afhankelijk is van wegvervoer ondervindt hinder	Laag	1/ Jaar	Midden		Matig
9	Versperring van weg door gevallen objecten	Extreme windstoten	Midden	Laag	Laag	Voorals als het op grote schaal plaatsvindt, en alternatieve routes en vervoerswijzen niet meer goed mogelijk zijn.	Uren / Dagen, ook om weer begaanbaar te maken		Laag	1/10 Jaar	Midden		Laag
17	Versperring van rails door	Extreme windstoten	Midden	Laag	Laag	Op meerdere plekken	Uren / Dagen	Elke sector die afhankelijk is van	Laag	1/10 Jaar	Midden		Matig

Nummer in tabel	Risico	Klimaat effect	Impact						Waarschijnlijkheid				Kennisbasis / confidence level
			Economisch	Ecologisch	Sociaal	Ernst	Omvang	Indirecte schade / cascade effecten	Huidige situatie		2050 -Meest risicovol scenario		Betrouwbaarheid kennisbasis
	Korte aanduiding risico	Klimaat variabele/ weers extrem	Hoog Midden Laag	Hoog Midden Laag	Hoog Midden Laag	Kwalitatieve beschrijving gevolgen	Kwantitatief. Orde grootte gevolgen: aantal getroffen en , 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
	gevallen objecten					tegelijk geeft grote overlast ivm doorstraling naar rest van netwerk, je kan er niet omheen		spoor vervoer					
14	Verstoringen spoor (spattende rails, electriciteit valt uit)	Hoge temperatuur	Midden	Laag	Laag	Op meerdere plekken tegelijk geeft grote overlast ivm doorstraling naar rest van netwerk, je kan er niet omheen	Uren / Dagen	Elke sector die afhankelijk is van spoor vervoer	Laag	1/ Jaar	Midden		
21	Te laag waterpeil voor diepgang van vrach schepen	Droogte	Hoog	Laag	Laag	Schepen mogen niet varen, mogen niet te hard varen of mogen minder zwaar beladen zijn	Dagen / Weken	Elke sector die afhankelijk is van binn vaart	Laag Hoog	1/100 Jaar, 885 miljoen schade 1/2 Jaar, 72 miljoen Euro schade	Midden Hoog		Hoog
29, 32	Kapotte leidingen door uprooting en 'waaiende bomen	Extreme buien	Hoog	Laag	Midden	In de herfst als bomen nog te veel blad hebben en eerste stormen opsteken gaan leidingen	Dagen/ Weken (als netwerk kapot gaat op cruciale plekken tegelijkertijd kan dit (door indirecte effecten) tot	Elke sector die afhankelijk is van het drinkwater	Midden	1/Jaar - 1/10 jaar Storm in vroege herfst als bomen nog in het blad staan en grond doorweekt is	Hoog		Laag

Nummer in tabel	Risico	Klimaat effect	Impact					Waarschijnlijkheid				Kennisbasis / confidence level	
			Economisch	Ecologisch	Sociaal	Ernst	Omvang	Indirecte schade / cascade effecten	Huidige situatie		2050 -Meest risicovol scenario	Betrouwbaarheid kennisbasis	
	Korte aanduiding risico	Klimaat variabele/ weersextreem	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
						stuk, ook zonder dat de boom het begeeft	grote schade leiden						
30, 31, 33	Kapotte leidingen door zettingen	Droogte, extreem hoge temperaturen, zeespiegelstijging en hogere piekwaterafvoer	Midden	Laag	Hoog	Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond	Dagen / Weken (als netwerk kapot gaat op cruciale plekken tegelijkertijd kan dit (door indirecte effecten) tot grote schade leiden	Elke sector die afhankelijk is van het drinkwater	Laag	1/100 Jaar	Laag		Laag
7, 16	Hinder door bos- en bermbranden	Droogte	Laag	Laag	Laag	Op meerdere plekken tegelijk geeft grotere overlast	Uren / Dagen	Elke sector die afhankelijk is van transport ondervindt hinder	Laag	1/10 Jaar - 1/100 jaar	Midden		Laag
19, 22, 23	Hinder bij laden en lossen	Extreme regenval, extreme windstoten zeespiegelstijging en hogere piekwaterafvoer	Laag	Laag	Laag	Vertraging	Uren / Dagen	Elke sector die afhankelijk is van vervoer over water	Laag	1/10 Jaar	Laag		Laag

Nummer in tabel	Risico	Klimaat effect	Impact						Waarschijnlijkheid				Kennisbasis / confidence level
			Economisch	Ecologisch	Sociaal	Ernst	Omvang	Indirecte schade / cascade effecten	Huidige situatie		2050 -Meest risicovol scenario		Betrouwbaarheid kennisbasis
	<i>Korte aanduiding risico</i>	<i>Klimaat variabele/ weersextreem</i>	<i>Hoog Midden Laag</i>	<i>Hoog Midden Laag</i>	<i>Hoog Midden Laag</i>	<i>Kwalitatieve beschrijving gevolgen</i>	<i>Kwantitatief. Orde grootte gevolgen: aantal getroffen, duur van overlast / uitval, areaal etc..</i>	<i>Hoe werken gevolgen door binnen en buiten de sector; naar welke sectoren / domeinen?</i>	<i>Hoog Midden Laag Zeer laag</i>	<i>Mogelijke frequentie (.../jaar, 1/.. jaar)</i>	<i>Hoog Midden Laag Zeer laag</i>	<i>Mogelijke frequentie (.../jaar, 1/.. jaar)</i>	<i>Hoog Matig Laag</i>
20	Concentratie personeel	Extreme temperatuur	Laag	Laag	Laag	Lager tempo/vertraging	Dagen		Laag	1/10 Jaar	Midden		Laag
24, 27	Hinder bij opstijgen en landen	Extreme regenval, extreme windstoten	Laag	Laag	Laag	Vertraging	Uren	Elke sector die afhankelijk is van vervoer via de lucht	Laag	1/10 Jaar	Midden		Laag

Bijlage 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 transport op:

ICT

- personeel voor datacenters kan niet komen
- Personeel voor energiefuncties/reparaties kan niet komen

Energie

- Noodgeneratoren kunnen niet bijgevuld worden met diesel
- Personeel voor energiefuncties/reparaties kan niet komen (fysiek of agv Rusttijdenwet)

Gezondheid

- Beperkte capaciteit of afgesloten wegen maakt bereikbaarheid lastig voor ambulancevervoer, en medicijntransport.
- Toegang tot zorg.
- Luchtverontreiniging versterkt (klimaat)effecten gerelateerd aan hittestress en aeroallergenen
- Kans: verbetering luchtkwaliteit door elektrische auto's ,

Natuur

- ondiep rivierwater veroorzaakt schade aan rivierbodembodem door binnenvaartschepen

Visserij

- Gevangen vis kan niet in de havens aankomen
- Diepgevroren vis komt te laat op bestemming aan en is ontdooid
- Afhankelijkheid klimaatrobuste infrastructuur

Land en tuinbouw

- Geogste goederen kunnen niet afgezet worden.
- Geen aanvoer (hulp)grondstoffen

Openbare orde en veiligheid

- Beperkte capaciteit of afgesloten wegen maakt bereikbaarheid lastig voor hulpverlening.

Effecten vanop transport:

ICT

- Just in time systemen van bevoorrading functioneren niet meer > legere schappen
- Route info en verkeersleiding valt uit: geen treinen

Energie

- Zonder brandstof geen vervoer (benzine, diesel, gas, elektriciteit)

Gezondheid

- Veel zieken en het personeel kan niet komen

Natuur

- Bomen die langer bladhoudend zijn veroorzaken kapotte leidingen
- Disruptie transport door bosbranden

Visserij

Land en tuinbouw

- Extra koeling nodig tijdens transport bij extreme hitte?