

ONZEKERE BESLISSINGEN
*DE RISICOBENADERING VOOR ADAPTATIE VAN
INFRASTRUCTUUR AAN KLIMAATVERANDERING*

RAAD VOOR VERKEER EN WATERSTAAT

*Gerrit Baarse
Daniëlle Noordam
Harm Albert Zanting*

30 oktober 2008
C03031/BD8/006/000068



Inhoud

1	Infrastructuur en effecten van klimaatverandering	3
1.1	Infrastructuur is de welvaartmachine	3
1.2	Investeringsbeslissingen over infrastructuur: de huidige praktijk	3
1.3	Risicobenadering biedt perspectief	4
1.4	Leeswijzer	5
2	De risicobenadering voor adaptatie van infrastructuur aan klimaatverandering	6
2.1	De methode in het kort	6
2.2	Toepassingsmogelijkheden	7
2.3	Flexibiliteit en uitbreidingsmogelijkheden	8
3	De methode concreet gemaakt	9
3.1	Klimaatparameters	9
3.2	Blootstellingsituaties	10
3.3	Infrastructuursystemen en –voorzieningen	11
3.4	Gevolgen van klimaatverandering voor infrastructuur	13
4	Toepassingen: drie voorbeelden	15
4.1	Drie typen toepassingsmogelijkheden	15
4.2	Voorbeeld 1: Nationale luchthaven	16
4.3	Voorbeeld 2: Aanleg nieuw tracé transportgerelateerde infrastructuur	17
4.4	Voorbeeld 3: Aanpassing van bestaande infrastructuur	18
4.4.1	Algemeen beeld	18
4.4.2	Elektriciteitscentrale en bijbehorend energietransportsysteem	21
4.4.3	Timing van aanpassing van infrastructuur	22
Bijlage 1	Overzicht van mogelijke effecten	23

HOOFDSTUK 1

Infrastructuur en effecten van klimaatverandering

1.1 INFRASTRUCTUUR IS DE WELVAARTMACHINE

De welvaart en het welzijn liggen op een hoog niveau in Nederland. De machinerie die zorgt dat dat zo blijft noemen we de infrastructuur. Wegen, spoorwegen, waterwerken, energievoorziening en ICT zorgen er voor dat de mensen, goederen en informatie snel kunnen rondgaan. En dat is cruciaal voor het functioneren van de maatschappij.

De huidige infrastructuur is vrij goed afgeregeld op het klimaat in Nederland. We zorgen er voor dat de kans op overstromingen klein is, dat het regenwater wordt afgevoerd, dat vorst en sneeuw de wegen niet al te vaak ontwrichten, dat in droge tijden water wordt aangevoerd, etc. We willen dat de infrastructuur als motor van ons land ook in de toekomst goed blijft functioneren. Ook als het klimaat verandert. Daarom is het belangrijk om bij de beslissingen die over de infrastructuur worden genomen voortaan terdege rekening te houden met de mogelijke verandering van het klimaat.

RAAD VOOR VERKEER EN WATERSTAAT

De Raad voor Verkeer en Waterstaat heeft het thema klimaatverandering opgepakt. In januari 2008 heeft hij, samen met de VROM-raad en de Algemene Energieraad een advies uitgebracht, inhoudend een beleidsstrategie voor CO₂-reductie in het verkeer en vervoer. Dat is de aanpak aan de bron (mitigatie). Maar daarmee redden we het niet. Want ook al lukt het op mondiale schaal de uitstoot van broeikasgassen te beteugelen, dan nog zal er sprake zijn van blijvende effecten van klimaatverandering. Daarop zal Nederland voorbereid moeten zijn. Voor het beleidsterrein van Verkeer en Waterstaat betekent dat het aanpassen (adaptatie) aan klimaatverandering van de natte en droge infrastructuur door strategische investeringen.

1.2 INVESTERINGSBESLISSINGEN OVER INFRASTRUCTUUR: DE HUIDIGE PRAKTIJK

Bij investeringsbeslissingen wordt in de praktijk meestal niet expliciet rekening gehouden met effecten van klimaatverandering. Een belangrijke uitzondering wordt gevonden bij (de primaire) waterkeringen. Die worden al wel ontworpen op de verwachte veranderingen in de waterstanden over de levensduur van de constructie. Echter, met name bij investeringen in bijvoorbeeld wegen, energiecentrales, kabels en leidingen kan veel meer toekomstgericht worden gedacht en besloten. Bij de aanleg van nieuwe wegen wordt vanuit het oogpunt van milieu (geluid en fijn stof) vaak gekozen voor een verdiepte aanleg. Daarbij worden wellicht kansen gemist voor dubbelgebruik van de weg als waterkering, of wordt onvoldoende rekening gehouden met de ontwrichting die optreedt als de weg onder water komt te staan.

In het bovenstaande voorbeeld staat niet voor niets “wellicht kansen worden gemist”. Het is niet zeker. Een alternatieve keuze kan zijn om de kans op een overstroming zeer klein te maken, of een alternatieve route beschikbaar te hebben die wel droog ligt. Het gaat dus om kansen en mogelijke gevolgen. Het gaat om risico’s, niet om zekerheden. Het is noodzakelijk dat in het ontwerp van en beslissingen over infrastructuur veel explicieter rekening gehouden wordt met de extra risico’s die klimaatverandering meebrengt. In dit rapport wordt daarvoor een bruikbare methode aangereikt.

1.3

RISICOBENADERING BIEDT PERSPECTIEF

De risicobenadering biedt goede perspectieven om bij beslissingen over infrastructuur expliciet rekening te houden met de risico’s van klimaatverandering

Bij risico’s is sprake van een (van tevoren bepaalde) reeks van gebeurtenissen die een effect heeft op een (van tevoren bepaalde) object/functie/activiteit. De risicobenadering in meest algemene zin combineert alle schakels uit deze risicoketen. Voorbeeld: een hoogwatergolf treedt op, een waterkering bezwijkt, het gebied stroomt vol, het betreffende gebouw stort in, directe schade aan het gebouw treedt op.

Omdat het vaak complex is om alle schakels uit de reeks te benoemen en te kwantificeren, wordt de risicoketen “opgeknipt” in delen. In theorie kan de risicoketen overal worden opgeknipt. In de “traditionele risicobenadering” wordt vaak gewerkt met een tweedeling: i) de kans dat een bepaalde gebeurtenis zich voordoet en ii) de gevolgen van die gebeurtenis voor een bepaald object/functie/activiteit. $\text{Risico} = \text{kans} \times \text{gevolg}$.

In de “Angelsaksische risicobenadering” wordt de risicoketen opgeknipt in drie delen. Eerst weer de kans dat de gebeurtenis optreedt, vervolgens de kans dat het object wordt blootgesteld aan de bedreiging en de mate waarin dat gebeurt en tot slot de kwetsbaarheid van het object daarvoor (gevolgen).

$\text{Risico} = \text{kans gebeurtenis} \times \text{blootstelling} \times \text{kwetsbaarheid}$.

Het onderscheid tussen de twee benaderingen is niet zo groot en ze laten zich goed combineren.

RISICOBENADERING

We hanteren in onze aanpak een risicobenadering die de traditionele en de Angelsaksische risicobenadering combineert. We onderscheiden expliciet de kans dat een klimaateffect zich voordoet én de kans dat de infrastructuur aan dat klimaateffect wordt blootgesteld én de gevolgen die die blootstelling heeft. In het voorbeeld van overstroming wordt dat: de kans dat de dijkdoorbraak plaats vindt als gevolg van hoogwater, keer de kans dat het gebouw ook daadwerkelijk onder water komt, keer de gevolgen voor dat gebouw. Dit onderscheid geeft veel inzicht in oorzaken en gevolgen en het maakt het mogelijk om keuzes te maken over het aanpakken óf van de oorzaken, óf van de blootstelling, óf van de gevolgen. Bij klimaatverandering verwachten we dat met name de kansen dat een gebeurtenis zich voordoet in de loop van de tijd zullen wijzigen. We verwachten bijvoorbeeld dat de kans op een droge hete zomer zoals 2003 op dit moment ongeveer eens in de 50 jaar voorkomt, maar dat dat over zeg 30 jaar wel eens per twee of drie jaar zal gebeuren.

Met het nemen van besluiten over investeringen en maatregelen in de infrastructuur kan expliciet rekening worden gehouden met die veranderende kansen. De risicobenadering kan dus helpen om de beslissingen over beheer en onderhoud én over nieuwe investeringen goed te nemen. De aanpak kan echter ook worden gebruikt om te analyseren welke infrastructuur kwetsbaar is voor klimaatverandering. Met andere woorden, de klimaatbestendigheid kan worden getoetst.

1.4

LEESWIJZER

In het vervolg van dit verhaal zullen we eerst de methode die we voorstellen op hoofdlijnen uiteenzetten (Hoofdstuk 2 en 3). We zien daarbij een drietal typen toepassingen, die we verder uitwerken. Om te illustreren hoe de aanpak in de praktijk zou kunnen werken geven we een aantal kenmerkende voorbeelden van toepassingen (Hoofdstuk 4).

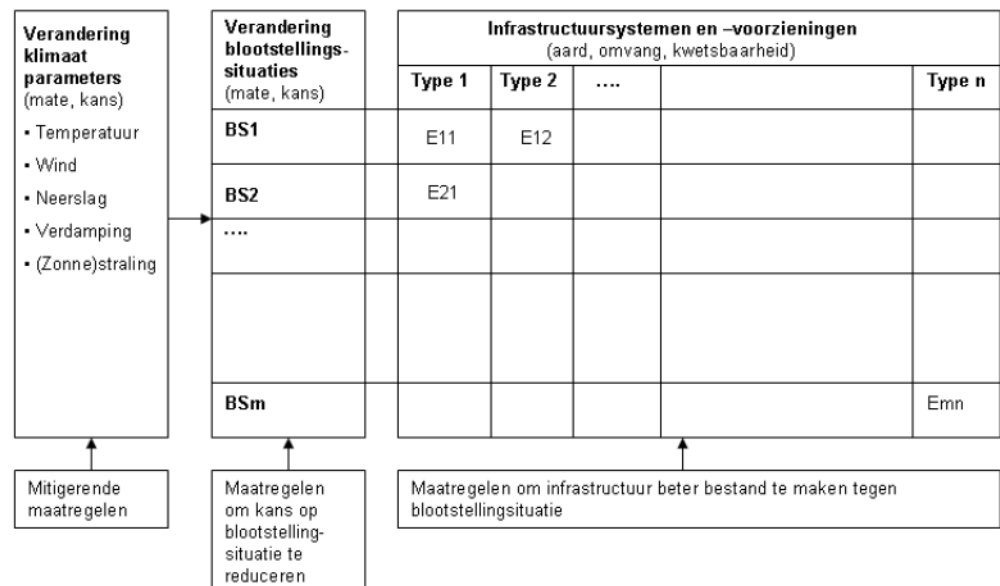
HOOFDSTUK 2 De risicobenadering voor adaptatie van infrastructuur aan klimaatverandering

2.1 DE METHODE IN HET KORT

Het klimaat is aan het veranderen. Dat heeft invloed op de temperatuur, de windsnelheid, de neerslag, de verdamping en de (zonne)straling. Ook de blootstelling zal in de loop van de tijd veranderen. Om met de risicobenadering te kunnen werken hebben we de keten van oorzaak tot gevolg versimpeld en geschematiseerd. In Figuur 2.1 is dat weergegeven. Hierbij zijn de volgende begrippen van belang (toelichting in Hoofdstuk 3):

- Klimaatparameters
- Blootstellingsituaties
- Infrastructuursystemen en –voorzieningen
- Gevolgen/ effecten van klimaatverandering voor infrastructuur

Figuur 2.1 Methodiek



Er zijn twee manieren om tegen de klimaatverandering aan te kijken. Je kan zeggen dat de kans op een bepaalde extreme gebeurtenis toeneemt. Maar, je kan ook zeggen dat een gebeurtenis die met een bepaalde kans voorkomt heftiger zal worden. Dit zijn feitelijk twee verschillende beschrijvingen van hetzelfde fenomeen. We kiezen er vooralsnog voor om de veranderingen uit te drukken in veranderende kansen.

Ook de blootstellingsituaties zullen veranderen. Soms als direct gevolg van de klimaatverandering. Bijvoorbeeld: door de toenemende kans op hoge temperaturen neemt de kans op blootstelling van een wegdek aan hoge temperaturen toe. Maar ook kan de blootstelling veranderen door directe ingrepen van de mens. Bijvoorbeeld, in het geval van de weg, doordat bij een verbreding de bomen langs de weg worden gekapt. In Figuur 2.1 zijn de verschillende blootstellingsituaties genummerd vanaf BS1 en verder.

Uit de studie blijkt dat augustusdagen in 2080 mogelijk 1,4 graad warmer worden. De temperatuur van het warme extreem, dat eens in de 10 jaar optreedt, loopt echter twee keer zo hard op. Dit komt door een grotere kans op uitdroging van de bodem waardoor de verkoelende invloed van de verdamping wegvalt.

Blootstellingsituaties kunnen gelden voor verschillende typen infrastructuur. In het voorbeeld is het type infrastructuur de weg. Andere denkbare typen zijn bijvoorbeeld een spoorweg, een energievoorziening, of een drinkwatervoorziening. De typen infrastructuur zijn in Figuur 2.1 aangeduid met type 1 t/m type n. De veranderingen in de (kansen op de) blootstellingsituaties hebben effect op de infrastructuurtypen. Deze effecten zijn in Figuur 2.1 weergegeven als E11 t/m Emn (het wegdek kan smelten als gevolg van de blootstelling aan hoge temperaturen).

Door op deze manier de invloed van klimaatfactoren op de infrastructuur te analyseren krijgen we inzicht in de mogelijkheden die er zijn om slim te investeren (drie typen maatregelen om risico's te reduceren in Figuur 2.1). Soms is het effectief om de infrastructuur zelf aan te passen, zodat de gevolgen minder groot zijn. Bijvoorbeeld een ander type asfalt gebruiken dat minder snel smelt. Soms is het beter om de maatregelen te richten op het verminderen van de kans op de blootstelling. Bijvoorbeeld door bomen langs de weg te planten, zodat er schaduw op de weg is, en de temperatuur van het asfalt minder hoog wordt. En je kan ook denken dat het effectiever is om het optreden van de klimaatverandering te beperken; de mitigerende maatregel. Overigens laten we deze laatste categorie in dit verhaal buiten beschouwing.

2.2

TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN

We zijn de ontwikkeling van deze aanpak gestart met het oog op het zo verantwoord mogelijk nemen van beslissingen over infrastructuur. Er is een methode ontstaan die op verschillende manieren kan worden gebruikt.

In het geval van plannen voor het aanleggen van nieuwe infrastructuur wordt de methode gebruikt om verschillende alternatieven te beoordelen op klimaatbestendigheid. En daarmee op de robuustheid van de investeringen in een onzekere toekomst. Dat kan op allerlei niveaus gebeuren. Het kan bijvoorbeeld gaan om alternatieve tracé's van een weg. Of, als het tracé al gekozen is, om alternatieve ontwerpen (hoog, laag, tunnels, of viaducten). De methode die gebruikt wordt voor het afwegen, is zoals gebruikelijk ook beschikbaar als hulpmiddel bij het optimaliseren van de ontwerpen.

Veel vaker zal het voorkomen dat er aan bestaande infrastructuur investeringen worden gedaan. In het kader van beheer en onderhoud, of ten behoeve van een aanpassing of uitbreiding. Het aantal vrijheidsgraden en keuzemogelijkheden is dan in de regel minder groot. De functie en locatie van het object liggen meestal vast.

Met behulp van de methode wordt dan de optimale (in het licht van klimaatverandering) aanpak gekozen. Ook de planning van de investering in de tijd wordt dan belangrijk. Kan ik beter nu een wat grotere investering doen en daarmee gesteld staan voor mogelijke klimaatverandering, of kan ik beter afwachten en later investeren als beter bekend is wat de klimaatverandering zal zijn?

Een aanvullende toepassing neemt niet het infraobject als uitgangspunt, maar de klimaatverandering. Via de methode kan systematisch worden uitgezocht in welke mate de verschillende infraobjecten op korte of lange termijn "bedreigd" worden door een verwachte verandering in de klimaatcondities. Op grond van zo'n analyse volgen mogelijk besluiten om investeringen in de tijd naar voren te halen of juist nog even uit te stellen.

Hoofdstuk 4 bevat voorbeelden van toepassingen.

2.3

FLEXIBILITEIT EN UITBREIDINGSMOGELIJKHEDEN

Naast de hiervoor aangestipte toepassingsmogelijkheden, willen we benadrukken dat deze methode bredere gebruikspotenties heeft. We kunnen bijvoorbeeld totaalbeelden ontwikkelen die iets zeggen over alle klimaatgerelateerde risico's van een infrastructuurobject. We kunnen ook een totaalbeeld ontwikkelen van alle risico's die een bepaalde klimaatverandering met zich meebrengt. Voor bepaalde typen blootstellingen (bijv. overstromingen) kan dit een basis vormen voor de te maken, meer integrale afwegingen (in dit geval betreffende de overstromingsveiligheid).

Doordat de opzet van deze methode van algemene aard is, leent hij zich ervoor om een breder spectrum van risico's in een gemeenschappelijke context te bekijken en te beoordelen (denk aan risico's in de sfeer van bepaalde ongevallen, branden, explosies, en mogelijk ook aanslagen of andere terroristische activiteiten).

HOOFDSTUK 3 De methode concreet gemaakt

In theorie kan de risicobenadering worden benut om verantwoorde afwegingen te maken met het oog op klimaatverandering. Die aanpak hebben we hiervoor beschreven. Maar is het ook praktisch uitvoerbaar? Kan de theorie worden voorzien van handen en voeten?

In het vervolg voorzien we de kernelementen van ons voorstel van een praktische invulling. Zo komen we er achter dat het inderdaad doenlijk is. Daarna passen we de methode toe op een drietal praktijkvoorbeelden om de bruikbaarheid verder te illustreren. Ter herinnering, de kernelementen van de methode zijn:

- Inventarisatie klimaatparameters (3.1)
- Inventarisatie blootstellingsituaties (3.2)
- Inventarisatie infrastructuursystemen en –voorzieningen (3.3)
- Inventarisatie van gevolgen van klimaatverandering voor infrastructuur (3.4)

3.1

KLIMAATPARAMETERS

Het klimaat is aan het veranderen. De meeste te verwachten veranderingen van klimaatparameters kunnen belangrijk zijn voor de infrastructuur. Zoals eerder besproken nemen we de verandering van de kans op een gebeurtenis als maat in de risicobenadering. Heel basaal gaat het om de opwarming van de aarde. Maar dat is geen praktische klimaatparameter, omdat het pad naar de invloed op infrastructuur te lang is. De opwarming heeft een verandering van een aantal primaire klimaatparameters tot gevolg:

- Temperatuur: T
- Wind: W
- Neerslag (precipitatie): P
- Verdamping (evapotranspiratie): E
- Zonnestraling: UV

Sommige van deze veranderingen hebben een directe invloed op infraobjecten, maar er zijn ook indirecte invloeden. We hebben het over verstandige besluiten over infrastructuur, dus veranderingen die niet in de directe invloedssfeer van de infrastructuur liggen kunnen we beter bij de klimaatverandering rekenen. Bijvoorbeeld, de toename van de neerslag zorgt voor hogere rivierafvoeren en dus tot hogere rivierwaterstanden, waardoor de kans op een overstroming kan toenemen.

We stellen daarom voor om de volgende gebeurtenissen ook als klimaatparameters te beschouwen:

- extreem hoog water rivieren,
- extreem laag water rivieren,
- extreem hoog water zee.

3.2

BLOOTSTELLINGSITUATIES

Een centrale plek in onze benadering heeft het begrip blootstellingsituatie.

BLOOTSTELLINGSITUATIE

Een blootstellingsituatie is een specifieke set van klimaatgerelateerde omstandigheden in de tijd, die bepalend is voor de mogelijke effecten van (verandering) van klimaatinvloeden die door infrastructuursystemen of objecten worden ondervonden (in de zin van instandhouding of functioneren). Dat is een lange definitie. De essentie is dat de verandering van de te beschouwen blootstellingsituaties wordt veroorzaakt door klimaatverandering. De verandering wordt uitgedrukt in de verandering van de kans.

In Figuur 2.1 zijn de verschillende blootstellingsituaties aangeduid met BS1 t/m BS_m. Er zijn heel veel verschillende blootstellingsituaties te bedenken. In onze aanpak hebben we het beperkt tot een overzichtelijk aantal. Alleen de blootstellingsituaties die echt relevant zijn voor infrabeslissingen zijn genoemd. We hanteren de volgende hoofddeling:

- Directe klimaatinvloeden – extreem: de min of meer meest extreme typen klimaatcondities die zich (in het algemeen gedurende vrij korte perioden) kunnen voordoen.
- Directe klimaatinvloeden – periodiek: kenmerkende klimaatcondities die zich over wat langere perioden kunnen voordoen.
- Waterstanden en stromingen: situaties betreffende de optredende waterstanden en stromingen in het grond- en oppervlaktewatersysteem als gevolg van klimaatinvloeden. Het bijzondere is dat deze omstandigheden via het beheer of de aanpassing van het waterhuishoudkundig systeem kunnen worden beheerst. Voor de uitwerking van onze aanpak hebben we ons beperkt tot een aantal omstandigheden die (doorgaans) niet direct beheersbaar zijn.
- Wateroverlast en overstromingen: verschillende vormen van wateroverlast en overstromingen die kunnen optreden door (verandering) van klimaatinvloeden en waaraan bestaande infrastructuursystemen en objecten kunnen worden blootgesteld. Een aantal van deze situaties heeft betrekking op het bezwijken van waterkeringen, hetgeen door het treffen van maatregelen kan worden voorkomen. De afwegingen betreffende het functioneren en de mogelijke aanpassing van waterkeringen worden hierbij dus niet expliciet beschouwd.

Tabel 3.1 bevat een overzicht van mogelijke blootstellingsituaties.

Tabel 3.1 Overzicht van blootstellingsituaties

Blootstelling		Relatie met klimaatparameters	
Code	Omschrijving	Primaire parameters	Afgeleide parameters
Directe klimaatinvloeden – extreem			
BS1	Extreme regenval	P	
BS2	Extreme hagelbui	P, T	
BS3	Extreme sneeuwval/ijzel	P, T	
BS4	Extreem hoge temperaturen	T	
BS5	Extreem lage temperaturen	T	
BS6	Extreme windsnelheden (stormen/orkanen)	W	
BS7	Extreme blikseminslagen	T, W	
Directe klimaatinvloeden – periodiek			
BS8	Vorstperioden (in relatie tot ijsvormings- en gladheidscondities)	P, T	
BS9	Zonnige, warme perioden	UV, T	
BS10	Natte perioden	P	
BS11	Perioden met veel wind	W	
BS12	Perioden met mist	P, W	
Waterstanden en stromingen			
BS13	Lage grondwaterstand gebieden / verdroging gebieden	P, E	Neerslagtekort / droogte
BS14	Lage grondwaterstand dijklichamen / uitdroging dijklichamen	P, E	Neerslagtekort / droogte
BS15	Hoge (rivier)waterstanden en stroomsnelheden	P, E	Rivierafvoeren
BS16	Lage rivierwaterstanden	P, E	Rivierafvoeren
Wateroverlast en overstromingen			
BS17	Locale wateroverlast	P	
BS18	Interne overstroming	P	Locale afvoeren Locale waterstanden
BS19	Bezwijken secundaire keringen zoet	P	Locale afvoeren Locale waterstanden
BS20	Bezwijken primaire keringen zoet	P	Rivierafvoeren Rivierwaterstanden
BS21	Bezwijken primaire keringen zout	T, W	Zeespiegelstijging Zeewaterstanden Golven

3.3

INFRASTRUCTUURSYSTEMEN EN -VOORZIENINGEN

Ook voor wat betreft de te beschouwen infrastructuur hebben we een praktische selectie gemaakt. We hebben een indeling gemaakt van verschillende infrastructuursystemen en voorzieningen en verschillende objecttypen die daarbinnen kunnen worden beschouwd. Essentieel zijn daarbij de eigenschappen van de verschillende systemen en objecten in de zin van aard, omvang en kwetsbaarheid. In Figuur 2.1 zijn de verschillende infrastructuurtypen aangeduid met type 1 t/m type n. Tabel 3.2 en Tabel 3.3 bevatten een overzicht van de verschillende typen infrastructuur.

Tabel 3.2 Overzicht van typen droge infrastructuur

Droge infrastructuur	
D1. Weginfrastructuur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Wegensysteem: verharding, fundering en weglichamen. 2. Kunstwerken, zoals: bruggen, tunnels, viaducten. 3. Verkeersvoorzieningen, zoals: verlichting, geluidsschermen, geleiderails, portalen, bebording en apparatuur, verkeersmanagement (verkeerslichten, signaalgevers, camera's, monitoring en detectiestations).
D2. Railinfrastructuur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Railsysteem: rails, wissels, rangeervoorzieningen. 2. Kunstwerken (bruggen, tunnels, viaducten) en stations 3. Systemen voor energievoorziening en signalering: boven- en onderleidingen, leidingen en apparatuur voor signalering, communicatie en verkeerbegeleiding.
D3. Luchtvaart	<ol style="list-style-type: none"> 1. Start- en landingsbanen. 2. Gebouwen/terminals en verdere voorzieningen.
D4. Energievoorzieningen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elektriciteitstransport- en distributiesysteem: hoofdspanningsleidingen en transformatorstations. 2. Olie en gas transport- en distributiesysteem: gas- en olieleidingen; tussenstations; opslagvoorzieningen en tankstations. 3. Electriciteitsproductie units (centrales, windturbines, alternatieve vormen). 4. Olie- en gasproductie units (pompinstallaties, boorplatforms).
D5. Communicatie en datatransport	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ondergrondse transport- en distributiesystemen: kabelnetwerken. 2. Bovengrondse transport- en distributiesystemen: leidingssystemen en zendmasten. 3. Dataopslag en informatieproductie: computercentra, zendstations, studio's.
D6. Afvalverwerking	<ol style="list-style-type: none"> 1. Afvalverwerkings- en vuilverbrandingsinstallaties.

Tabel 3.3 Overzicht van typen natte infrastructuur

Natte infrastructuur	
N1. Scheepvaartinfrastructuur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vaarwegen (rivieren, kanalen) en voorzieningen. 2. Kunstwerken (sluizen, stuwen, beweegbare bruggen, aquaducten). 3. Havens, haventerreinen en havenvoorzieningen.
N2. Oppervlaktewatersysteem (aanvoer, afvoer, opslag en distributie)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Open leidingen (rivieren en kanalen) en bergingen (plassen en meren), inclusief oevers, dijken en kaden. 2. Kunstwerken: inlaat- en uitslagwerken (gemalen, stroomsluizen); waterverdeling (stuwen en regelwerken); reservoirs.
N3. Drinkwatervoorziening	<ol style="list-style-type: none"> 1. Installaties voor winning en opslag (grondstof voor drinkwaterproductie). 2. Installaties voor drinkwaterproductie (zuiveringsinstallaties, reinwaterkelders). 3. Drinkwater transport- en distributienetwerk.
N4. Riolering en afvalwater-behandeling	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rioleringsysteem verzameling en afvoer/overstort hemelwater. 2. Rioleringsysteem huishoudelijk en industrieel afvalwater. 3. Afvalwaterzuiveringsinstallaties.

3.4

GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING VOOR INFRASTRUCTUUR

De essentie van de aanpak is dat de effecten worden vastgesteld van de (verandering van de) blootstellingsituaties op de infrastructuurtypen. Deze effecten (in Figuur 2.1 weergegeven als E11 t/m Emn) moeten worden opgevat als een verandering van risico's. Dus de verandering van het product van kans en impact, waarin ook de verandering van de blootstelling is verdisconteerd.

In theorie kan elke blootstelling effecten hebben voor elk type infrastructuur. Sommige combinaties van blootstelling en type infrastructuur zullen vaker voor komen dan andere. Voor bepaalde onderdelen van de natte infrastructuur is er sprake van een bijzondere situatie. De infrastructuur van het waterhuishoudkundig systeem (wateraanvoer, waterafvoer, opslag en distributie van oppervlaktewater) wordt natuurlijk direct beïnvloed door de klimaatverandering. Echter, het binnen acceptabele grenzen houden van die veranderingen is juist de primaire doelstelling van het systeem. Dit geldt ook voor de waterkeringen. Er is voor deze typen infrastructuur dus sprake van een 'dubbelrol'. Om de zaak niet te compliceren hebben we als uitgangspunt genomen dat de mogelijke maatregelen gericht op het functioneren van het waterhuishoudkundig systeem en de waterkeringen zelf, niet worden beschouwd.

Tabel 3.4 bevat (een onvolledig overzicht van) mogelijke effecten van de verschillende blootstellingsituaties. Een gegroepeerd overzicht van de verschillende effecten, onderscheiden naar verschillende schadetypen, is opgenomen in Bijlage 1.

Tabel 3.4 Overzicht
mogelijke soorten effecten

Blootstelling	Mogelijke effecten
Directe klimaatinvloeden – extreem	
BS1: extreme regenval	Beperkingen functioneren
BS2: extreme hagelbui	Schade aan voorzieningen/apparatuur/gebouwen
	Beperkingen functioneren door gladheidscondities
BS3: extreme sneeuwval/ijzel	Beperkingen functioneren door gladheidscondities
	Schade aan bovengrondse leidingsystemen, gebouwen en installaties
	Beperkingen functioneren door storingen
BS4: extreem hoge temperaturen	Schade aan infrastructuur (zoals: smelten/verweken van asfalt; vervormingen van railinfrastructuur en andere (stalen) constructies)
	Storingen aan infrastructuur, installaties door uitzetting (klemmen van bewegende delen, spoorspattingen)
BS5: extreem lage temperaturen	Schade aan gesloten watertransportsystemen (bevrozing)
	Storingen aan installaties
BS6: extreme windsnelheden	Stormschade infrastructurele voorzieningen (zoals: instorting of omwaaien constructies; losrakende onderdelen; breuk kabels/bovenleidingen; getroffen worden door omvallende bomen).
	Downtime transportsystemen/installaties door stormen
	Veiligheidsrisico's weggebruikers bij extreme windsnelheden en perioden met harde wind
BS7: extreme blikseminslagen	Schade constructies en installaties
	Storingen systemen en installaties

Directe klimaatinvloeden – periodiek	
BS8: vorstperioden (in relatie tot ijsvormings- en gladheidscondities)	Schade, c.q. extra onderhoudsbehoefte door vorst, gladheidsbestrijding (effecten van zout), ijsvorming, ijsafzetting en ijsgang; opvriezen en opdooi
	Downtime windturbines en vaarwegen door ijsvorming
BS9: zonnige, warme perioden	Schade aan, c.q. extra onderhoudsbehoefte door toename UV-straling (kunststoffen)
	Gezondheidsrisico's door toename kans bacteriële besmetting drinkwater (legionella)
	Gunstige effecten op energieproductie door zonne-energie
BS10: natte perioden	Schade, c.q. extra onderhoudsbehoefte (conservering) door vochtcondities (corrosie, houtrot, schimmelvorming)
BS11: perioden met veel wind	Downtime transportsystemen/installaties
	Veiligheidsrisico's weggebruikers
	Gunstige effecten op energieproductie door windenergie
BS12: perioden met mist	Beperkingen functioneren weg/scheepvaart transportsysteem
	Downtime luchthavens
	Veiligheidsrisico's (gebruikers) transportsystemen door mistcondities
Waterstanden en stromingen	
BS13: lage grondwaterstand gebieden / verdroging gebieden	Schade aan rivierdijken door verweking en stabiliteitsverlies
	Schade aan infrastructuur en funderingen door klink/verzakkingen; aantasting (houten) paalfunderingen; optreden 'negatieve' kleef
	Beperkingen functioneren door koelwaterproblemen
BS14: lage grondwaterstand dijklichamen / uitdroging dijklichamen	Schade aan dijklichamen en stabiliteitsverlies
BS15: hoge (rivier)waterstanden en stroomsnelheden	Downtime scheepvaarttransportsysteem
BS16: lage rivierwaterstanden	Downtime scheepvaarttransportsysteem
	Beperkingen inlaatcapaciteiten
Wateroverlast en overstromingen	
BS17: lokale wateroverlast	Schade aan infrastructurele voorzieningen
	Beperking functioneren of storingen
BS18: interne overstroming	Schade aan infrastructurele voorzieningen
	Beperking functioneren of storingen
BS19: bezwijken secundaire keringen zoet	Schade aan infrastructurele voorzieningen
BS20: bezwijken primaire keringen zoet	Schade aan infrastructurele voorzieningen
	(Extra) veiligheidsrisico's door falen transport-, energie- en communicatiesystemen tijdens het optreden van calamiteiten (door niet kunnen evacueren; vast komen te zitten in lage gebieden; beperkingen communicatie, hulpverlening en aanvoer hulpgoederen getroffen gebieden)
	Besmettingsrisico's door falen en/of contaminatie drinkwatervoorzieningsystemen
BS21: bezwijken primaire keringen zout	Als BS20

HOOFDSTUK

4 Toepassingen: drie voorbeelden

4.1

DRIE TYPEN TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN

In het voorgaande werd de methode al ingevuld met echte infra en echte gevolgen, maar het bleef nog theoretisch. In het volgende geven we illustraties van de mogelijke toepassing van de ontwikkelde methode. We verdelen de illustraties over de drie typen toepassingen.

1. Aanvullende beoordeling van alternatieven m.b.t. aanleg van infrastructuur uit oogpunt van klimaatverandering. Het voorbeeld dat we uitwerken is de locatiekeuze voor de aanleg en/of uitbreiding van de nationale luchthaven
2. Identificatie van additionele alternatieven voor aanleg infrastructuur ter beperking van mogelijke effecten klimaatverandering. Het voorbeeld dat we uitwerken gaat over alternatieven voor de aanleg van een nieuw tracé voor transportgerelateerde infrastructuur.
3. Identificatie en beoordeling van mogelijke maatregelen om effecten van klimaatverandering op bestaande infrastructuur te beperken. Het voorbeeld dat we uitwerken gaat over de aanpassingen aan bestaande infrastructuur.

In geval 1 gaat het om infrastructuurprojecten waarbij de alternatieven niet primair worden bepaald door de klimaatinvloeden. Er zijn andere overwegingen die de verschillende alternatieven hebben bepaald. We nemen aan dat de alternatieven dan al min of meer vastliggen. Het accent bij de toepassing van onze methode ligt dan op het aanvullen van de analyse en de beoordeling met de mogelijke effecten van klimaatverandering. Eigenlijk een aanvulling op het te hanteren beoordelingskader. Het is de kunst om de 'klimaat-effecten' zo te identificeren en kwantificeren dat ze aan het al bestaande beoordelingskader van de alternatieven kunnen worden toegevoegd. Daarmee wordt het beeld van de te verwachte effecten gecompleteerd en kan klimaatverandering meegewogen worden bij de keuze uit de alternatieven.

In geval 2 gaat het om situaties waarin de mogelijke effecten van klimaatverandering zo belangrijk zijn, dat het herdefiniëren van bestaande alternatieven of het toevoegen van meer klimaatbestendige alternatieven, nodig is. In dit geval gebeuren er twee dingen. De te beschouwen alternatieven worden aangepast en uitgebreid. En het afwegingskader wordt uitgebreid met 'klimaatcriteria'.

In geval 3 gaat het om het beoordelen van mogelijke maatregelen die expliciet gericht zijn op het voorkomen of beperken van de negatieve effecten van klimaatverandering op al bestaande infrastructuursystemen. Om te beginnen moeten de ‘klimaatmaatregelen’ geïdentificeerd worden. Daarna moeten de effecten worden bepaald en kan een afweging worden gemaakt tussen alternatieve maatregelen. Ook kan de prioritering en timing van maatregelen aan de orde komen. Eén en ander is ook van belang voor de aanleg van nieuwe infrastructuur. In dat geval kunnen de inzichten over de mogelijk toe te passen maatregelen leiden tot een aanpassing of optimalisering van het ontwerp van de nieuwe infrastructuur.

4.2

VOORBEELD 1: NATIONALE LUCHTHAVEN

Opties uitbreiding nationale luchthaven:

- Verdere uitbreiding op bestaande locatie in Haarlemmermeer.
- Luchthaven op een eiland in de Noordzee.
- Luchthaven op terrein in Markermeer.

Uit oogpunt van klimaatverandering geldt dat voor een aantal van de directe blootstellingen de locatiekeuze in principe niet onderscheidend is (bijv. de blootstellingen die te maken hebben met neerslagcondities en temperatuur). De naar verwachting wel relevante zaken hebben met name betrekking op:

- Het optreden van extreme windsnelheden (stormen/orkanen) (BS6).
- Lengte en frequentie van perioden met veel wind (BS11).
- Het optreden van lage grondwaterstanden in gebieden (BS13).
- Het voorkomen van situaties met wateroverlast of interne overstromingen (BS17/BS18).
- Het voorkomen van overstromingen door het bezwijken van secundaire of primaire keringen (BS19, BS20 en BS21).

Tabel 4.1 geeft een globale vergelijking en beoordeling van de alternatieve luchthavenlocaties uit hoofde van de mogelijke effecten van klimaatverandering. Uit oogpunt van veranderingen in termen van extreme windsnelheden en perioden met veel wind is de locatie Noordzee naar verwachting de ongunstigste en de bestaande locatie de gunstigste (beschutting). Eventuele problemen met het optreden van verlaagde grondwaterstanden doen zich alleen op de bestaande locatie voor (in de beide andere gevallen wordt uitgegaan van een opgespoten zandpakket). Om die reden doen ook problemen met wateroverlast (bij adequaat ontwerp) en overstromingen (bij voldoende ontwerphoogte van het zandpakket) zich bij de opties Noordzee en Markermeer niet voor.

Op grond van deze globale beschouwing zou uit hoofde van de effecten van klimaatverandering een voorkeur kunnen bestaan voor locatie Markermeer. In de totale afweging zou dit tot uitdrukking moeten worden gebracht door de effecten van klimaatverandering te beschouwen binnen het totale afwegingskader op grond van een kwantificering van de kansen en effecten (risico's) samenhangend met de relevante blootstellingsituaties.

Tabel 4.1 Vergelijking en beoordeling alternatieve locaties nationale luchthaven uit oogpunt van mogelijke klimaateffecten

Blootstellings-situaties	Mogelijke effecten	Alternatieve locaties		
		Uitbreiding bestaande locatie Haarlemmermeer	Eiland in Noordzee	Luchthaven op terrein in Markermeer
Extreme windsnelheden	Schade aan vliegtuigen, gebouwen en voorzieningen Down time	-	---	--
Perioden met veel wind	Down time	-	---	--
Lage grondwaterstanden	Schade aan gebouwen, start en landingsbanen door verzakkingen	--	0	0
Wateroverlast	Schade aan gebouwen en voorzieningen Down time	---	0	0
Overstromingen	Schade aan vliegtuigen, gebouwen en voorzieningen Down time	---	0	0

4.3

VOORBEELD 2: AANLEG NIEUW TRACÉ TRANSPORTGERELATEERDE INFRASTRUCTUUR

Als voorbeeld van situatie (2) wordt nader ingegaan op de mogelijk te beschouwen alternatieven voor de aanleg van een nieuw tracé voor transportgerelateerde lijninfrastructuur. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het doortrekken van de A4 Midden Delfland; andere aanpassingen van het rijkswegennet; of uitbreiding van de railinfrastructuur (HSL).

Belangrijke alternatieven die op grond van de huidige overwegingen (kunnen) worden beschouwd hebben daarbij bijvoorbeeld betrekking op verschillende vormen van verdiepte aanleg om redenen van milieu (geluidsoverlast) en ruimtelijke (landschappelijke) kwaliteit versus de aanleg op maaiveldniveau.

Ook in dit geval hebben de belangrijkste overwegingen vanuit de kwetsbaarheid voor klimaatverandering bij de keuze van de ontwerpalternatieven naar verwachting betrekking op wateroverlast/overstromingen en de blootstelling aan extreme windsnelheden en perioden met veel wind. In het algemeen kan worden gesteld dat een verdiepte aanleg van lijninfrastructuur gunstig kan zijn vanuit de blootstelling aan min of meer extreme windcondities, maar ongunstig vanuit beschouwingen van wateroverlast en overstromingen.

Uit hoofde van het laatste zou veeleer moeten worden gedacht een aan verhoogde aanleg van de lijninfrastructuur. Dit is dan echter weer ongunstig voor de blootstelling aan windcondities, maar ook uit oogpunt van de milieubelasting en de ruimtelijke en landschappelijke beleving.

Deze overwegingen kunnen vervolgens leiden tot het ontwerp van een aantal aanvullende alternatieven. Naast de verhoogde aanleg sec kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het creëren van een verhoogd, groen grondlichaam met een waterkerende functie waarin de lijninfrastructuur vervolgens verdiept (enige m beneden de kruin) wordt aangelegd.

Daarmee kan worden bereikt dat de blootstelling van de infrastructuur aan situaties van wateroverlast en overstromingen wordt weggenomen en de voordelen van andere oplossingen (milieu, landschap, beschutting tegen wind) min of meer behouden blijven. Daarnaast kunnen door een combinatie van functies ook andere belangrijke voordelen worden gerealiseerd, zoals:

- het verkleinen van overstromingsrisico's door compartimentering en aanleg van secundaire keringen;
- het blijvend functioneren van de lijninfrastructuur in geval van overstromingscalamiteiten;
- het bieden van een voor het hele gebied snel toegankelijke, hooggelegen, en goed voor hulpverlening bereikbare, vluchtplaats in geval van overstromingscalamiteiten;
- het bieden van mogelijkheden voor combinatie met andere typen lijninfrastructuur (zoals energiedistributienetwerken en communicatienetwerken) zodat daarvan de kwetsbaarheid voor het optreden van overstromingen wordt gereduceerd of weggenomen.

In dit geval zouden zowel de te beschouwen alternatieven als het afwegingskader moeten worden verbreed om de bovengenoemde mogelijkheden en effecten tot uitdrukking te brengen. Ook daarbij zouden de effecten gerelateerd aan klimaatverandering door een kwantificering van de kansen en effecten (risico's) van de relevante blootstellingsituaties tot uitdrukking moeten worden gebracht.

In dit voorbeeld geldt dat de te beschouwen alternatieven die zijn gericht op het beperken van de mogelijke effecten van klimaatverandering in sterke mate worden beïnvloed door de kans en omvang van overstromingen. Hier ligt dus een belangrijke relatie tussen de kosten en effecten van maatregelen die kunnen worden getroffen om de overstromingsveiligheid te vergroten (door de aanpassing van waterkeringen) en de beoordeling van alternatieven om de gevolgen voor (het functioneren van) de infrastructuur te beperken. Veranderingen in overstromingsveiligheid komen direct tot uiting in de omvang van de risico's waaraan de infrastructuur wordt blootgesteld en daarmee in de baten van infrastructurele alternatieven die zijn gericht op het verder beperken van die risico's.

4.4

VOORBEELD 3: AANPASSING VAN BESTAANDE INFRASTRUCTUUR

4.4.1

ALGEMEEN BEELD

Als voorbeeld wordt hier een nadere uitwerking gegeven van de mogelijk te beschouwen maatregelen voor de aanpassing van bestaande infrastructuur ten behoeve van het beperken van de kansen en effecten (risico's) van klimaatverandering. Daarbij wordt uitgegaan van een meer algemeen beeld van mogelijke maatregelen, gekoppeld aan de meest relevante blootstellingsituaties en effecten die van toepassing zijn. Niet beschouwd worden de klimaatinvloeden die naar verwachting in de toekomst gunstiger worden (blootstelling aan koude en winterse neerslag). Een meer volledig overzicht van de mogelijke effecten is gegeven in Bijlage 1.

De in dit voorbeeld beschouwde effecten zijn:

S Directe schade aan infrastructuur

- S1 Schade aan voorzieningen/apparatuur/gebouwen door extreme hagelbuien.
 - S3 Schade aan infrastructuur door extreem hoge temperaturen (zoals: smelten/verweken van asfalt; vervormingen van railinfrastructuur en andere (stalen) constructies).
 - S5 Stormschade infrastructuurele voorzieningen (zoals: instorting of omwaaien constructies; losrakende onderdelen; breuk kabels/bovenleidingen; getroffen worden door omvallende bomen).
 - S6 Schade constructies en installaties door blikseminslagen.
 - S8 Schade, c.q. extra onderhoudsbehoefte door toename UV-straling ((met name aan kunststoffen).
 - S9 Schade, c.q. extra onderhoudsbehoefte (conservering) door vochtcondities (corrosie, houtrot, schimmelvorming).
 - S11 Schade aan infrastructuur en funderingen door klink/verzakkingen; aantasting (houten) paalfunderingen; optreden 'negatieve' kleef.
 - S13 Schade aan infrastructuurele voorzieningen door wateroverlast of overstroming.
- F Beperkingen van het functioneren van infrastructuur**
- F1 Beperkingen functioneren door hevige regenval.
 - F4 Storingen aan infrastructuur, installaties door uitzetting (klemmen van bewegende delen, spoorspattingen).
 - F6 Downtime transportsystemen en installaties door stormen en perioden met harde wind.
 - F7 Storingen systemen en installaties door blikseminslagen.
 - F9 Beperkingen functioneren door koelwaterproblemen.
 - F11 Beperking functioneren of storingen door locale wateroverlast of (beperkte) overstromingen.

Een beeld van de mogelijke maatregelen, gekoppeld aan de bovengenoemde typen effecten is gegeven in Tabel 4.2. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar twee hoofdtypen van maatregelen zoals die ook zijn onderscheiden in Figuur 2.1, te weten:

- Maatregelen gekoppeld aan infrastructuursystemen die zijn gericht op het voorkomen of reduceren van de blootstelling.
- Maatregelen gekoppeld aan infrastructuursystemen die zijn gericht op het bestand maken van de infrastructuur tegen de blootstelling.

Tabel 4.2 Mogelijke maatregelen voor aanpassen infrastructuur (vergelijk typen maatregelen in Figuur 2.1)

Effect (code)	Maatregelen gericht op voorkomen/reducen blootstelling	Maatregelen gericht op bestand maken infrastructuur tegen blootstelling
S1	Beschermen van kwetsbare deelsystemen (overkappingen en behuizingen)	Versterken van kwetsbare onderdelen infrasystemen (zoals bovengrondse leidingsystemen, apparatuur, elektronica)
S3/F4	Koeling van kwetsbare onderdelen, mogelijk in combinatie met energiewinning (bijv. asfaltoppervlakken)	Versterken constructies (uitzettingsproof maken); toepassen voegconstructies; vervangen materialen (bijv. warmtebestendige asfaltsoorten)
S5/F6	Aanbrengen windbeschermingsconstructies (eventueel in combinatie met geluidschermen); ondergronds brengen van kabel/leidingsystemen	Versterken kwetsbare delen kunstwerken, verkeersvoorzieningen, bevestigingsconstructies; stabilisering van kabel/leidingsystemen
S6/F7	Aanpassen of aanbrengen van bliksembeveiliging	
S8	Aanbrengen van zonwerende voorzieningen	Vervangen kunststoffen en bitumineuze stoffen door UV-bestendige materialen
S9	Aanbrengen van vochtwerende voorzieningen	Vervangen vochtgevoelige materialen (bijv. hout door kunststof; staal door aluminium)
S11		Ophogen, aanpassen, versterken van funderingslagen en funderingen (deklagen, ballastbedden, funderingsconstructies)
S13/ F11	Aanbrengen van lokale waterkeringen (kaden en keermuren) ter bescherming van infrastructuursystemen	Versterken (stabiliseren) grondlichamen en aanpassen constructies (asfalt, beton, staal) om stromingen en waterstanden te kunnen weerstaan
F1		Verbeteren locale/interne afwateringsystemen en -voorzieningen
F9		Verbeteren/vergroten koelcapaciteit van energiecentrales (bijvoorbeeld door koeltorens)

Het illustratieve overzicht van mogelijke maatregelen is in principe van toepassing op verschillende typen infrastructuursystemen zoals weg- en railinfrastructuur, energievoorzieningsystemen en havenvoorzieningen. Om de relevante verschillen van de te onderscheiden maatregeltypen inzichtelijk te maken dienen de te beschouwen infrastructuursystemen in meer detail te worden gespecificeerd.

4.4.2

ELEKTRICITEITSCENTRALE EN BIJBEHOREND ENERGIETRANSPORTSYSTEEM

Als meer specifiek voorbeeld wordt nader ingegaan op de mogelijke effecten en maatregelen die van toepassing kunnen zijn bij een elektriciteitscentrale en het bijbehorende energietransportsysteem (hoogspanningsleidingen) die in het hele land kunnen voorkomen.

Mogelijk relevante effecten van directe blootstelling aan extreme en periodieke klimaatinvloeden hebben o.a. betrekking op:

- Problemen met de koelcapaciteit in warme perioden (hoge temperaturen van het voor de koeling gebruikte oppervlaktewater).
- Beschadiging van hoogspanningsleidingen door extreme windcondities (en eventueel ook hagel, ijzel en sneeuw).
- Problemen met de uitzetting van leidingsystemen en installaties door het optreden van extreme temperaturen.
- Problemen met de lokale afwatering door extreme regenval.

Problemen met de koelcapaciteit kunnen bijvoorbeeld worden opgelost door het bouwen van koeltorens. De kwetsbaarheid van hoogspanningsleidingen kan worden verminderd door het ondergronds brengen van hoogspanningsleidingen op de meest kritieke trajecten. Uitzettingsproblemen bij leidingen/installaties kunnen worden voorkomen door het aanbrengen van een koelingsysteem, dan wel het aanpassen van constructievormen of het versterken van bevestigingsconstructies. Met het vergroten van de capaciteit van het afwateringssysteem kunnen problemen van lokale wateroverlast worden voorkomen.

Naast de mogelijke fysieke aanpassingen die zijn gericht op het voorkomen of beperken van de effecten van directe blootstellingen is het ook mogelijk dat bepaalde beheermaatregelen worden getroffen. Zo is het wat betreft de elektriciteitsvoorziening goed denkbaar dat in geval van het tijdelijk niet of minder functioneren van een centrale door koelingproblemen een herverdeling plaats vindt van de productie over centrales die daarvoor niet of minder gevoelig zijn. In dat geval is dus een afweging aan de orde tussen de kosten en vermindering van risico's door fysieke aanpassing versus de mogelijkheden/kosten van beheersmatige aanpassingen en de daarmee gepaard gaande rest risico's.

Het gebruik van het afwegingkader is in dit geval gericht op de inschatting van de beperking van de risico's door het treffen van de beschermings-, aanpassings- of verbetermaatregelen (in relatie tot de kansen en effecten van de klimaatinvloeden en de effecten van maatregelen). Dit biedt een basis voor de beoordeling van maatregelen op kosteneffectiviteit en een vergelijking/prioritering van maatregelen.

In het algemeen hebben de maatregelen het karakter van de aanpassing van het ontwerp van infrastructuursystemen (in relatie tot de aanpassing van ontwerpnormen) of het treffen van aanvullende voorzieningen. Deze zijn van toepassing voor zowel de aanpassing van bestaande infrastructuur als voor het ontwerp van nieuwe infrastructuur.

4.4.3

TIMING VAN AANPASSING VAN INFRASTRUCTUUR

Met name in het geval van de aanpassing van bestaande infrastructuur is de vraag aan de orde *wanneer* het treffen van maatregelen noodzakelijk of opportuun is. Belangrijke overwegingen daarbij zijn:

- De kwantificering en beoordeling van (de verandering van) de risico's.
- De benodigde implementatietijd voor het uitvoeren van de aanpassingen.
- De levensduur en onderhoudscyclus van de infrastructurele voorziening.

Het expliciet maken van de risico's van klimaateffecten en de mogelijke maatregelen ter beperking van die risico's (in termen van kosten en vermindering van risico's) vormt de basis voor de beoordeling of, en welke, maatregelen zouden moeten worden getroffen. Het treffen van maatregelen is daarbij in ieder geval noodzakelijk als er sprake is van het ontstaan van onacceptabele risico's. De moeilijkheid is daarbij natuurlijk gelegen in de vraag wanneer er sprake is van onacceptabele risico's. Een sterk complicerende factor daarbij heeft betrekking op de grote onzekerheden die gepaard gaan met het bepalen van de risico's. Zolang er geen sprake is van duidelijke, onacceptabele risico's, is het van groot belang dat een monitoring plaatsvindt van de ontwikkelingen rond klimaatverandering, de daarmee gepaard gaande veranderingen van risico's en de vermindering van onzekerheden. Daarbij dient expliciet rekening te worden gehouden met mogelijke maatregelen volgend uit beleidsontwikkelingen op het gebied van de overstromingsveiligheid en de nationale waterhuishouding, en met de mogelijkheden om risico's te verminderen door bepaalde beheermaatregelen.

Bij de vaststelling van het moment waarop eventuele maatregelen zouden moeten worden getroffen is van belang dat rekening wordt gehouden met de implementatietijd. Uit hoofde van de efficiëntie van de uitvoering van bepaalde maatregelen is het zeer gewenst dat wordt aangesloten bij de levensduur en onderhoudscyclus van de infrastructurele voorziening. Zo mogelijk zouden maatregelen moeten worden uitgesteld tot het moment dat voor de infrastructurele voorziening of belangrijke onderdelen daarvan het einde van de levensduur is bereikt, dan wel sprake is van de uitvoering van groot onderhoud, renovaties of reconstructies.

Bij de aanleg van nieuwe infrastructuur kunnen de benodigde/gewenste aanpassingen en voorzieningen direct bij het ontwerp in beschouwing worden genomen. Naar verwachting zijn de kostenconsequenties daarvan beperkt, zodat dergelijke keuzen en beslissingen in veel gevallen het karakter zouden kunnen hebben van een 'no regret' beslissing.

BIJLAGE 1

Overzicht van mogelijke effecten

NB. Het overzicht is opgenomen ter illustratie en is niet volledig.

Effect code	Beschrijving
S Directe schade aan infrastructuur	
S1	Schade aan voorzieningen/apparatuur/gebouwen door extreme hagelbuien
S2	Schade aan bovengrondse leidingsystemen, gebouwen en installaties door belasting als gevolg van ijzel/sneeuw
S3	Schade aan infrastructuur door extreem hoge temperaturen (zoals: smelten/verweken van asfalt; vervormingen van railinfrastructuur en andere (stalen) constructies)
S4	Schade aan gesloten watertransportsystemen door extreme koude (bevrozing)
S5	Stormschade infrastructuurle voorzieningen (zoals: instorting of omwaaien constructies; losrakende onderdelen; breuk kabels/bovenleidingen; getroffen worden door omvallende bomen).
S6	Schade constructies en installaties door blikseminslagen
S7	Schade, c.q. extra onderhoudsbehoefte door vorst, gladheidsbestrijding (effecten van zout), ijsvorming, ijsafzetting en ijsgang; opvriezen en opdooi
S8	Schade aan, c.q. extra onderhoudsbehoefte door toename UV-straling (kunststoffen)
S9	Schade, c.q. extra onderhoudsbehoefte (conservering) door vochtcondities (corrosie, houtrot, schimmelvorming)
S10	Schade aan rivierdijken door verweking en stabiliteitsverlies
S11	Schade aan infrastructuur en funderingen door klink/verzakkingen; aantasting (houten) paalfunderingen; optreden 'negatieve' kleeft
S12	Schade aan dijklichamen door uitdroging en stabiliteitsverlies
S13	Schade aan infrastructuurle voorzieningen door wateroverlast of overstroming
F Beperkingen van het functioneren van infrastructuur	
F1	Beperkingen functioneren door hevige regenval
F2	Beperkingen functioneren door gladheidscondities (hagel, ijzel, sneeuw)
F3	Beperkingen functioneren door storingen als gevolg van ijzel/sneeuw
F4	Storingen aan infrastructuur, installaties door uitzetting (klemmen van bewegende delen, spoorspattingen)
F5	Storingen aan installaties door extreme vorst
F6	Downtime transportsystemen/installaties door stormen en perioden met harde wind
F7	Storingen systemen en installaties door blikseminslagen
F8	Downtime windturbines en vaarwegen door ijsvorming
F9	Beperkingen functioneren door koelwaterproblemen
F10	Beperkingen functioneren weg/scheepvaart transportsysteem door mistcondities
F11	Downtime luchthavens door mistcondities
F12	Downtime scheepvaarttransportsysteem door te hoge stroomsnelheden of te lage waterstanden
F13	Beperkingen inlaatcapaciteiten door te lage rivierwaterstanden
F14	Beperking functioneren of storingen door lokale wateroverlast of (beperkte) overstromingen
V Persoonlijke veiligheids- en gezondheidsrisico's	
V1	Veiligheidsrisico's weggebruikers bij extreme windsnelheden en perioden met harde wind
V2	Veiligheidsrisico's (gebruikers) transportsystemen door mistcondities
V3	Gezondheidsrisico's door toename kans bacteriële besmetting drinkwater (legionella)
V4	(Extra) veiligheidsrisico's door falen transport-, energie- en communicatiesystemen tijdens het optreden van calamiteiten (door niet kunnen evacueren; vast komen te zitten in lage gebieden; beperkingen communicatie, hulpverlening, aanvoer hulpgoederen getroffen gebieden)
V5	Besmettingsrisico's door falen en/of contaminatie drinkwatervoorzieningsystemen

G Gunstige effecten voor het functioneren van infrastructuursystemen	
G1	Gunstige effecten op energieproductie door zonne-energie
G2	Gunstige effecten op energieproductie door windenergie