

Opdrachtgever:  
Deltacommissie

# Toekomst voor het Nederlandse polderconcept

## Technische en financiële houdbaarheid

Auteurs: Matthijs Kok (HKV LIJN IN WATER, TU-Delft)  
Bas Jonkman (Royal Haskoning, TU-Delft)  
Wim Kanning (TU-Delft)  
Ties Rijcken (TU-Delft)  
Jan Stijnen (HKV LIJN IN WATER)





# Inhoud

|                  |   |           |
|------------------|---|-----------|
| <b>1</b>         | <b>Inleiding .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1              | Vraagstelling .....   | 1         |
| 1.2              | Het polderconcept .....   | 2         |
| 1.3              | Leeswijzer .....  | 3         |
| <b>2</b>         | <b>Historische hoofdlijnen van het polderconcept .....</b>        | <b>5</b>  |
| <b>3</b>         | <b>Toekomstige ontwikkelingen en knelpunten.....</b>              | <b>9</b>  |
| <b>4</b>         | <b>Technische mogelijkheden en kosten .....</b>                   | <b>13</b> |
| <b>5</b>         | <b>Financiële gevolgen .....</b>                                  | <b>17</b> |
| <b>6</b>         | <b>Alternatieve strategieën en functiecombinaties .....</b>       | <b>25</b> |
| 6.1              | Maatregelen om de gevolgen en kansen te verminderen.....          | 25        |
| 6.2              | Alternatief: opwaardering van de keringen .....                   | 26        |
| 6.3              | Het veranderen van de 'hoofdvorm' van het poldersysteem .....     | 27        |
| 6.4              | Voorbeeld: ontwikkeling van de Rotterdamse delta .....            | 28        |
| <b>7</b>         | <b>Conclusies en aanbevelingen.....</b>                           | <b>31</b> |
| <b>8</b>         | <b>Referenties .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>Bijlage 1</b> | <b>Technische houdbaarheid van het polderconcept</b>              |           |
| <b>Bijlage 2</b> | <b>Betaalbaarheid van het polderconcept</b>                       |           |
|                  | <b>Appendix A Q(h) relaties bovenloop Rijn en Maas</b>            |           |
|                  | <b>Appendix B Uitwerking van het effect van schaalverandering</b> |           |
|                  | <b>voor een schematische dijkring</b>                             |           |
| <b>Bijlage 3</b> | <b>Benedenrivieren: 'case Rotterdam'</b>                          |           |



## Lijst van tabellen

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabel 5-1: | Uitgangspunten voor het gehanteerde klimaatscenario. ....   | 17 |
| Tabel 6-1: | Kwalitatieve effecten van maatregelen om het overstromingsrisico te beperken (groen is aantrekkelijk, rood is niet aantrekkelijk, oranje is mogelijk aantrekkelijk) ..... | 26 |



## Lijst van figuren

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figuur 1-1: | Een schematisch overzicht van een polder. Kenmerkende elementen zijn het gemaal voor afvoer van overtollig water en de waterkering om de polder tegen 'buienwater' te beschermen .....   | 2  |
| Figuur 2-1: | Mate van beheersing van de waterpeilen in de loop van de tijd; op zee en in de uiterwaarden kunnen we de waterstand niet beïnvloeden, maar in de polders en ook in veel zoetwaterbekkens kunnen we dat in grote mate. Voor de roodgekleurde gebieden is er geen beheersing, voor de groengekleurde gebieden is de beheersing goed. De oranje gebieden zitten hier tussen in. ....                  | 6  |
| Figuur 2-2: | Verkorting kustlijn in de loop van de tijd. ....   | 7  |
| Figuur 3-1: | Voorbeeld van de vertaling van een klimaatscenario in een toename van de waterstanden. ....  | 10 |
| Figuur 4-1: | Basis voor de overstromingsrisico analyse in dit onderzoek. ....   | 13 |
| Figuur 4-2: | Voorbeelden van maatregelen en knelpunten als gevolg van klimaatverandering. ....  | 13 |
| Figuur 4-3: | Indeling van de dijkringen naar watersysteem. ....   | 14 |
| Figuur 4-4: | Profielverandering van zeekering als gevolg van verhoging van de zeespiegel.....   | 15 |
| Figuur 4-5: | Investeringskosten voor primaire waterkeringen bij toename van waterstand door klimaatverandering bij gelijkblijvende (wettelijke) beschermingsniveau's .....  | 16 |
| Figuur 5-1: | Kostenontwikkeling bij het basisscenario bij vasthouden huidige normen. De kosten van het huidige Beheer en Onderhoud (B&O) zijn ter vergelijking opgenomen .....  | 19 |
| Figuur 5-2: | Kostenontwikkeling bij het basisscenario bij risicocompensatie. ....   | 19 |
| Figuur 5-3: | Kostenontwikkeling bij het alternatieve klimaatscenario bij het vasthouden van de huidige normen. ....   | 20 |
| Figuur 5-4: | Kostenontwikkeling bij het alternatieve klimaatscenario bij de risicobenadering. ....  | 20 |
| Figuur 5-5: | Verschillende mogelijkheden voor versnelling van zeespiegel.....   | 22 |
| Figuur 6-1: | Beperking van aantal kilometers primaire waterkeringen (WaterInnovatiebron WINN, RWS) 28   |    |
| Figuur 6-2: | Huidige situatie in het Benedenrivierengebied: bij combinaties van hoge waterstand op zee en de rivieren lopen de buitendijkse gebieden langzaam onder, en neemt de kans op een dijkdoorbraak toe (tekening TU-Delft / HKV <u>LJN IN WATER</u> ).....  | 29 |
| Figuur 6-3: | Om het binnendijkse gebied beter te beschermen (bij veranderende normen of waterstanden) moeten wellicht de dijken worden verhoogd. De bescherming van het buitendijkse gebied blijft gelijk (tekening TU-Delft / HKV <u>LJN IN WATER</u> ). ....  | 29 |
| Figuur 6-4: | Alternatief in het Benedenrivierengebied. De beweegbare keringen gaan alleen bij hoog water omlaag en beschermen daarmee steden als Rotterdam en Dordrecht, niet alleen binnendijks maar ook de buitendijkse gebieden. NB: voor Zeeland is aangenomen dat de Grevelingen en het Volkerak rivierwater bufferen maar zonder extra dijkverhoging (tekening TU-Delft / HKV <u>LJN IN WATER</u> ). .... | 30 |
| Figuur 6-5: | De frequentie van sluiten van de keringen en daarmee de ligging van het maximum waterpeil moet volgen uit een analyse naar de inspanning en verstoringen versus de opbrengsten van de ingreep (tekening TU-Delft / HKV <u>LJN IN WATER</u> ). ....   | 30 |





# 1 Inleiding

De zeespiegel stijgt, de rivierafvoeren nemen toe, de bodem daalt en steeds meer mensen wonen onder de zeespiegel. Sommige burgers, bestuurders en wetenschappers betwijfelen of de Nederlandse polder op lange termijn wel houdbaar is. Kan het water ook in de toekomst gekeerd en weggepompt worden? Moeten we Nederland opgeven en maximaal 'ruimte voor water' geven, of moeten we houden wat we nu hebben? Of zijn tussenoplossingen aantrekkelijk, en hoe zien er deze er dan uit? Gaan we de kustlijn verder verkorten, of juist een deel van de polders teruggeven aan de zee? Kunnen we eenvoudigweg de dijken blijven verhogen, of moeten we meer 'veerkracht' aanbrengen in het systeem? En wordt het allemaal niet veel te kostbaar?

De Staatscommissie Duurzame Kustontwikkeling onder leiding van dhr. C. Veerman ("nieuwe Deltacommissie") heeft deze vragen voorgelegd aan een groep van deskundigen van de Technische Universiteit Delft, HKV [LIJN IN WATER](#) en Royal Haskoning.

## 1.1 Vraagstelling

Dit onderzoek beantwoordt de volgende hoofdvragen:

1. Welke bedreiging van het watersysteem (regen, droogte, dijkdoorbraak, etc), is het meest gevaarlijke en de meest cruciale als het gaat om de vraag of het Nederlandse polderconcept op termijn nog houdbaar is?
2. Hoe zou het poldersysteem mee kunnen groeien met de veranderende omstandigheden? Wat kost het ons om het huidige poldersysteem mee te laten groeien met een veranderend klimaat en de kans op een overstroming gelijk te houden aan de huidige situatie? Uitgegaan wordt van bestaande strategieën en dan met name de 'klassieke' dijkverhoging van de huidige dijkringen.
3. Wat zou het kosten om de kans op een overstroming nog verder te verkleinen door de dijken nog verder te versterken? De gedachte hierachter is: 'een grote schat vraagt om een zware kluis'. Het inwonertal en de verworvenheden in Nederland beneden de zeespiegel groeien gestaag en de potentiële schade bij een overstroming wordt dan ook steeds groter. Om het risico (= kans x gevolg) constant te houden moet de overstromingskans steeds verder afnemen in de loop van de tijd.

Naast deze vraag is ook een verkenning uitgevoerd naar de volgende vragen:

1. Zijn er ook andere manieren dan dijkverhoging om overstromingsrisico's te beperken?
2. Zijn er mogelijkheden voor schaalvergroting (samenvoegen van dijkringen) of schaalverkleining (compartimentering)?
3. Hoe kunnen er door functiecombinaties bijkomende baten ontstaan?

Effecten en kosten zijn op nationaal niveau globaal en indicatief in beeld gebracht. Een analyse op een zodanig lange tijdshorizon brengt aanzienlijke onzekerheden met zich mee. Hierbij gaat het onder meer om veranderingen in het klimaat, ontwikkeling van technieken (innovatie) en kostenkennallen voor investeringen (bijvoorbeeld door ontwikkeling van prijzen van energie en arbeid). Toch geven de resultaten inzicht in de mogelijke veranderingen en bijbehorende knelpunten en kosten op lange termijn.

## 1.2 Het polderconcept

In het standaardwerk "Leefbaar Laagland. Geschiedenis van de waterbeheersing en landaanwinning in Nederland" is een polder als volgt gedefinieerd: "Een stuk land dat is omringd door waterkeringen en waarin tot op zekere hoogte een van de omgeving onafhankelijke waterstand kan worden gerealiseerd" [Van de Ven *et al*, 2003].

In de praktijk van het polderbeheer wordt veelal onderscheid gemaakt tussen waterbouw en waterbeheer. De waterbouw ontwerpt technische ingrepen (zoals waterkeringen) om het gedrag van het water te beïnvloeden. Waterbeheer betreft de dagelijkse praktijk van het bewaken van het watersysteem, zowel de kwantiteit als ook de waterkwaliteit. Dit rapport gebruikt het woord 'waterbeheersing' voor het samenspel tussen waterbouw en waterbeheer, met het besef dat er nooit van volledige beheersing sprake kan zijn. De essentie is, dat de mens probeert het gedrag van het water te beïnvloeden.



*Figuur 1-1: Een schematisch overzicht van een polder. Kenmerkende elementen zijn het gemaal voor afvoer van overtollig water en de waterkering om de polder tegen 'buitenwater' te beschermen*

Het huidige systeem van polders is ontstaan door ontwikkelingen gedurende de laatste 1000 jaar als gevolg van natuurlijke processen, menselijke behoeftes en keuzes om deze twee met elkaar in overeenstemming te brengen. Als gevolg hiervan ligt inmiddels circa 25 procent van het landoppervlak beneden gemiddeld zeeniveau, terwijl ongeveer 65% van het totale oppervlak geregeld zou overstromen als er geen dijken waren gebouwd. De huidige hoofdvorm van het watersysteem is niet alleen bepaald door de wens om overstromingen te beperken, maar ook door wensen om andere maatschappelijke activiteiten (zoals scheepvaart en landbouw) mogelijk te maken.

Dit onderzoek kijkt naar de toekomst van de polder: welke veranderingen zijn vanuit technisch en financieel oogpunt noodzakelijk? Het polderconcept wordt in dit onderzoek opgevat als een manier om in een deltagebied te leven; het resultaat van een nooit eindigende optimalisatie tussen enerzijds de inspanning om land te bewonen en te bewerken en anderzijds het genereren van opbrengsten (wonen, werken, landbouw, natuur, etc.) uit het beheersen van water. Deze optimalisatie gaat breder dan alleen monetaire kosten en baten en heeft ook betrekking op de maatschappelijk waarde die aan functies, zoals natuurontwikkeling, wordt toegekend. Het verleden toont ons de hoofdlijnen van de optimalisatie zoals die tot op heden gemaakt is – de vraag is in hoeverre deze voortgezet zullen worden.

### **1.3 Leeswijzer**

In het rapport wordt een antwoord gegeven op de vraag of bij klimaatsverandering het Nederlandse polderconcept houdbaar en betaalbaar blijft.

De drie bijlagen bevatten de verantwoording en onderbouwing van de resultaten die in de komende hoofdstukken worden behandeld.

In hoofdstuk 2 gaan we in op de historische hoofdlijnen van het polderconcept. Geconstateerd wordt dat het verkleinen van overstromingsrisico's en kustlijnverkorting twee centrale elementen zijn geweest in de ontwikkeling van Nederland. In hoofdstuk 3 worden de uitdagingen voor de toekomst beschreven. De mogelijke verandering van het klimaat is hierin een belangrijke factor. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 inzicht gegeven in de technische mogelijkheden en kosten van maatregelen om de waterkeringen te versterken. De financiële gevolgen worden in hoofdstuk 5 beschreven. In hoofdstuk 6 worden enkele alternatieve strategieën voor het beperken van overstromingsrisico's globaal weergegeven, zoals het ontwikkelen van brede duinen of het aanleggen van hoogwatervluchtplaatsen. Ook wordt aandacht geschonken aan de oplossingen voor de problematiek van het gebied rondom Rotterdam. In hoofdstuk 7 worden de conclusies en aanbevelingen beschreven.



## 2 Historische hoofdlijnen van het polderconcept

De belangrijkste historische ontwikkeling is een toenemende beperking van omvangrijke overstromingen door dijken en dammen, en het creëren van een zoetwatervoorraad in het IJsselmeer (Figuur 2-1). Een belangrijk instrument hierbij is de verkorting van de kustlijn door de aanleg van dammen geweest – eerst in de monding van kleine rivieren zoals de Amstel en de Rotte, daarna steeds omvangrijker, tot werken als de Afsluitdijk en de Deltawerken (Figuur 2-2). Een boeiend overzicht van deze ontwikkeling naar de 'nieuwe wereld', de manier waarop de transformatie naar de 'moderne tijd' gestalte kreeg en de samenhang tussen cultuur en techniek, is te vinden in [Woud, 2006].

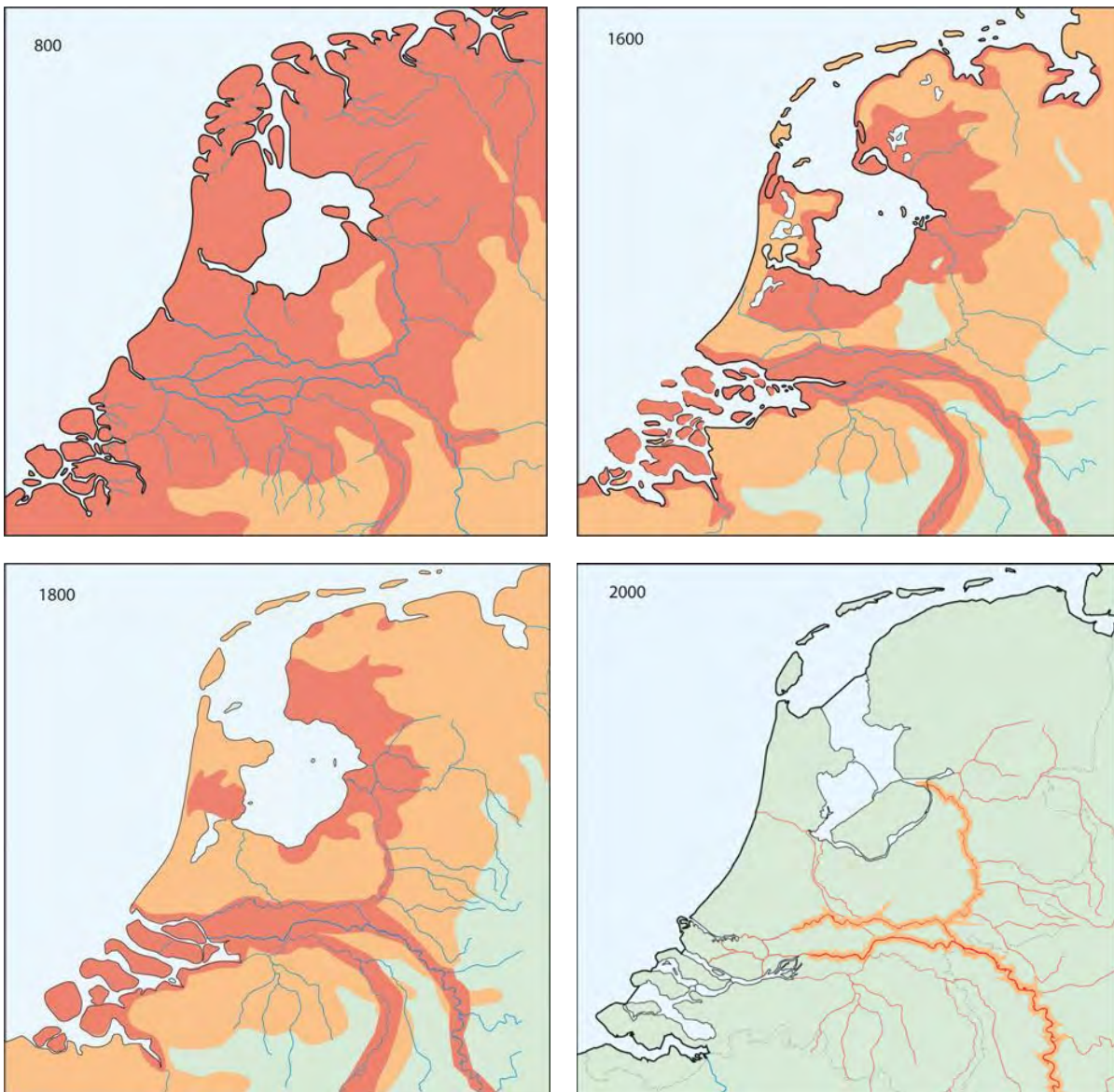
In het algemeen is het gebied in Nederland waar het waterpeil naar believen van de mens gestuurd kan worden (los van grote overstromingen) door de eeuwen heen toegenomen, maar er is een kentering ontstaan in deze hoofdlijn tijdens de ontwikkeling van de Oosterscheldekering en het beleid 'Ruimte voor de Rivier'. Er blijken grenzen te zijn aan de behoefte om het waterpeil zo veel mogelijk te willen kunnen bepalen. Landbouw stelt scherpe eisen aan waterpeilen, maar voor natuurontwikkeling geldt dit niet altijd. Enerzijds geldt voor de natuur dat juist wisselende en onverwachte peilen de biodiversiteit bevorderen, maar anderzijds wordt voor het in stand houden van bepaalde soorten een gecontroleerd variabel waterpeil gehandhaafd. Bouwers en bewoners van stedelijk gebied vinden een vast waterpeil wel zo praktisch, maar ook hier klinkt steeds meer behoefte aan 'natuurlijke dynamiek'. Dit wel binnen grenzen: extreme droogte en overstromingen worden door geen enkele ruimtegebruiker gewaardeerd. Samengevat: Nederland heeft wereldwijd het grootste percentage oppervlak met een ongekende controle over de waterpeilen, maar de koers wijzigt langzaam naar 'het gecontroleerd loslaten van controle' en 'nieuwe natuur'. En dit lijkt vooral te worden ingegeven door veranderende behoeftes aan functies gerelateerd aan water.

De geschiedenis van het watersysteem is te beschouwen vanuit twee perspectieven. Enerzijds de behoeftes van een ruimtegebruiker en anderzijds het technisch functioneren van onderdelen van het watersysteem. Het Pannerdensch Kanaal en de Nieuwe Merwede zijn gegraven om overstromingen te bestrijden, maar ook voor de scheepvaart, als verdedigingslinie en om zoetwater naar droge gebieden te leiden.

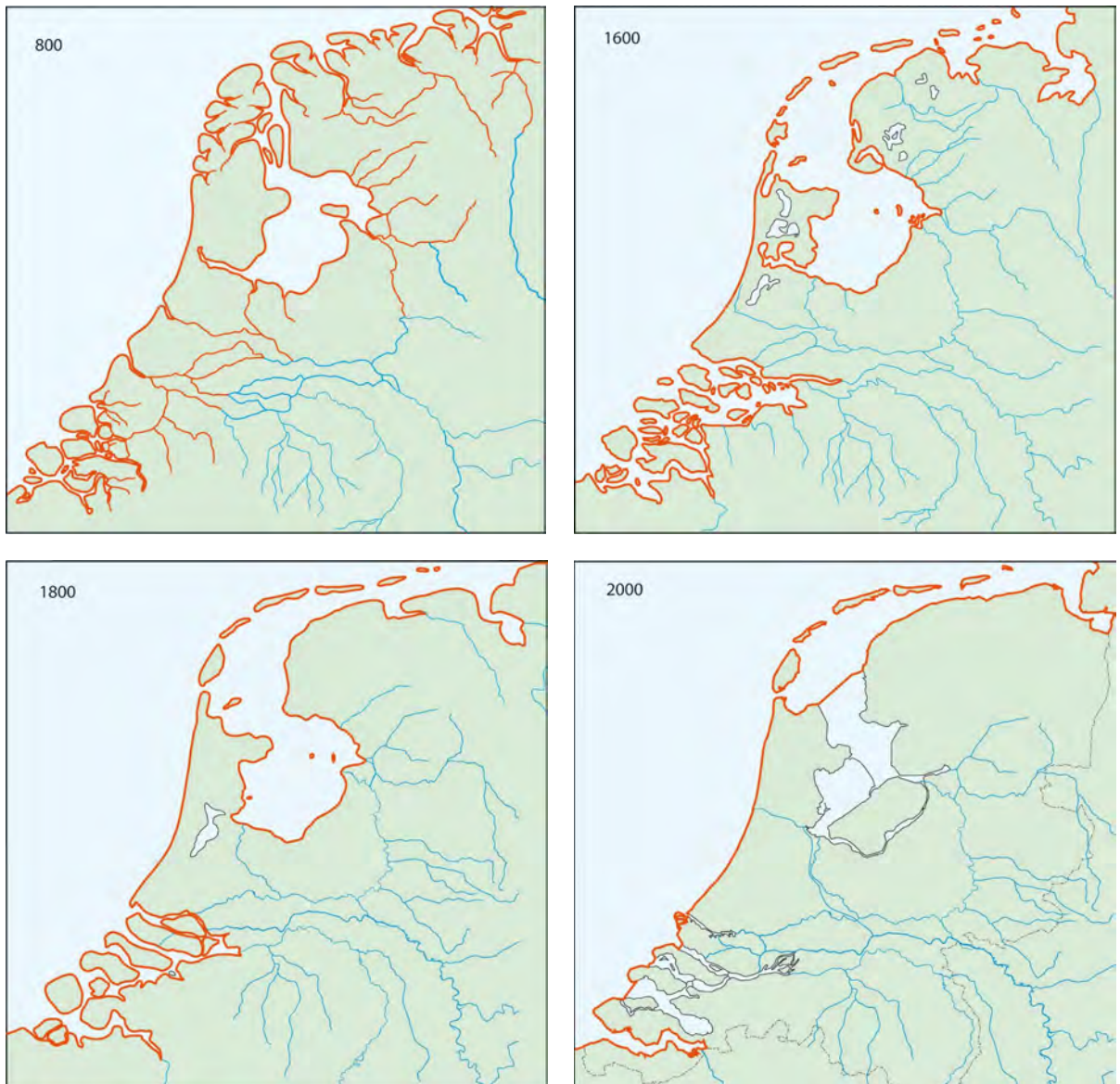
Als we kijken vanuit het perspectief van de scheepvaart, is een hoofdlijn het concentreren van zware en intensieve scheepvaart langs assen waar zich geen sluizen bevinden, en ook het verplaatsen van havens uit de stad in de richting van de zee. Een ruimtegebruik als 'infrastructuur' heeft meer raakvlakken met het watersysteem dan men zou denken: de kosten van bruggen bepalen de haalbaarheid van een kanaal en hebben daarmee invloed op zoetwatervoorziening. Ook is in het verleden altijd gebruik gemaakt van functiecombinaties tussen het keringennetwerk en infrastructuur: over nagenoeg elke dijk loopt wel een autoweg of een fietspad. De Deltacommissie heeft dan ook in haar Deltaplan expliciet aandacht besteed aan de maatschappelijke effecten van de dammen, zoals de ontsluiting van Zeeland en de positieve effecten op de landbouw.

In de 20ste eeuw is er steeds meer aandacht gekomen voor waterkwaliteit, natuurontwikkeling en andere 'zachte' waarden, zoals beleving en identiteit, naast de klassieke opgaven. De druk vanuit projectontwikkelaars en andere private partijen om (woningen en kantoren) te

ontwikkelen op de land-water overgangen neemt toe in gelijke tred met de welvaart. Dit is een relevante ontwikkeling, omdat de historie heeft laten zien dat private initiatieven op de dijk en dijkaanpassing moeilijk samen gaan.



*Figuur 2-1: Mate van beheersing van de waterpeilen in de loop van de tijd; op zee en in de uiterwaarden kunnen we de waterstand niet beïnvloeden, maar in de polders en ook in veel zoetwaterbekkens kunnen we dat in grote mate. Voor de roodgekleurde gebieden is er geen beheersing, voor de groengekleurde gebieden is de beheersing goed. De oranje gebieden zitten hier tussen in.*



Figuur 2-2: Verkorting kustlijn in de loop van de tijd.

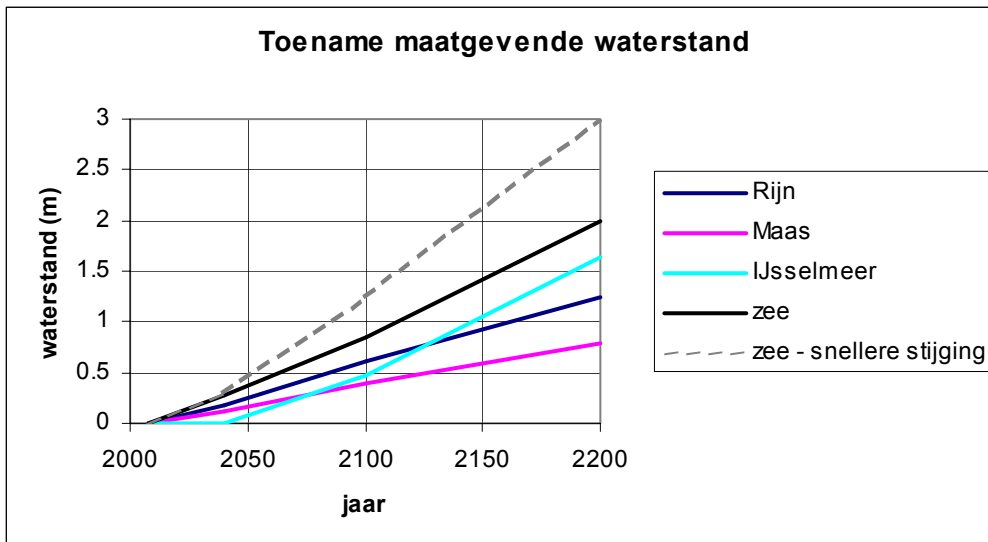




### 3 Toekomstige ontwikkelingen en knelpunten

De toekomst van het poldersysteem wordt beïnvloed door enerzijds veranderingen in het klimaat (zeespiegelstijging en verandering van het neerslagpatroon, waardoor de rivierafvoeren kunnen toenemen en het regionaal watersysteem anders wordt belast) en de bodemdaling, en anderzijds de economische en demografische ontwikkelingen. Al deze ontwikkelingen zijn onzeker, al is de trend van de veranderingen wel duidelijk. Er is een strategie nodig om met de onzekerheden in de mate van verandering om te gaan.

De klimaatontwikkelingen worden gestuurd door veranderingen in de (gemiddelde) temperatuur. In het algemeen wordt in dit tijdsgewricht aangenomen dat de temperatuur zal stijgen, waardoor de zeespiegel en de (maatgevende) rivierafvoeren versneld stijgen. In Figuur 3-1 is een mogelijk scenario opgenomen van de ontwikkelingen van de maatgevende waterstanden in de diverse watersystemen. In deze figuur is uitgegaan van een toename in de zeespiegel van circa 1 cm/jaar in de komende 200 jaar. Dit is het meest extreme scenario van de vier door het KNMI uitgewerkte scenario's (2006). Daarnaast is in dit scenario een toename verwacht van de afvoeren van de rivieren Rijn en Maas, en van de waterstanden op het IJsselmeer. Een toename van de waterstanden in deze watersystemen wordt niet alleen bepaald door klimaatverandering, maar ook door beleid van de waterbeheerders (de reactie in Duitsland op mogelijke klimaatverandering, de breedte van het winterbed bij de rivieren en de spui- of gemaalcapaciteit in de Afsluitdijk zijn menselijke keuzes). Op verzoek van de Commissie Duurzame Kustontwikkeling is in Figuur 3-1 een alternatief scenario met een nog snellere zeespiegelstijging (oplopend tot 1,75cm /jaar na het jaar 2100) aangegeven. Op de rivieren geldt een maximale mogelijke afvoer die ons land kan bereiken, omdat bij een hogere afvoer de waterkeringen in Duitsland en België zullen overstromen. Bij de kostenbeschouwingen in dit rapport wordt ervan uitgegaan dat langs de rivieren de absolute waterstanden en de schommelingen in de waterstanden toenemen. Het IJsselmeerpeil wordt niet alleen door de natuur bepaald, maar ook door een beleidskeuze: of het IJsselmeerpeil mee laten stijgen met de zee, of de spuicapaciteit in de Afsluitdijk verhogen. Rijkswaterstaat vermoedt dat voor het IJsselmeer de totale kosten van de 'gemaalvariant' en de 'peilverhogingsvariant' ongeveer gelijk zijn. In dit rapport gaan we uit van stijging van het IJsselmeerpeil met de zeespiegel na 37 cm zeespiegelstijging.



Figuur 3-1: Voorbeeld van de vertaling van een klimaatscenario in een toename van de waterstanden.

Naast de toename van de waterstanden kan klimaatverandering ook voor de volgende veranderingen zorgen:

- verandering van lokale neerslag, waardoor meer schade door droogte en neerslag kan ontstaan. Verwacht wordt dat de totale hoeveelheid neerslag in een jaar niet verandert door de klimaatverandering, maar wel kan een toename van de piekhoeveelheden (in enkele uren of enkele dagen) ontstaan.
- meer droogtepieken, dus onder andere lagere waterstanden op de rivieren waardoor onder andere hinder voor de scheepvaart ontstaat.
- verandering van schade door verzilting van irrigatiewater, stedelijk water en drinkwater. Door zeespiegelstijging neemt de zoutinvasie in lage polders toe, onder andere door de verder binnendringende zogenaamde "zouttong".

De toekomst van de polder wordt ook bepaald door de bodemdaling. Deze bodemdaling zorgt ervoor dat de kwel toeneemt en dat de kosten van pompen toenemen. Deze bodemdaling vindt op een beperkt aantal locaties plaats, met name in de veenpolders en de relatief nieuwe polders, zoals Flevoland. Hierdoor wordt de regionale waterhuishouding moeizamer. De economische en demografische ontwikkelingen bepalen de schade als gevolg van wateroverlast of een overstrooming. Meer kapitaal en meer bewoners in de polders zorgt ervoor dat de schade bij een overstrooming toeneemt. In dit onderzoek wordt aangenomen dat de mogelijke overstroomingsschade jaarlijks toeneemt met 1,5%, maar er zijn ook andere economische toekomstbeelden die uitgaan van een afname of zelfs stagnatie van de economische groei.

Voor elk probleem zijn verschillende oplossingen mogelijk, met uiteenlopende kosten en verschillen in de te bereiken schadereductie en verwachte baten. Waarschijnlijk leiden verschuivingen in regionaal of sectoraal waterbeheer niet tot onhoudbare situaties of kosten die niet meer opwegen tegen baten (een 'faillissement'). Het meest veelomvattende probleem is in onze ogen het groeiende risico van een dijkdoorbraak en daarmee een overstrooming met menselijke slachtoffers en miljarden euro's aan schade. Dit onderzoek focust op dit probleem omdat:

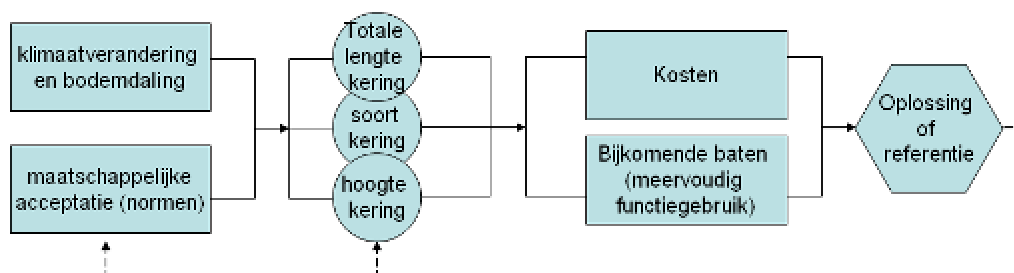
- De schade bij een overstrooming enorm is. Zowel de directe schade aan de economie en het verlies aan mensenlevens, maar juist ook de schade die op langere termijn zal optreden: het verlies van internationaal aanzien, het wegtrekken van bevolking en de ontwrichtende schade aan infrastructuur, zoals te zien in New Orleans.

- een zichzelf versterkend effect van '*schade → economische tegenvallers → minder investeringen in de keringen → nog meer schade*' lijkt het enige denkbare scenario waarbij het Polderconcept ook echt 'onhoudbaar' genoemd kan worden.
- de aanpassingen in het regionale watersysteem sterk worden bepaald door de lokale omstandigheden. Daarnaast is gebleken dat een overzicht op nationaal niveau niet beschikbaar is. In bijlage 1 is aangegeven dat er op dit moment enkele kleine polders zijn waarbij de kosten van bemaling groter zijn dan de ingezetenenheffing, die door het waterschap wordt geïnd. Het is niet te verwachten dat dergelijke situaties door klimaatverandering substantieel meer voor zullen komen, maar dit dient wel verder te worden onderzocht. Naar verwachting zijn de kosten van de veranderende omstandigheden beperkt van omvang, en technisch goed mogelijk. Een globale indicatie van de kosten van aanpassing van het regionale watersysteem is in orde van grootte van maximaal enkele honderden miljoenen euro's (zie bijlage 1). Bovendien geldt dat de waterschappen bij de inrichting van het watersysteem al rekening hebben gehouden met klimaatverandering (veelal met het 'midden' scenario van het KNMI).



## 4 Technische mogelijkheden en kosten

De essenties van het aanpassen van een keringensysteem zijn de totale lengte (te beïnvloeden door aanleg of het weghalen van dammen, of het toevoegen van compartimenteringskeringen), de verschillende soorten keringen (bijvoorbeeld overal keringen van 20 meter breed), en de hoogte van de kering. Een belangrijke input leveren de klimaatverandering en bodemdaling (nagenoeg onontkoombaar) en de normen met betrekking tot het acceptabel risico (maatschappelijke en bestuurlijke keuze). Kosten van maatregelen, de verlaging van het overstromingsrisico en mogelijke andere maatschappelijke baten (naast de schadereductie) leveren een goede indicatie of een oplossing maatschappelijk wenselijk is (of op zijn minst een referentie om met andere mogelijkheden te vergelijken).



Figuur 4-1: Basis voor de overstromingsrisico analyse in dit onderzoek.

Dit onderzoek legt de nadruk op de functie van primaire waterkeringen: keringen die Nederland moeten beschermen tegen overstromingen vanuit zee, IJsselmeer, Markermeer en de grote rivieren. Voorbeelden van maatregelen en knelpunten zijn weergegeven in Figuur 4-2.

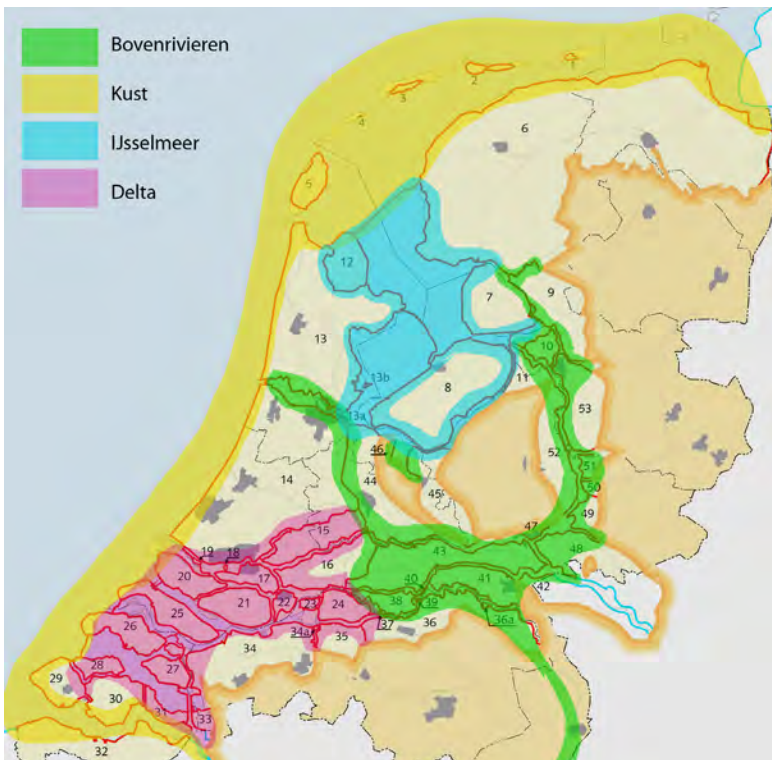


Figuur 4-2: Voorbeelden van maatregelen en knelpunten als gevolg van klimaatverandering.

De kosten op de waterbeheerkosten, zoals de toename van de pompkosten, zijn globaal ingeschat, maar worden in deze en volgende paragraaf buiten beschouwing gelaten. Dat geldt ook voor de kosten van verzilting.

De waterkeringen in Nederland zijn ingedeeld in vier deelsystemen (zie Figuur 4-3):

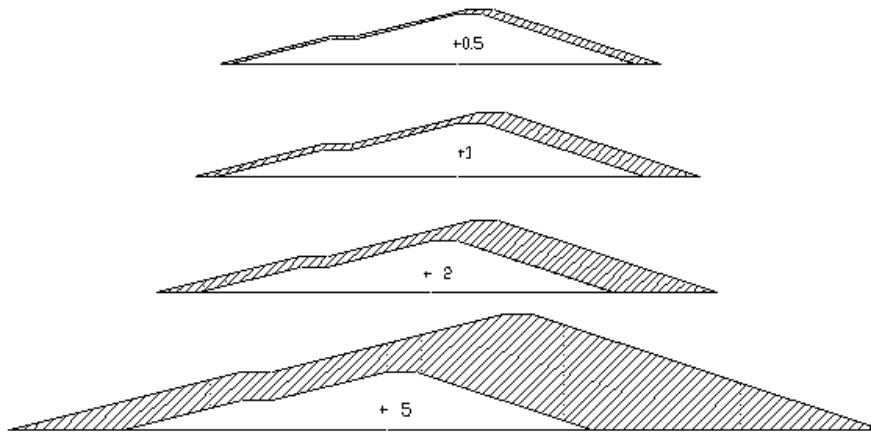
- Kust,
- Bovenrivieren,
- Deltagebied (= benedenrivierengebied), en
- IJsselmeer.



Figuur 4-3: Indeling van de dijkringen naar watersysteem.

In dit onderzoek is de volgende methode toegepast om de ontwikkeling van de kosten voor primaire waterkeringen in de toekomst te schatten:

- Per deelsysteem is ingeschat welke verandering van de waterkering nodig is voor de aanpassing van het systeem aan de verhoogde randvoorwaarden, zowel voor de waterstanden als voor de golven (een toename in de waterstand betekent veelal ook een verhoging van de golfhoogte).
- Vervolgens zijn de mogelijkheden voor maatregelen geïdentificeerd, en zijn oplossingen voor de knelpunten gekozen. Een voorbeeld van aanpassing van de waterkering van een verhoging van de waterstand is weergegeven in Figuur 4-4.
- Tot slot is een kostenindicatie opgesteld voor de vier deelsystemen voor een bepaalde mate van versterking van de waterkeringen.



Figuur 4-4: Profielverandering van zeekering als gevolg van verhoging van de zeespiegel

De conclusies van de analyse zijn:

- De ingrepen zijn bij de te verwachten veranderingen in de komende 200 jaar goed te realiseren. Het is in het onderzoek niet gebleken dat door bijvoorbeeld de slappe ondergrond het niet meer mogelijk zou zijn de keringen aan te passen. De noodzakelijke aanpassingen zullen niet tot onoverkomelijke technische knelpunten leiden.
- Een belangrijk knelpunt kan betrekking hebben op het grotere ruimtebeslag van grotere en bredere keringen (hoewel de omvang daarvan nog steeds relatief beperkt is ten opzichte van andere functies) en de maatschappelijke weerstand tegen deze aanpassingen.

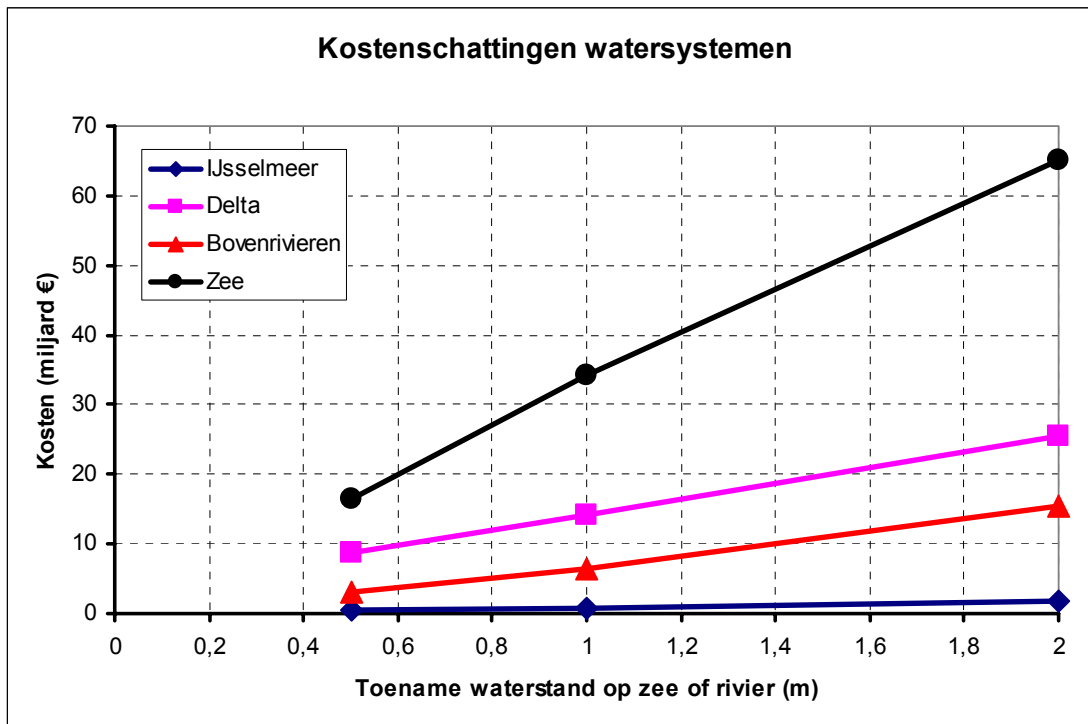
In de analyse zijn we ervan uitgegaan dat de huidige ontwerpmethodes conform de huidige richtlijnen worden toegepast – dit komt neer op dijkverhoging door het dijkprofiel te vergroten (in landelijk gebied), of de kering met constructies te verhogen (in stedelijk gebied). Tevens zijn we er van uitgegaan dat het kustfundament wordt gehandhaafd door middel van zandsuppleties conform het huidige beleid.

Andere typen keringen, bijvoorbeeld extra brede of overslagbestendige dijken, brengen extra kosten met zich mee, maar kunnen ook voordelen opleveren. Voordelen van brede dijken zijn dat de kans op doorbraak wordt gereduceerd (voornamelijk toepasbaar in het rivierengebied) en dat combinaties met andere functies mogelijk zijn. Groot voordeel van overslagbestendige dijken is dat er geen verbreding of verhoging van de dijk noodzakelijk is om een hogere belasting te weerstaan (voornamelijk in gebieden met veel golfaanval). Lokaal zal moeten worden afgewogen of deze voordelen opwegen tegen de (maatschappelijke) kosten.

In Figuur 4-5 zijn de uitkomsten van de analyse weergegeven. In deze figuur zijn de kosten per watersysteem gepresenteerd, waarbij gekeken is naar de kosten die gemaakt moeten worden bij aanpassing van het huidig stelsel aan waterkeringen, als functie van een toename van de maatgevende waterstand op zee of rivier. Een belangrijk uitgangspunt bij deze kosten schattingen is dat deze lineair zullen toenemen met de waterstand. Dit uitgangspunt is gekozen omdat de belangrijkste kosten parameters (bijv. grondgebruik en hoogte van de kering) lineair toenemen. Daarnaast wordt verwacht dat eventuele nieuwe knelpunten die bij versterking van keringen in stedelijk gebied kunnen ontstaan worden opgevangen met specifieke technische maatregelen.

De daadwerkelijke investeringen zijn afhankelijk van het klimaatscenario. De tijd tussen twee 'verbeteringsrondes' en de omvang van de verbeteringsstap zullen afhankelijk zijn van de snelheid van de veranderingen in het klimaat. Als een versnelde klimaatverandering wordt

geconstateerd kan men de frequentie van verbeteringen en/of de grootte van de verbeteringsstap opvoeren. Het is daarom niet nodig om bij de maatregelen die nu genomen worden nu al volledig de verwachte veranderingen in de komende eeuwen mee te nemen in het ontwerp. De omvang van de grootte van de verbeteringsstap heeft ook te maken met de "vaste" kosten (de kosten die gemaakt moeten worden onafhankelijk van de omvang van de verbeteringsstap). Daarbij is een moeilijk aan te passen stormvloedkering essentieel anders dan een gemakkelijk aan te passen gronddijk. Er zijn aanzienlijke onzekerheden rondom de kostenschattingen zoals gepresenteerd in Figuur 4-5, dit heeft onder andere te maken met de prijsontwikkeling van waterkeringen in de toekomst en de exacte hoeveelheid te verbeteren keringen. De schattingen moeten dan ook worden geïnterpreteerd in het licht van deze onzekerheden.



Figuur 4-5: Investeringskosten voor primaire waterkeringen bij toename van waterstand door klimaatverandering bij gelijkblijvende (wettelijke) beschermingsniveaus



## 5 Financiële gevolgen

De financiële gevolgen die de veranderende omstandigheden met zich meebrengen hangen af van de manier waarop we in het Nederlandse waterkeringsbeleid in de toekomst vorm zullen geven. We maken onderscheid in drie strategieën:

1. De waterkeringen blijven fysiek gelijk, maar de maatgevende waterstanden stijgen. Hierdoor nemen de overstromingskansen en de overstromingsrisico's toe;
2. De waterkeringen blijven voldoen aan huidige normen, dus deze keringen stijgen mee met de toename in waterstanden en golven. Deze benadering is vastgelegd in het huidige waterkeringsbeleid;
3. Toepassing van risicobenadering waardoor nieuwe beschermingsnormen worden vastgesteld. De schadetoename door economische groei en demografische ontwikkelingen wordt gecompenseerd door sterkere waterkeringen met een kleinere overstromingskans.

In het onderzoek zijn de tweede en derde strategie uitgewerkt. De kosten van de eerste strategie zijn eenvoudig te bepalen, omdat deze strategie geen additionele kosten met zich mee brengt. Bovendien lijkt de eerste strategie niet maatschappelijk acceptabel en is de Commissie Duurzame Kustontwikkeling gevraagd de risico's te beperken. Er zijn verschillende onzekerheden die de financiële gevolgen beïnvloeden, waaronder de kostenschattingen van de waterkeringen en de geschatte economische groei. De uitkomsten moeten dan geïnterpreteerd worden met inachtneming van deze onzekerheden. In het algemeen geldt: hoe verder in de toekomst, hoe groter de onzekerheid. De kostenschattingen voor 2200 moeten dan ook voornamelijk als indicatief worden beschouwd.

In het onderzoek zijn de kosten allereerst bepaald voor één basisscenario voor het klimaat, dat is gebaseerd op het Warm+ (W+) scenario<sup>1</sup> van het KNMI.

In Tabel 5-1 zijn de uitgangspunten opgenomen voor dit basisscenario.

| Jaar   | Huidig | 2040   | 2100   | 2200   |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Zeespiegelstijging (m)   | 0      | 0,28   | 0,85   | 2,00   |
| Peilstijging IJsselmeer (m)  | 0      | 0      | 0,48   | 1,63   |
| Maatgevende afvoer Rijn (debiet - [m <sup>3</sup> /s])                         | 16.000 | 16.400 | 18.000 | 20.000 |
| Maatgevende waterstand Rijn (toename waterstand t.o.v. huidige situatie - [m]) | 0      | 0,2    | 0,6    | 1,25   |
| Maatgevende afvoer Maas (debiet - [m <sup>3</sup> /s])                         | 3800   | 3950   | 4275   | 4750   |
| Maatgevende waterstand Maas (toename waterstand - [m])                         | 0      | 0,12   | 0,4    | 0,8    |

Tabel 5-1: *Uitgangspunten voor het gehanteerde klimaatscenario.*

<sup>1</sup> Dit is het meest extreme scenario van de vier door het KNMI uitgewerkte scenario's. In dit scenario is aangenomen dat de temperatuur in 2050 +2°C is gestegen ten opzicht van 2050. De winters worden zachter en natter door meer westenwind en de zomers worden warmer en droger door meer oostenwind.

Daarnaast is een alternatief scenario uitgewerkt met een snellere zeespiegelstijging die oploopt tot zo'n 1,75cm per jaar aan het eind van de 22<sup>e</sup> eeuw. Dit heeft effecten op de zeespiegel en resulteert in waterstanden van +0,4m, +1,25m, +3,0m in respectievelijk 2050, 2100 en 2200 (zie ook Figuur 3-1). Voor de bovenrivieren heeft dit geen effect op de maatgevende waterstanden, maar de maatgevende waterstanden langs de kust, in het IJsselmeer en de delta zullen gedeeltelijk meestijgen met zeespiegel.

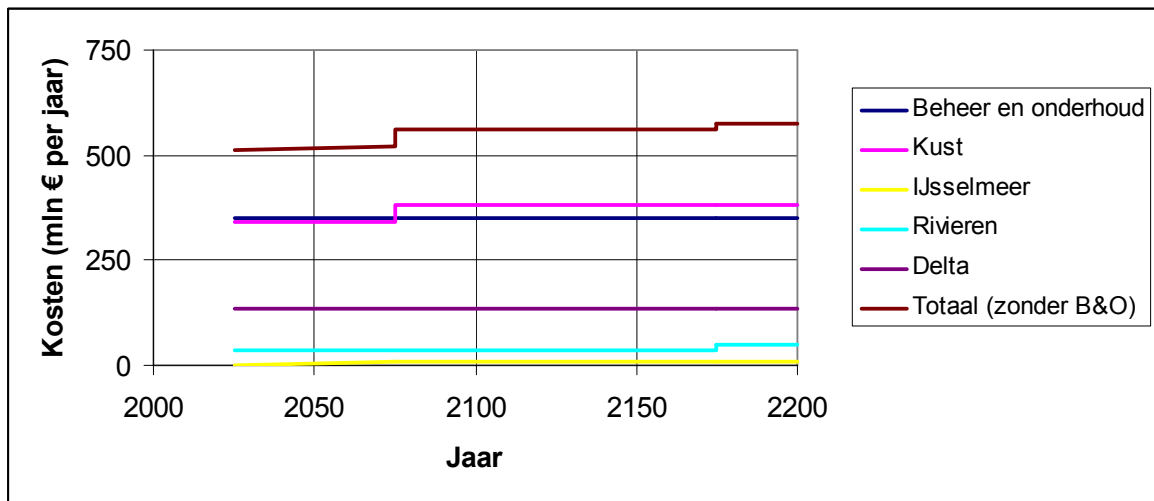
### Resultaten voor het basisscenario

In Figuur 5-1 zijn de verwachte kosten opgenomen bij het basisscenario in de periode na het jaar 2025, ervan uitgaande dat de waterkeringen de toename van de maatgevende waterstanden volgen. Hierbij is voor harde waterkeringen uitgegaan van een periodieke verbeteringsronde die ongeveer iedere 50 jaar plaatsvindt. Deze kosten zijn uitgesmeerd over een periode van 50 jaar om tot jaarlijkse kosten te komen. Uit de analyse blijkt het volgende:

- De beheer- en onderhoudskosten zijn met € 350 miljoen per jaar relatief hoog ten opzichte van de (gemiddelde) jaarlijkse verbeterkosten.
- De grootste kosten worden gemaakt voor het kuststelsel en voor dit stelsel zijn de kosten verdeeld over zandsuppleties (60%), harde waterkeringen (dijken – 30%) en de grote stormvloedkeringen (10%).
- De gemiddelde jaarlijkse kosten voor de meeste deelsystemen blijven redelijk constant over de komende decennia. In de berekening is rekening gehouden met het periodieke karakter van de investeringen in harde waterkeringen die globaal iedere 50 jaar versterkt zullen worden. Doordat de tussentijdse verbeteringsstap nauwelijks zal toenemen omdat de maatgevende omstandigheden met vrijwel constante snelheid veranderen blijven de kosten voor dit type keringen vrijwel constant.
- De geschatte totaalkosten voor beheer, onderhoud en versterking van waterkeringen stijgen van ongeveer € 860 miljoen in 2025 tot € 925 miljoen in 2200 inclusief beheer en onderhoud. Dit is een stijging van 7% over de hele periode en een gemiddelde jaarlijkse toename van 0,04%. De stijging komt met name voort uit de stijging van de kosten langs de kust (vervanging stormvloedkeringen).

Het is interessant deze verwachte kosten in de toekomst te vergelijken met de uitgaven die we nu maken aan beheer, onderhoud en versterking van waterkeringen. De kosten varieerden in de afgelopen periode tussen de € 300 en 700 miljoen per jaar [Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen, 2006]. De in de toekomst te verwachten kosten (ordegrootte € 900 miljoen) zijn dus groter dan de huidige kosten.

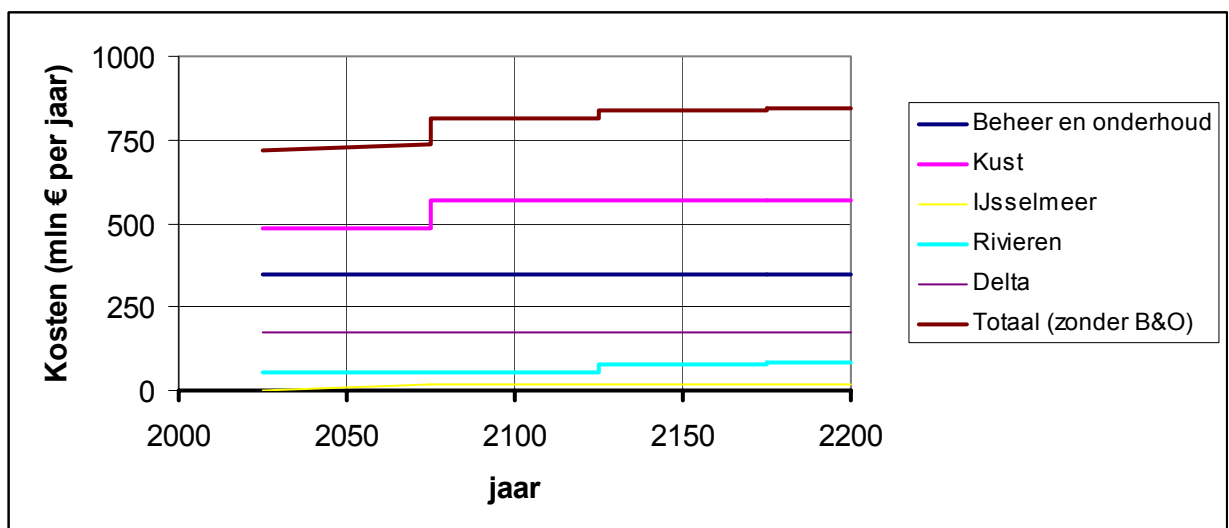
De kosten moeten wel worden gezien in relatie tot het BNP. Op dit moment zijn de kosten voor waterkeren 0,16% van het BNP, en bij de geprojecteerde stijging van het BNP zal de bijdrage van waterkeringen waarschijnlijk afnemen.



Figuur 5-1: Kostenontwikkeling bij het basisscenario bij vasthouden huidige normen. De kosten van het huidige Beheer en Onderhoud (B&O) zijn ter vergelijking opgenomen

Er is een tweede analyse gemaakt voor de ontwikkeling van de jaarlijkse kosten, waarbij als uitgangspunt gehanteerd is dat de toename in de risico's (door economische groei) gecompenseerd wordt door extra investeringen in de waterkeringen.

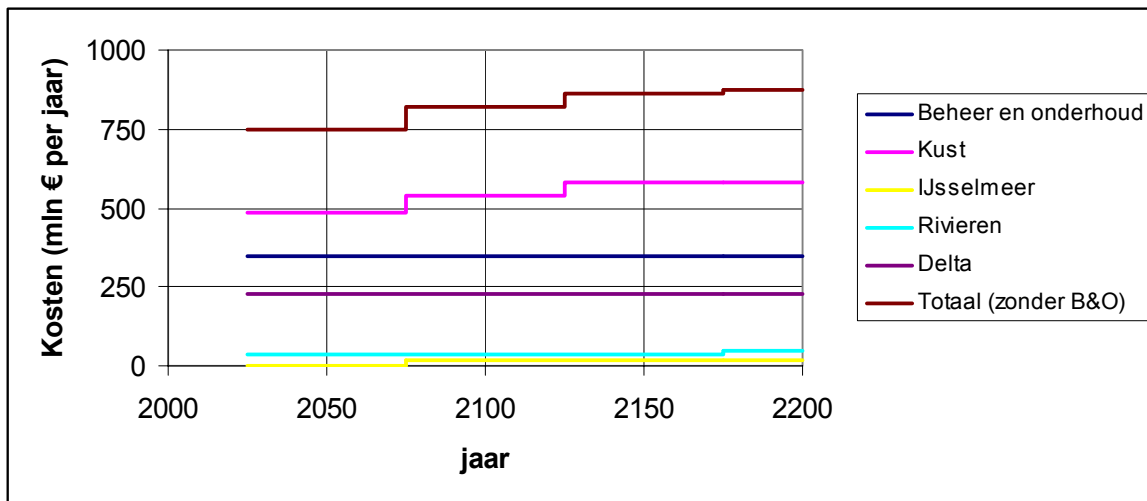
In Figuur 5-2 staan de uitkomsten weergegeven, bij het klimaatscenario zoals weergegeven in Tabel 5-1. Ook zijn ter vergelijking de kosten van het huidige Beheer en Onderhoud opgenomen. De uitgaven blijven in deze eeuw nog beperkt tot circa € 1 miljard per jaar, maar in de volgende eeuw stijgen deze uitgaven naar € 1,2 miljard per jaar inclusief kosten voor beheer en onderhoud. Dat is nog steeds een beperkt deel van het BNP. In Figuur 5-2 zijn de totale kosten zonder het huidige Beheer en Onderhoud (B&O) weergegeven.



Figuur 5-2: Kostenontwikkeling bij het basisscenario bij risicocompensatie.

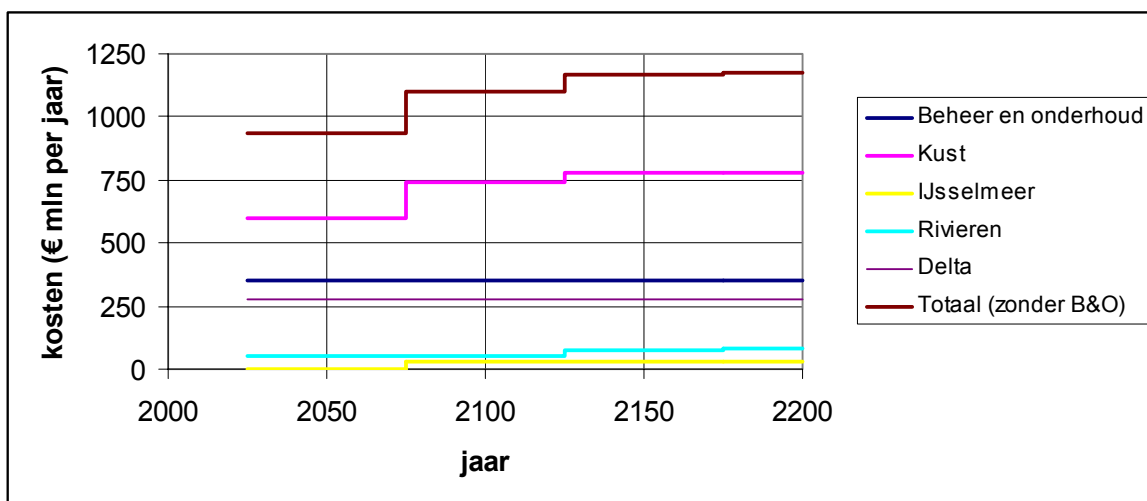
### Resultaten voor het alternatieve klimaatscenario met versnelde zeespiegelrijzing

De kostenschattingen zijn ook uitgewerkt voor het alternatieve klimaatscenario met versnelde zeespiegelrijzing. Figuur 5-3 toont de schattingen van de jaarlijkse kosten voor dit scenario voor het vasthouden van de huidige normen. In dat geval stijgen de kosten van ongeveer € 1,10 miljard Euro per jaar in 2025 tot € 1,22 miljard in 2200 inclusief beheer en onderhoud. De kosten in het jaar 2200 zijn in dat geval 32% hoger dan bij het basisklimaat scenario.



Figuur 5-3: Kostenontwikkeling bij het alternatieve klimaatscenario bij het vasthouden van de huidige normen.

Figuur 5-4 toont de schattingen van de jaarlijkse kosten voor dit scenario voor de risicobenadering. In dat geval stijgen de kosten van ongeveer € 1,28 miljard Euro per jaar in 2025 tot € 1,52 miljard in 2200 inclusief beheer en onderhoud. De kosten in het jaar 2200 zijn in dat geval 28% hoger dan bij het basisklimaat scenario.



Figuur 5-4: Kostenontwikkeling bij het alternatieve klimaatscenario bij de risicobenadering.

Bij het alternatieve scenario stijgt de zeespiegel ongeveer met 50% sneller dan in het basisscenario. Voor beide strategieën nemen de kosten met ongeveer 30% toe. De kosten nemen relatief minder snel toe doordat a) de snellere stijging in dit scenario alleen betrekking heeft op het kust en delta systeem en niet op de rivieren; b) de extra verhoging voor het alternatieve klimaatscenario relatief goedkoper is doordat de initiële kosten al gemaakt zijn. Er geldt wel dat de hoeveelheid te suppleren zand en de bijbehorende kosten lineair toenemen met de snelheid van zeespiegelrijzing. Er wordt bijvoorbeeld geschat dat bij het alternatieve klimaatscenario met snellere zeespiegelrijzing in het jaar 2200 ongeveer 120 Mm<sup>3</sup> gesuppleerd zal moeten worden voor het vasthouden van de huidige normen, vs. een geschatte suppletie hoeveelheid van 72Mm<sup>3</sup> per jaar bij het basisscenario.

Er is ook geanalyseerd wat de effecten zijn van een stijging van de kosten van zandsuppletie. In de basisberekeningen is een prijs van € 3 per m<sup>3</sup> zand aangenomen. In een

gevoeligheidsanalyse is een waarde van € 5 per m<sup>3</sup> gehanteerd. Hierdoor nemen de kosten voor het kuststelsel en de totale kosten toe. In combinatie met het alternatieve klimaatscenario resulteert dit in de volgende schattingen voor de jaarlijkse kosten in het jaar 2200:

- Voor het vasthouden van de huidige normen: € 1,46 miljard in het jaar 2200 inclusief beheer en onderhoud
- Voor het volgen van de risicobenadering: € 1,84 miljard in het jaar 2200 inclusief beheer en onderhoud.

De totale kosten zijn daarmee in beide gevallen zo'n 20% hoger dan voor hetzelfde klimaatscenario met lagere prijzen voor zandsuppleties.

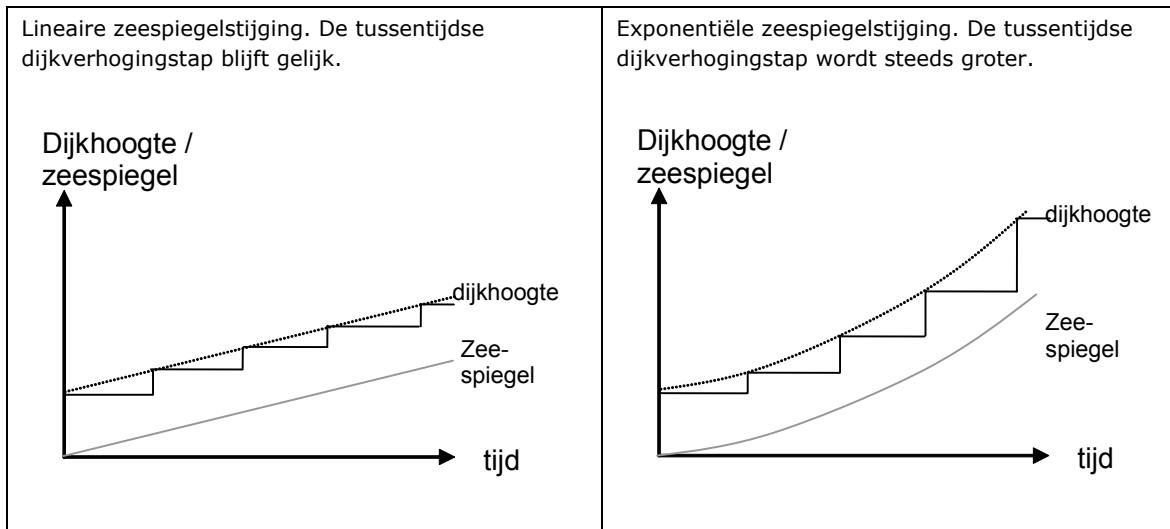
Hoewel de kosten voor het alternatieve scenario toenemen geldt voor beide strategieën (vasthouden huidige normen, risicobenadering) en ook bij hogere prijzen voor zandsuppletie dat de kosten naar verwachting betaalbaar blijven in de context van het BNP.

- Bij andere klimaatscenario's veranderen de kosten voor het aanpassen van de waterkeringen: bij scenario's die minder extreem zijn dan het gehanteerde scenario nemen de kosten af. Bij bijvoorbeeld een zeespiegelstijging die de helft is van het gehanteerde scenario bedragen de kosten meer dan 50% van de hierboven uitgerekenen kosten. Immers, bij aanpassing van de waterkering moeten ook 'vaste kosten' worden gehanteerd (kosten die onafhankelijk zijn van de omvang van de verhoging);
- bij scenario's die extremer zijn dan het gehanteerde scenario nemen de kosten toe, maar minder snel dan de relatieve toename van de zeespiegelrijzing. Er kan echter wel een grens zijn aan de zeespiegelrijzing die financieel en maatschappelijk op te vangen is, zoals is besproken hieronder.

### **Financiële houdbaarheid**

Men kan de vraag stellen of er een situatie is waarin het verdedigen van Nederland met waterkeringen niet meer houdbaar zal zijn. Dat is het geval als de kosten van het waterkeren niet meer opwegen tegen de baten.

De kosten hebben betrekking op de uitgaven aan waterkeringen. De verandering in deze kosten wordt sterk bepaald door de snelheid van de stijging van de zeespiegel (en verandering van andere maatgevende omstandigheden). Als de zeespiegel sneller stijgt zal er per verbeteringsstap meer geïnvesteerd moeten worden en/of zal de periode tussen de verbeteringsstappen verkleind moeten worden, zie Figuur 5-5. Door grotere en snellere dijkversterking zullen de kosten dan steeds sneller toenemen. Hierbij wordt opgemerkt dat er op basis van fysische analyses en historische ervaringen een bovengrens is vast te stellen voor het tempo van de zeespiegelstijging.



Figuur 5-5: Verschillende mogelijkheden voor versnelling van zeespiegel

De baten bestaan in brede zin uit de bescherming van de economische en maatschappelijke waarde. Door economische groei kan de te beschermen waarde stijgen en nemen dus ook de baten van bescherming toe. Er zijn echter scenario's denkbaar waarbij deze groei afneemt, stagneert of zelfs negatief wordt. Hierbij kan het gaan om structurele economische veranderingen (verlies concurrentiepositie, toenemende kosten vergrijzing) of ingrijpende gebeurtenissen die met een schokeffect een grote verandering veroorzaken, zoals een oorlog of een overstroming. Zelfs als het BNP niet meer zal stijgen zal het door de beperkte toename van de kosten voor waterkeringen (zie hierboven) zeer lang (vele eeuwen) duren voordat de waterkeringskosten een substantieel groter deel van het BNP gaan bepalen. Op basis van de huidige schattingen voor economische groei (1,5% per jaar) en ontwikkeling van kosten voor waterkeringen (minder dan 0,1% per jaar)<sup>2</sup> wordt niet verwacht dat er de komende twee eeuwen een omslagpunt te vinden zal zijn. De kosten voor waterkeren blijven naar verwachting betaalbaar. Dit geldt ook voor het alternatieve klimaatscenario met versnelde zeespiegelrijzing.

### Onzekerheden

In de kostenbeschouwingen zijn vele onzekerheden aanwezig. Deze onzekerheden hebben deels te maken met het "ontwerp" (wat gaat er precies gebouwd worden, en welke eisen worden daaraan gesteld?), en deels te maken met onzekerheden in de gehanteerde kentallen voor de eenheidsprijzen. Een voorbeeld is de kosten per m<sup>3</sup> voor het baggeren. Door schaalvergroting en innovaties kan deze prijs afnemen, maar door hogere energieprijzen en nieuwe eisen ten aanzien van de CO<sub>2</sub> uitstoot kan deze prijs ook toenemen. In onderstaande tabel is een kwalitatieve beschouwing opgenomen over een aantal factoren die de onzekerheid bepalen.

<sup>2</sup> Er geldt dus: als we een klein deel van de groei (bijv. 1/15 deel) zouden besteden aan de waterkeringen dan zou de toename in de kosten van waterkeringen eenvoudig op te brengen zijn.

| <b>Factor</b>   | <b>Heeft invloed op</b>   | <b>Effect kostenschattingen</b>  |
|---|---|--|
| Klimaatscenario   | Bij minder snelle klimaatverandering dan aangenomen, nemen kosten af  | Gemiddeld (orde 30% voor alternatief klimaatscenario)  |
| Nieuwe eisen voor compensatie, van bijvoorbeeld natuur of bewoners                  | Aanpassing op waterkeringen   | Toename kosten met 20-30%  |
| Toepassen van andere strategieën voor versterking waterkeringen                     | Ruimte voor de rivier i.p.v. dijkverhoging.   | Kosten van ruimtelijke maatregelen zijn veelal een factor 3 tot 5 hoger dan technische maatregelen               |
| Verandering prijsniveau, bijv. door stijging olieprijs of verandering kosten arbeid | Vooral afhankelijk van te gebruiken materialen. Dat is ook een keuze, bijvoorbeeld gebruik van damwanden of gronddijken | Door stijging kan de eenheidsprijs met 10-20% toenemen   |
| Verandering prijzen zandsuppletie   | Kosten voor beheer kuststelsel  | gemiddeld: totale kosten schatting stijgt 20% als suppletie prijs toeneemt van € 3 naar € 5 per m <sup>3</sup> . |
| Ontwikkeling nieuwe technieken (innovatie)  | eenheidsprijzen   | Invloed waarschijnlijk gering  |
| Ander beleid voor hoogwaterbeschermingen, bijv. andere normen                       | Beveiligingsniveau dat in de dijkringen wordt aangehouden verandert   | Gemiddeld  |
| Veranderingen in bouwvoorschriften voor zgn. klimaatbestendig bouwen                | Bouwkosten van objecten in dijkkringgebieden  | Toename kosten met 30-40%  |
| Extra functionele eisen kunstwerken   | Eenheidsprijzen   | Toename van totale kosten van 5-10%  |





## 6 Alternatieve strategieën en functiecombinaties

In de voorgaande analyse zijn we ervan uitgegaan dat de 'hoofdvorm' van het huidige Nederlandse poldersysteem (een aaneengesloten hoeveelheid dijkringen, dammen, polders en peilvakken) in tact blijft, en veelal aangepast wordt aan de veranderende omstandigheden. We werpen echter ook een blik op enkele alternatieve strategieën. Het aantal mogelijke strategieën is daarbij oneindig. Het is aan de Commissie Duurzame Kustontwikkeling om een aanbeveling te doen uit de vele mogelijkheden. Wij geven hier slechts enkele mogelijkheden aan:

1. Maatregelen om de gevolgen te verminderen, en niet de kans op overstromingen te verkleinen, zoals:
  - a. Megaterpen, compartimenteringsdijken, vluchtheuvels, aangepast bouwen.
  - b. Ontwikkeling van evacuatieplannen en hoogwatervluchtplaatsen.
  - c. Overstromingsverzekeringen en schadevergoeding.
  - d. Aangepast ruimtelijke ontwikkeling, zoals terugtrekken uit de Randstad.
2. Alternatieve opwaardering van de keringen, zoals:
  - a. De kering verbreden met zeer flauwe taluds, vooroevers of een extra dijk: we spreken dan van een 'keringzone'.
  - b. De kering niet verhogen of verbreden maar vooral versterken (aanpassen bekleding).
3. Het veranderen van de 'hoofdvorm' van het poldersysteem, zoals het verkorten van de totale lengte keringen die opgehoogd moeten worden. Dit kan door het plaatsen van permanente of tijdelijke dammen, waarmee overtollig water in een gewenste richting geleid kan worden.

Voor bijna alle strategieën geldt dat de benodigde ruimte meervoudig gebruikt wordt. Zelfs een simpele groene dijk is doorgaans op zijn minst 'openbare ruimte' (vergelijkbaar met een park of boulevard) of heeft een verkeersfunctie. Bij het Deltaplan na de watersnood van 1953 zijn de baten van de verbeterde weginfrastructuur in Zeeland expliciet meegenomen. De keuze voor multifunctionaliteit hangt af van het soort kering en de behoefte aan bepaalde functies in een bepaald gebied. Algemeen kunnen we stellen dat in de 21ste eeuw de druk op de keringen voor woningbouw en projectontwikkeling zal toenemen, omdat 'waterfronts' gewilde vastgoedlocaties zijn. Ook natuurontwikkeling en recreatie vragen om meer ruimte en tonen interesse in het gebied rond de waterkeringen.

### 6.1 Maatregelen om de gevolgen en kansen te verminderen

Er zijn vele maatregelen denkbaar om de gevolgen van een overstroming te beperken. Vanuit de historische hoofdlijn geredeneerd is hieraan in het verleden weinig aandacht aan besteed, en is in de afgelopen eeuw vooral aandacht besteed aan het voorkómen van overstromingen. Een belangrijke politieke vraag is of het maatschappelijk aantrekkelijk is om dat te veranderen. In dit onderzoek hebben we geen uitgebreide analyse verricht van de effecten van maatregelen om de gevolgen te beperken. Het valt ons ook op dat een maatschappelijke kosten-baten analyse van deze maatregelen in de Nederlandse context niet in de literatuur beschikbaar is. In Tabel 6-1 hebben we enkele effecten van enkele maatregelen weergegeven. Ter vergelijking

zijn naast de gevolgbeperkende maatregelen ook enkele maatregelen weergegeven die de kans beperken. De kosteninschatting is gebaseerd op het toepassen van de maatregel in dijkkring 14.

| Maatregel                | Risicoreductie                              | Kosten (orde grootte, in €) | Effectiviteit | Verstoring bestaande functies | Mogelijkheden functieintegratie |
|--------------------------|---|-----------------------------|---------------|-------------------------------|---------------------------------|
| <b>Beperken kans</b>     |   |                             |               |                               |                                 |
| Brede duinen             | Beperking doorbraakkans                     | Miljarden                   |               |                               |                                 |
| Voorland                 | Beperking kans golfoverslag                 | Honderden miljoenen         |               |                               |                                 |
| Kunstrif                 | Beperking kans golfoverslag                 | Honderden miljoenen         |               |                               |                                 |
| Superdijken              | Extreme schade onmogelijk                   | Miljarden                   |               |                               |                                 |
| <b>Beperken gevolg</b>   |   |                             |               |                               |                                 |
| Compartimenteren         | Maximaal halvering schade                   | Honderden miljoenen         |               |                               |                                 |
| Megaterpen               | Geen extra bescherming bestaande inrichting | Miljarden                   |               |                               |                                 |
| Rampenplannen            | Vooraf beperken slachtoffers                | Tientallen miljoenen        |               |                               | Nvt                             |
| Aanpassen bebouwing      | Beperken schade                             | Honderden miljoenen         |               |                               |                                 |
| Verzekeren/vergoeden     | Risicospreiding, geen reductie              | Tientallen miljoenen        |               |                               | Nvt                             |
| Hoogwater-vluchtplaatsen | Beperken slachtoffers en niet schade        | Honderden miljoenen         |               |                               |                                 |

Tabel 6-1: Kwalitatieve effecten van maatregelen om het overstromingsrisico te beperken (groen is aantrekkelijk, rood is niet aantrekkelijk, oranje is mogelijk aantrekkelijk)

Uit Tabel 6-1 kan geconcludeerd worden dat het aantrekkelijk is om rampbestrijdingsplannen te ontwikkelen. De risicoreductie is weliswaar gering (in vergelijking met dijken versterken of verhogen), maar de kosten zijn laag, zolang het bij de ontwikkeling van plannen blijft. Het ontwikkelen van megaterpen lijkt niet aantrekkelijk. Deze maatregel geeft een beperkte oplossing voor de economische schade en de resulterende maatschappelijke ontwrichting, omdat een groot deel van de bestaande bebouwing al in laaggelegen gebieden ligt.

## 6.2 Alternatief: opwaardering van de keringen

Dijkverhoging is de gangbare techniek voor het verkleinen van de doorbraakkans van een dijk. Er kan echter ook worden gekozen voor zogenaamde 'superdijken'. Hierbij wordt, populair gezegd, een dijk aangelegd die kan overstromen zonder door te breken. Deze kan bijvoorbeeld heel breed zijn, of een asfaltbekleding hebben. Gedurende de afvoerpiek kan er dan water over de dijk het gebied in stromen, zonder dat er grootschalige en plotselinge overstromingen optreden. Een groot voordeel van deze oplossing is dat de kans op een bres zeer klein wordt. En juist een bres zorgt voor het grootste gevaar op slachtoffers en grote schade. Ook is er meer ruimte voor overige functies aan het water, zoals wonen en recreatie. Een nadeel is het ruimtebeslag van deze dijk (bij verbreding) en de hoge aanlegkosten door het benodigde hoeveelheid dijkmateriaal en het erosiebestendig maken. Indien gekozen wordt voor deze techniek zal ook een hele dijkkring aangepakt gemaakt moeten worden, zodat het water niet alsnog via de zwakste plek binnen komt.

### 6.3 Het veranderen van de 'hoofdvorm' van het poldersysteem

Een andere mogelijkheid is het veranderen van de hoofdvorm van het systeem. Hierbij kan het gaan om schaalverkleining van bestaande polders en dijkkring (b.v. opsplitsen door compartimentering) of schaalvergroting (samenvoegen van dijkringen). Uit een globale analyse van mogelijkheden voor schaalverandering volgt het volgende:

- Op basis van een kosten-baten analyse is een uitspraak te doen over de effecten van schaalverandering op het economisch optimale beschermingsniveau. Bij het groter worden van de dijkkring neemt de schade sneller toe dan de benodigde investeringen voor bescherming<sup>3</sup>. De bescherming met behulp van waterkeringen wordt relatief goedkoper.
- De mogelijkheden voor schaalverandering zullen sterk bepaald worden door de aanwezigheid van fysieke grenzen. De huidige begrenzing van de dijkringen in Nederland is in veel gevallen bepaald is door de aanwezigheid van rivieren, kanalen, hoge gronden en andere landschappelijke elementen. Dit zal met name bepalend zijn bij schaalvergroting van dijkringen. Maatregelen zoals stormvloedkeringen en dammen zullen nodig zijn om bestaande dijkringen samen te voegen.
- In bepaalde gebieden kan de aanleg van binnendijken (schaalverkleining) relatief goedkoop zijn doordat al bestaande lijnelementen in het gebied aanwezig zijn die tegen relatief weinig kosten als binnendijk kunnen worden gebruikt. In andere gebieden kan aanleg van extra binnendijken juist extra duur zijn omdat bijvoorbeeld nieuwe dijken in bebouwd gebied aangelegd moeten worden. In alle gevallen zal een integrale analyse moeten uitwijzen wat het meest aantrekkelijk is: aanleggen of versterken van binnendijken, of de buitenkant versterken, of een combinatie van beide strategieën.

De totale lengte aan primaire waterkeringen kan aanzienlijk gereduceerd worden door technische maatregelen. Een vergaande oplossing is gepresenteerd in Figuur 6-1. Het aantal te versterken km waterkeringen is hier met een factor 3 gereduceerd: van de huidige 3000 km naar circa 1000 km. Een belangrijke maatregel is het niet ophogen van de dijken langs Lek en IJssel en het extra ophogen van de keringen langs de Waal.

---

<sup>3</sup> Het oppervlak van het gebied en daarmee de schade neemt kwadratisch toe met de doorsnede van de dijkkring. De lengte van de waterkeringen en de bijbehorende kosten neemt lineair toe met de doorsnede van de dijkkring.



Figuur 6-1: Beperking van aantal kilometers primaire waterkeringen (WaterInnovatiebron WINN, RWS)

## 6.4 Voorbeeld: ontwikkeling van de Rotterdamse delta

De case 'Benedenrivieren' (Rotterdam en omgeving, Rijn-Maasmond) illustreert hoe het mogelijk is om met strategische keringen en een nieuwe rivier de totale lengte op te hogen dijken te reduceren.

Naarmate enerzijds de klimaatverandering doorzet en anderzijds de druk op de waterfronts toeneemt kan het verstandig zijn hoogwater te leiden naar gebieden waar dijkverhoging minder problematisch is en waar de druk op de buitendijkse gebieden geringer is. Met beweegbare keringen en een nieuwe rivier kunnen Rotterdam, de Europoort en de Drechtsteden worden vrijgesteld van hoogwater vanuit de Waal, de Lek en de Maas bij een hoge zeewaterstand. De plaats, de vorm en de kosten van de keringen en de nieuwe rivier hangen onder andere af van de ontwikkeling van de scheepvaart, druk op de waterfronts, behoefte aan recreatie en natuur in het oosten en zuiden van het benedenrivierengebied, en vooral de mogelijkheden (en onmogelijkheden) voor dijkverhoging.

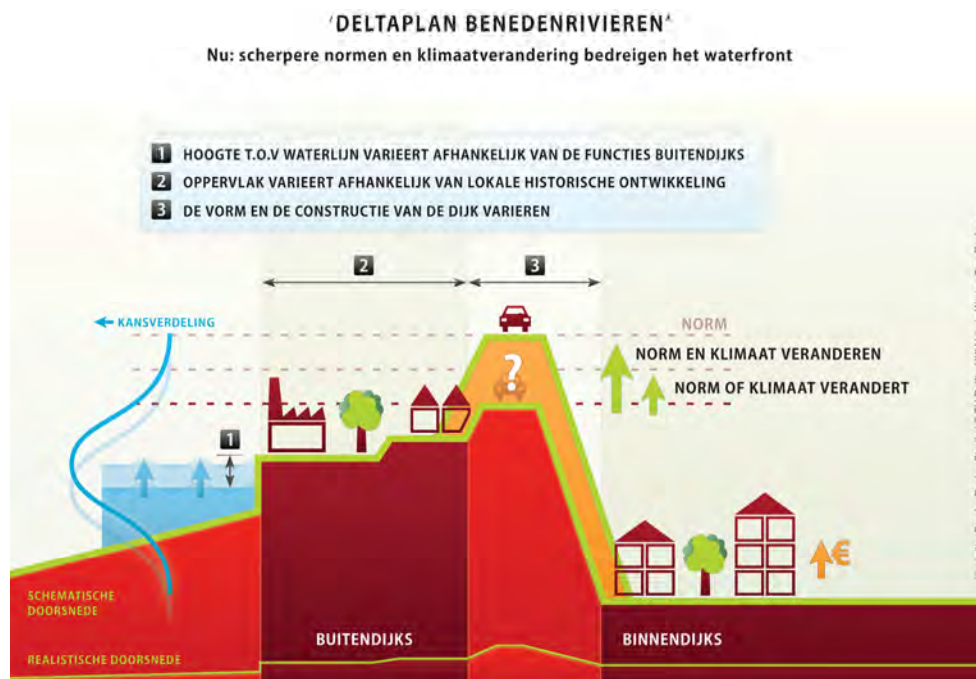
Dijkverhoging kan noodzakelijk zijn door consequenties van klimaatverandering of verscherpte normen (de twee basisscenario's van dit rapport). Als de normen niet verscherpt worden, zijn er twee analyses die de bouw van de keringen en de nieuwe rivier (dus als alternatief voor dijkverhoging) rechtvaardigen. Ten eerste kunnen de maatgevende waterstanden door de klimaatverandering wijzigen, en worden er bij gelijk blijvende normen steeds meer dijken afgekeurd. Op basis van de aannames in dit rapport kan dat ergens tussen 2025 en 2050 zijn. Ten tweede kunnen de baten van nieuwe waterfrontontwikkeling en bestaande buitendijkse bescherming opwegen tegen de kosten van de keringen en de nieuwe rivier. Dan geldt: 'hoe eerder hoe beter'. Immers, er zijn al veel waterfrontontwikkelingen in het gebied gaande die worstelen met de kans op hoogwater, en elk jaar lopen de buitendijkse gebieden een kans op wateroverlast.

Het idee, geïllustreerd in Figuur 6-2 t/m Figuur 6-5, leunt op de simpele gedachte om het gevaar van het water buiten het stedelijk gebied te houden. Dit kan zonder (op korte termijn) de scheepvaart te verstoren met behulp van beweegbare keringen en omleidingen van het rivierwater door het landelijk gebied. Vooral de private sector en de regionale overheden hebben op korte termijn baat bij de keringen; het gehele land op lange termijn. De voorlopige kosten van dit project worden geschat op 2 miljard euro voor de keringen en de nieuwe rivier;

de vermeden kosten voor dijkverhoging worden op een veelvoud van deze 2 miljard geschat. De extra baten door de waardesprong van het gebied zitten hier nog niet in. Hoewel deze initiële schattingen worden omgeven door aanzienlijke onzekerheden lijkt het project meer dan kostendekkend te zijn.



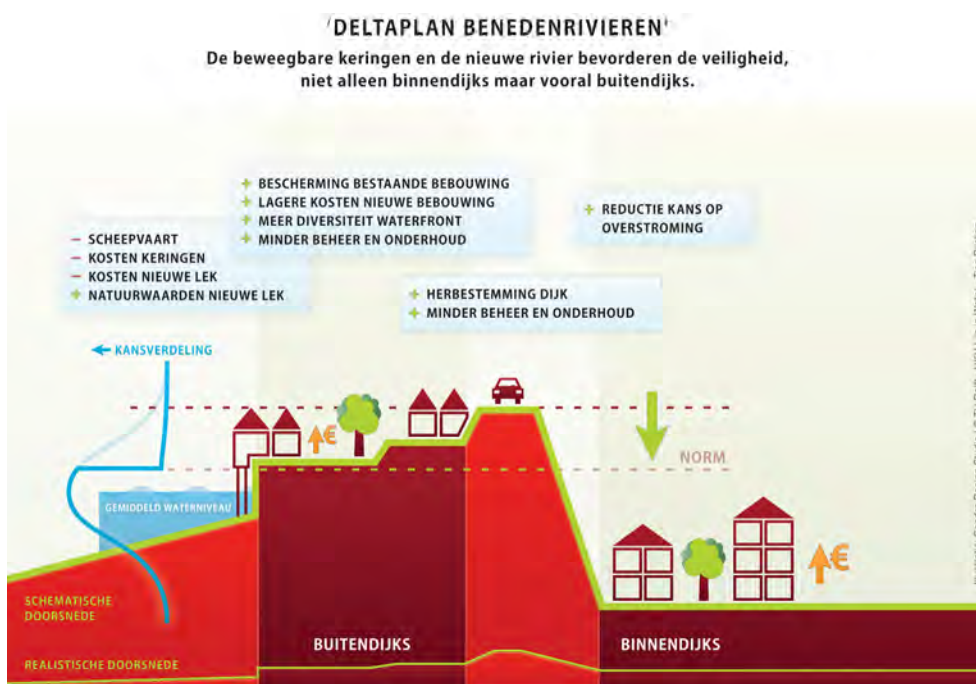
*Figuur 6-2: Huidige situatie in het Benedenrivierengebied: bij combinaties van hoge waterstand op zee en de rivieren lopen de buitendijkse gebieden langzaam onder, en neemt de kans op een dijkdoorbraak toe (tekening TU-Delft / HKV LIJN IN WATER).*



*Figuur 6-3: Om het binnendijkse gebied beter te beschermen (bij veranderende normen of waterstanden) moeten wellicht de dijken worden verhoogd. De bescherming van het buitendijkse gebied blijft gelijk (tekening TU-Delft / HKV LIJN IN WATER).*



Figuur 6-4: Alternatief in het Benedenrivierengebied. De beweegbare keringen gaan alleen bij hoog water omlaag en beschermen daarmee steden als Rotterdam en Dordrecht, niet alleen binnendijks maar ook de buitendijkse gebieden. NB: voor Zeeland is aangenomen dat de Grevelingen en het Volkerak rivierwater bufferen maar zonder extra dijkverhoging (tekening TU-Delft / HKV LIJN IN WATER).



Figuur 6-5: De frequentie van sluiten van de keringen en daarmee de ligging van het maximum waterpeil moet volgen uit een analyse naar de inspanning en verstoringen versus de opbrengsten van de ingreep (tekening TU-Delft / HKV LIJN IN WATER).

## 7 Conclusies en aanbevelingen

In hoofdstuk 2 van dit rapport zijn vragen geformuleerd waarop dit onderzoek een antwoord geeft:

1. *Welke bedreiging van het watersysteem (regen, droogte, dijkdoorbraak, etc), is het meest gevaarlijke en de meest cruciale als het gaat om de vraag of het Nederlandse polderconcept op termijn nog houdbaar is?*

Uit onze analyse is gebleken dat de aanpassingen van het stelsel van 'primaire waterkeringen' (de waterkeringen die bescherming tegen hoogwater op zee, IJsselmeer, Markermeer en de grote rivieren) het meest cruciaal zijn als het gaat om de vraag of Nederland nog houdbaar is. Andere effecten van mogelijke klimaatverandering, zoals meer neerslag in korte periode en meer droogte, lijken minder belangrijk te zijn.

2. *Hoe zou het poldersysteem mee kunnen groeien met de veranderende omstandigheden? Wat kost het ons om het huidige poldersysteem mee te laten groeien met een veranderend klimaat en de kans op een overstroming gelijk te houden aan de huidige situatie?*

Er zijn geen technisch belemmeringen om door te gaan met het versterken van waterkeringen. Bij het door ons gekozen klimaatscenario verdubbelen de kosten van maatregelen naast het reguliere beheer en onderhoud in de loop van deze eeuw. De absolute omvang van de kosten blijven daarbij onder het bedrag van € 1 miljard per jaar. Dat is nog steeds slechts een klein deel van bijvoorbeeld de baten uit de aardgaswinning, die in 2007 circa € 10 miljard bedroegen.

3. *Wat zou het kosten om de kans op een overstroming nog verder te verkleinen door de dijken nog verder op te hogen?*

De huidige normen voor de primaire keringen (tegen catastrofale overstromingen) zijn afkomstig uit de jaren 50 van de vorige eeuw. Die normen waren gebaseerd op het te beschermen kapitaal en de middelen om in risicoreductie te investeren. Sindsdien is de bevolking verdubbeld, wonen er meer mensen in diepe polders en is de economie vertienvoudigd. De overstromingsschade is fors toegenomen en de middelen om het risico te beperken eveneens. Onderzocht is of het technisch en financieel mogelijk is om de kans op een overstroming verder te verkleinen. In deze strategie compenseert de afname van de overstromingskans de toename van de schade en zal de overstromingskans in de tijd dus steeds verder afnemen. Uitgaande van 1,5% economische groei per jaar zal de economische schade globaal een factor 20 toenemen tot het jaar 2200 en daarmee neemt in deze strategie de overstromingskans een factor 20 af. De conclusie is dat het goed mogelijk is om het risico met deze strategie constant te houden. De extra versterking t.o.v. de strategie "vasthouden huidige normen" is relatief beperkt (afhankelijk van het beschouwde systeem 0,20 tot 0,50m extra per verbeteringsronde iedere 50 jaar). De jaarlijkse kosten van de maatregelen voor deze strategie nemen dan toe tot circa € 1,5 miljard per jaar. Bij een beschouwd alternatief klimaatscenario met snellere zeespiegelrijzing (tot +3m in het jaar 2200) geldt dat de kosten voor beide strategieën met ongeveer 30% toenemen ten opzichte van het beschouwde basisscenario, maar ook bij dit alternatieve scenario blijven de kosten betaalbaar.

Samengevat: als Nederland bereid is om de komende eeuw jaarlijks € 0,5 tot 1 miljard uit te geven aan het voorkomen van overstromingen blijft de kans op overstromingen gelijk aan de

huidige kans, bij € 1 tot 1,5 miljard blijft het veiligheidsniveau proportioneel afnemen met het te beschermen kapitaal en de beschikbare investeringsmogelijkheden zodat het risico constant blijft. De kostenschattingen zijn onzeker, maar geven wel een indicatief en richtinggevend beeld.

Naast deze hoofdvragen is ook een verkenning uitgevoerd naar de volgende drie vragen:

4. *Zijn er ook andere manieren dan dijkverhoging om overstromingsrisico's te beperken?*

Omdat er een gelimiteerd bedrag beschikbaar is voor beperking van de risico's, is het van groot belang om allereerst uit te gaan van de effectiviteit van de maatregel, aangevuld met andere baten van het maatregelpakket. De waterbouwkundige en risicoanalytische kennisbasis stelt dat het voor een land als Nederland effectiever is om vooral te investeren in de verkleining van de overstromingskans. Dit is niet alleen gelegen in een gunstige kosten-baten verhouding (investerings-risicoreductie), maar ook in de grote lange termijn vervolg schade na een zware overstroming: 'voorkomen is duurzamer dan genezen'. Lokaal kan dit echter anders uitpakken. Bijvoorbeeld in Vlieland waar de kosten en baten van bescherming niet direct in evenwicht zijn. Er zijn wel vele andere mogelijkheden om het overstromingsrisico te beperken, maar vele mogelijkheden zijn maatschappelijk niet effectief.

5. *Zijn er mogelijkheden voor schaalvergroting (samenvoegen van dijkringen) of schaalverkleining (compartimentering)?*

Er zijn vele mogelijkheden om de hoofdvorm van het poldersysteem te veranderen, bijvoorbeeld de afvoer op de IJssel en de Lek te begrenzen. Wij hebben voor de Rijn-Maas monding enkele mogelijkheden onderzocht, met als bijkomend voordeel het bevorderen van de stedelijke ontwikkeling nabij de 'waterfronts'. Door het aanleggen van een beperkt aantal dammen kunnen op korte termijn aanzienlijke voordelen behaald worden. De mogelijkheid van schaalverkleining staat haaks op de historische hoofdlijn, en het is nog niet duidelijk met welke argumenten afgeweken kan worden van de historische trend.

6. *Hoe kunnen er door functiecombinaties bijkomende baten ontstaan?*

Naast het keren van water, hebben op dit moment waterkeringen nog vele andere functies (ontsluiting van gebieden, fietspaden, zoetwaterbassins, natuur, ...). Deze andere functies kunnen worden versterkt, waarbij met name het ontwikkelen van 'waterfronts' kansrijk lijkt.

Naar aanleiding van ons onderzoek geven we de volgende aanbevelingen aan de Deltacommissie:

1. De financiële effecten van het aanpassen van waterkeringen zijn bepaald bij één specifiek klimaatscenario. We bevelen aan om deze effecten ook kwantitatief in beeld te brengen voor andere scenario's.
2. Voor maatschappelijke acceptatie van het versterken van waterkeringen lijkt het aantrekkelijk om uit te gaan van functiecombinatie nabij de kering. Uit onze historische analyse blijkt dat er nu al sprake is van functiecombinatie. Het is echter belangrijk om bij functiecombinatie te benoemen om welke functies het gaat, en om daarbij de effectiviteit van deze combinaties te onderzoeken. We bevelen aan een overzicht te maken van nieuwe functiecombinaties die in de toekomst aantrekkelijk kunnen worden, en daarvoor ook een juridisch kader te ontwikkelen.



3. Het aanpassen van de hoofdvorm is in de afgelopen eeuwen een hoofdlijn in de ontwikkeling geweest bij het verminderen van de overstromingsrisico's. Het is denkbaar dat ook in de toekomst deze trend wordt voortgezet. De maatschappelijke kosten en baten van een dergelijke strategie zijn niet bekend, en wij bevelen aan om deze effecten in beeld te brengen, in samenhang met de verschillende visies op natuurontwikkeling in een kunstmatig poldergebied.
4. Ontwikkel een besliskundig raamwerk waarin de baten van het beperken van overstromingsrisico's gestandaardiseerd wordt, en waarin afgewogen kan worden wanneer extra geïnvesteerd dient te worden in het beperken van de gevolgen van klimaatontwikkeling. Een voorbeeld van een dergelijk raamwerk op een ander beleidsterrein is de leidraad Overzicht Effecten Infrastructuur (OEI). Een dergelijk besliskader kan voorkomen dat er in 'hype' maatregelen geïnvesteerd wordt.
5. Op dit moment worden waterkeringen op een zodanige manier ontworpen dat deze 'doorbraakvrij' zijn bij waterstanden die lager of gelijk zijn aan de ontwerpwaterstand (die bepaald wordt door de norm uit de Wet op de Waterkering). Er zijn ook vele andere ontwerpfilosofieën mogelijk. Een voorbeeld is: maak waterkeringen zodanig dat ze bij 'elke' waterstand doorbraakvrij zijn (dit kan door de keringen hoger, of breder te maken, maar ook door middel van aanpassingen aan de bekleding, of een combinatie). Het lijkt verstandig om de verschillende mogelijkheden te onderzoeken op basis van effectiviteit.
6. Voor de Rotterdamse delta is door ons een globale verkenning uitgevoerd naar alternatieven om de ontwikkeling van de stad te versterken. Eén van de mogelijkheden is het versterken van het ontwikkelen van waterfronts. Op korte termijn kan een strategische verkenning uitgevoerd worden naar andere opties, en de gevolgen van deze alternatieven op kaart uitbeelden.
7. Voer een strategische verkenning uit voor de Zeeuwse delta. Welke opties zijn er op termijn om het gebied te beschermen, welke maatschappelijke functies willen we rond het water versterken en wat zijn de gevolgen van dergelijke keuzes? Op basis van deze verkenning kan een richting aangegeven worden voor de toekomstige ontwikkeling van deze delta.
8. Ontwikkel een kaart van Nederland met daarin ingetekend de 'levensduur' van de polder in relatie tot klimaatverandering en bodemdaling, waarbij met name de lokale kwel en het ontbreken van een deklaag in de bodem de levensduur bepalen. Dit is afhankelijk van lokale eigenschappen van een polder, er kunnen geen generieke uitspraken over worden gedaan. De beschikbaarheid van de benodigde gegevens verschilt per polder. De levensduur wordt gekoppeld aan de functie die het gebied heeft, omdat verschillende functies verschillende eisen stellen aan waterkwantiteit en waterkwaliteit. In het advies van de Onderzoekscmissie Water en Bodemdaling Groot-Mijdrecht Noord is hiervoor een aanzet gegeven [Remkes *et al.*, 2007].



## 8 Referenties

[Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen, 2006]

*Tussensprint naar 2015 – advies over de financiering van de primaire waterkeringen voor de bescherming van Nederland tegen overstroming*, 2006.

[LR, 2006]

Leidraad Rivieren, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, 2006.

[Van de Ven *et al.*, 2003]

*Leefbaar Laagland. Geschiedenis van de waterbeheersing en landaanwinning in Nederland.*  
G. van de Ven *et al.*, Matrijs, 2003.

[Woud, 2006].

Woud, Auke van der, 2006. *Een nieuwe wereld. Het ontstaan van het moderne Nederland.*  
Uitgeverij Bert Bakker.

[Remkes *et al.*, 2007]

*Water en Bodemdaling in Groot-Mijdrecht*, Onderzoekscommissie Water en Bodemdaling  
Groot-Mijdrecht Noord ('Commissie Remkes'), Utrecht, december 2007.



## **Bijlagen**



# Bijlage 1 Technische houdbaarheid van het polderconcept

In deze bijlage gaan we in op de technische houdbaarheid van het polderconcept en wordt de opgave voor de poldersystemen als gevolg van klimaatverandering en bodemdaling in beeld gebracht. Hoe groter het waterstandsverschil tussen buitenwater en binnenpeil, des te groter de inspanningen die hiervoor nodig zijn (hogere waterkeringen en pompcapaciteit, maar ook hoe groter de kweldruk en verzilting). De belangrijkste vraag is: Vormen de technische mogelijkheden van waterkeringen en pompen een beperking voor het polderconcept in het licht van de verwachte maatgevende omstandigheden van het buitenwater, piekneerslag, kwel, en verzilting in 2200? Zo ja, bij welke omstandigheden houdt het technisch gezien dan op?

## 1.1 Inleiding, afbakening en aanpak

In deze bijlage wordt de technische houdbaarheid van het polderconcept verkend. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen waterkeringen en het polder/boezemsysteem. Voor de waterkeringen wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende watersystemen: kust, bovenrivieren, delta en meren. Per watersysteem is onderzocht wat de invloed van klimaatverandering (zeespiegelstijging, meerpeilstijging en afvoerstijging) is, waar de technische knelpunten liggen en wat de kosten zijn voor het in stand houden van het huidige systeem.

### 1.1.1 Algemene aanpak

Er wordt in deze studie onderscheid gemaakt tussen technische en economische houdbaarheid. Bij de bepaling van de technische houdbaarheid is gekeken waar de knelpunten liggen indien de huidige aanpak zou worden voortgezet en welke veranderingen in aanpak er eventueel noodzakelijk zijn om het polderconcept te handhaven. Bij de *technische* component worden beschouwd:

- Faalmechanismen: deze resulteren in het falen van een dijk. Onvoldoende *hoogte* zal het eerste gevolg van klimaatverandering zijn. Hogere dijken en waterstanden resulteren vervolgens mogelijk in grondmechanisch falen door instabiliteit (inzakken na verzadiging) en piping (uitspoelen grond onder dijk).
- Ruimtebeslag: hogere dijken hebben extra breedte nodig. Deze breedte resulteert of in benodigde aankoop van grond in het geval er geen bebouwing is, of in speciale aanpassingen in het geval bebouwing aanwezig is.

De technische en de *economische* component zijn nauw met elkaar verbonden. Bij extremere randvoorwaarden wordt het steeds uitdagender om met robuuste oplossingen te komen. Wellicht dat technisch haalbare oplossingen kunnen worden gevonden, maar dat de kosten hiervan extra hard stijgen. Er is naar gestreefd om de kostenontwikkeling als functie van de stijging van de maatgevende waterstand te bepalen en inzichtelijk te maken, waarbij is uitgegaan van het huidige prijspeil. Er zijn vier randvoorwaarden beschouwd waarvoor een kostenindicatie is bepaald: een waterstandstijging van 0,5m, 1m, 2m en 5m. Een waterstandstijging van 5,0 valt enigszins buiten de 'huidige situatie' en wordt dus voornamelijk kwalitatief beschouwd.

### 1.1.2 Algemene uitgangspunten

Het algemene uitgangspunt is een situatie waarvan de huidige bekende zwakke plekken langs de kust (de zwakke schakels) zijn opgelost, naar verwachting is dit rond 2025 het geval [AFPW, 2007]. Dit betekent dat onder andere de programma's Ruimte voor de Rivier, de Maaswerken en het Hoogwaterbeschermingsprogramma zijn afgerond. Ook eventueel aanwezige 'oversterkte' (verschillende keringen zijn hoger en sterker dan ze minimaal zouden moeten zijn, bijv. omdat ze zijn ontworpen bij hogere maatgevende afvoeren uit het verleden) wordt niet meegenomen. Er wordt dus vanuit gegaan dat een verandering in een hydraulische randvoorwaarde leidt tot een integrale aanpassing van het systeem. Dijken worden verhoogd (en verbreed) om hogere waterstanden en golven te keren; zand wordt opgespoten om de basiskustlijn en estuaria te handhaven; stormvloedkeringen worden ingezet om in het deltagebied de waterstanden te beheersen en het IJsselmeer spuit onder natuurlijk verval zolang dit mogelijk is. Voor specifieke uitgangspunten per deelsysteem wordt verwezen naar de betreffende paragraaf.

### 1.1.3 Benadering voor het bepalen van de toekomstige ontwikkeling van kosten voor waterkeringen

In deze bijlage worden indicatieve, grove schattingen gepresenteerd voor de toekomstige ontwikkeling van de kosten voor de waterkeringen. Er wordt een aantal aannames gedaan en de uitkomsten moeten dan ook altijd in het licht van deze aannames worden beschouwd.

Bij het vaststellen van de kosten voor waterkeren in Nederland zijn er twee typen kosten te onderscheiden:

- 1) Verbeteringskosten voor versterking (verhoging en verbreding) van de waterkeringen.  
Hierbij gaat het om:
  - a) Dijken en kleinere constructies: hiervoor nemen we een stapsgewijze verbetering met een periode van 50 tot 75 jaar aan.
  - b) Voor grote waterkerende constructies (Deltawerken, Maeslantkering) maken we een analyse waarin vanaf de huidige situatie wordt gekeken tot welk niveau van zeespiegelstijging de constructie nog voldoet. Vervolgens moet de constructie integraal verbeterd/vervangen worden. Per constructie wordt een schatting gemaakt van de levensduur vanaf de huidige situatie en de vervangingskosten.
  - c) Kleine kunstwerken: in het bovenrivierengebied, benedenrivierengebied en merengebied is een aanzienlijke hoeveelheid kunstwerken aanwezig (o.a. sluisen). Deze moeten vaak ook aangepast worden bij hogere ontwerpwaterstanden. In deze studie worden de kosten voor verbetering van deze kunstwerken meegenomen in de vorm van toeslagfactoren op de kosten van de dijken.
  - d) Voor de zandige kust geldt dat de suppleties voor het handhaven van het kustfundament en de basiskustlijn moeten worden opgevoerd bij toenemende zeespiegelstijging.
- 2) De kosten voor beheer en onderhoud:
  - a) Harde waterkeringen: voorlopig nemen we aan dat deze voor harde waterkeringen onafhankelijk zijn van de hoogte/breedte van de waterkering en onafhankelijk zijn van de hoogte van de zeespiegel en de rivierwaterstanden. De kosten voor beheer en onderhoud worden op dit moment geraamd op: 350 M€ per jaar [AFPW, 2007]. Met andere woorden: de kosten hangen alleen af van de lengte van de kering;
  - b) De kosten voor het dagelijks beheer en onderhoud van de zandige kust worden in post 1d meegenomen.



### *Schatting verbeteringskosten*

Er wordt bij de verbeteringen aangenomen dat het huidige systeem op orde is. Dit is waarschijnlijk na 2015 het geval en gaat ongeveer € 1.6 miljard kosten (bron: Water in Beeld 2007). De kosten voor verbetering van het systeem, voor aanpassing aan de veranderde randvoorwaarden, worden bepaald aan de hand van bestaande studies door [Eijgenraam, 2005], [RWS, 2004], RIZA, [2005] en [Arcadis & Fugro, 2006]. Tevens worden de volgende toeslagen gebruikt:

- Er wordt een toeslag van 10% gehanteerd ter compensatie van eventueel ruimtebeslag.
- Er wordt een toeslag van 10% gehanteerd om de kosten voor het aanpassen van kleine kunstwerken te verdisconteren.
- Voor onvoorziene knelpunten bij extreme extrapolaties en om de grondgesteldheid mee te kunnen nemen, is een toeslag gelijk aan het kwadraat van de hoogte van de kering gebruikt, vermenigvuldigd met 0,1 (toeslag =  $h^2/10$ ).
- In stedelijk gebied is aangenomen dat verbeteringen een factor 2 duurder zijn.
- Het deltagebied bestaat voor 20% uit stedelijk gebied.

### *Extrapolatie kosten*

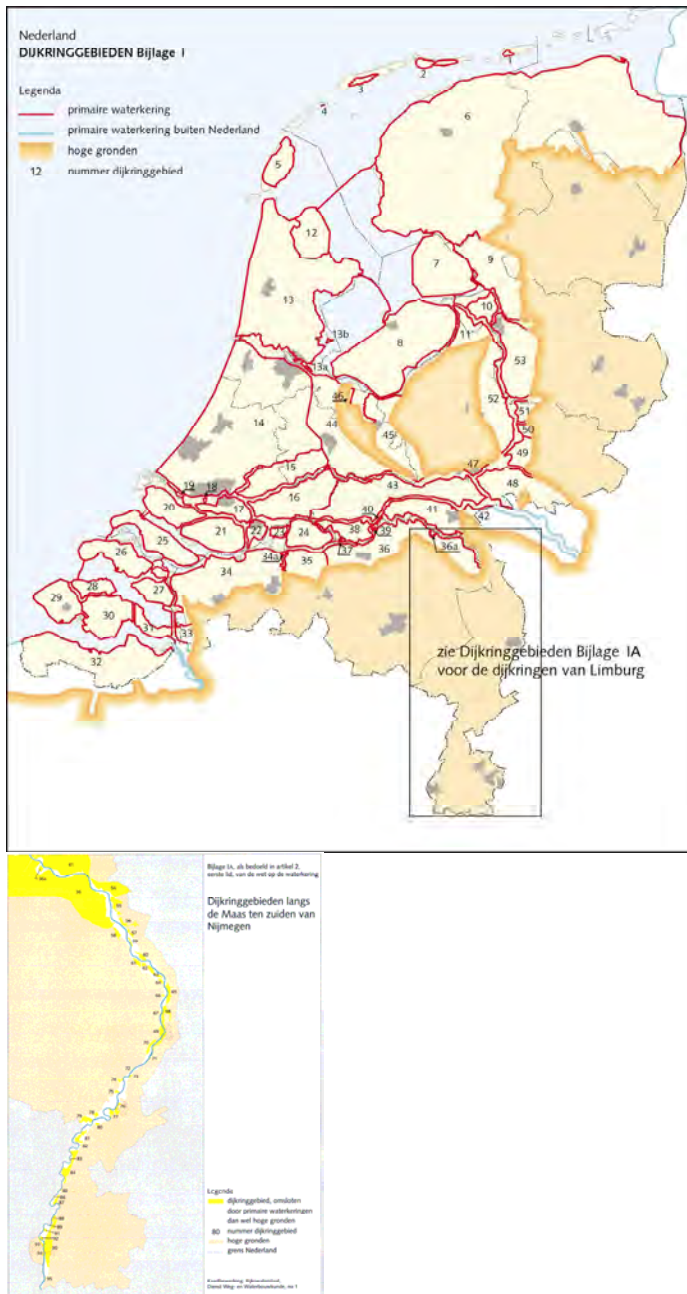
De kostenontwikkeling voor waterkeringen in de toekomst worden bepaald aan de hand van extrapolaties van bestaande studies. Het is moeilijk nauwkeurig te voorspellen hoe de kosten zich zullen ontwikkelen. Er zijn argumenten dat de kosten exponentieel toenemen (complexe processen, weinig ruimte, meer grondverbeteringen), maar ook dat de kosten slechts lineair of nog minder toenemen (massaproductie maakt goedkoper, voor de stormvloedkeringen ligt de fundering er al, stroomgaten hoeven niet meer eerst afgesloten te worden). In deze studie hebben we voor een aantal ontwerpparameters (hoogte, breedte) bepaald hoe deze veranderen bij verhoogde maatgevende waterstanden. Dit bleek voornamelijk lineair te zijn, op basis waarvan wij hebben gekozen voor een lineaire interpolatie. Tevens zijn de problemen van de toekomst ook nu al aanwezig: er is geen reden om aan te nemen dat knelpunten zich extra gaan manifesteren in de toekomst.

## **1.2 Nederlandse waterkeringen uitgelicht**

### **1.2.1 Dijkeringen**

Nederland kan worden onderverdeeld in 57 dijkeringen (exclusief de dijkeringen in de bovenstroom van de Maas. Elke dijkkring is een gesloten systeem van keringen en hoge gronden, zie Figuur 1-1. De primaire keringen kunnen worden onverdeeld in vier typen keringen:

- Primaire keringen categorie A: primaire waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden – al dan niet met hoge gronden - omsluiten en direct buitenwater keren.
- Primaire keringen categorie B: primaire waterkeringen die voor dijkkringgebieden zijn gelegen of dijkkringgebieden verbinden en direct buitenwater keren.
- Primaire keringen categorie C: primaire waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden – al dan niet met hoge gronden - omsluiten en niet bestemd zijn tot directe kering van buitenwater.
- Primaire keringen categorie D: primaire waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden – al dan niet met hoge gronden - omsluiten (als categorie a en c) of die voor dijkkringgebieden zijn gelegen of dijkkringgebieden verbinden (als categorie b), maar gelegen buiten de landsgrenzen.



Figuur 1-1: Overzicht dijkringen Nederland.

### 1.2.2 Soorten waterkeringen

De bovengenoemde dijkringen zijn opgebouwd uit de volgende soorten waterkeringen:

- Dijken, onderscheid kan worden gemaakt tussen dijken in landelijk gebied (Figuur 1-2) en in stedelijk gebied;
- Duinen (Figuur 1-3);
- Kleine kunstwerken zoals sluizen (Figuur 1-4);
- Stormvloedkeringen (Figuur 1-5).



Figuur 1-2: Dijken (bron: Rijkswaterstaat).



Figuur 1-3: Duinen (bron: <http://www.kustenzee.nl/activiteiten/duinen.jpg>).



Figuur 1-4: Sluis (bron: Wikipedia).



Figuur 1-5: Maeslantkering (bron: [www.keringhuis.nl](http://www.keringhuis.nl)).

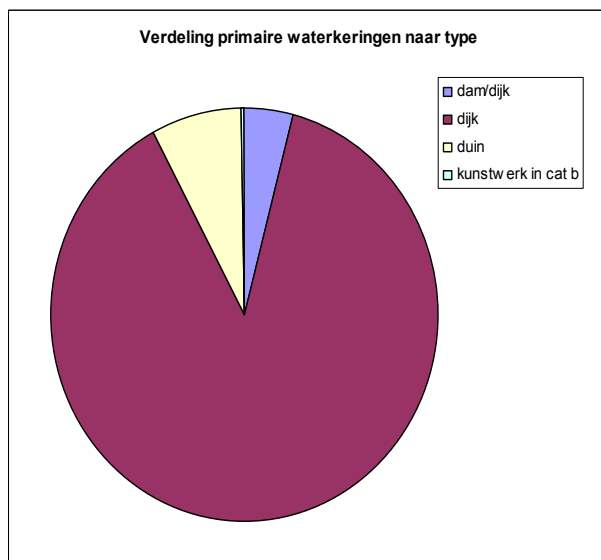
De verdeling van de verschillende typen waterkeringen staat weergegeven in Figuur 1-6. De verdeling van de verschillende typen primaire waterkeringen in dijk, dam, duin en kunstwerk staat weergegeven in Figuur 1-7 en Tabel 1-2 (bron: Rijkswaterstaat). Additioneel zijn er 772 km hoge gronden en is er 168 km grens. De b- en c-keringen vormen een substantieel aandeel (bijna een kwart) van de totale lengte van de primaire keringen. In Tabel 1-1 is een overzicht gegeven van de lengtes van de a-, b-, en c-keringen.

| Type primaire kering | Lengte [km] | Percentage [%] |
|----------------------|-------------|----------------|
| a-keringen           | 2767        | 77             |
| b-keringen           | 162         | 4.5            |
| c-keringen           | 670         | 18.5           |
| <b>Totaal</b>        | <b>3599</b> | <b>100</b>     |

Tabel 1-1: Lengte van de a-, b- en c-keringen.



Figuur 1-6: Kaart met alle typen waterkeringen (Bron: ENW).



Figuur 1-7: Kaart met alle typen waterkeringen (Bron: ENW).

| Kering type        | km          |
|--------------------|-------------|
| Dam/dijk           | 147         |
| Dijk               | 3173        |
| Duin               | 264         |
| Kunstwerk in cat b | 15          |
| <b>Totaal</b>      | <b>3599</b> |

Tabel 1-2: Lengte waterkeringen.

### 1.2.3 Watersystemen

In deze paragraaf wordt de technische houdbaarheid van het polderconcept beschouwd aan de hand van de verschillende watersystemen. Per watersysteem wordt de invloed op het polderboezemsysteem behandeld.

- Zee: de zee vormt een belasting op de betreffende waterkeringen door hoge waterstanden en golven (ten gevolg van stormen);
- Bovenrivieren: de rivieren Rijn en Maas (en Schelde) vormen een belasting voor de waterkeringen in het rivierengebied. Het bovenrivierengebied is het deel van het rivierengebied waar geen (of nauwelijks) invloed van zee merkbaar is. De hoge waterstanden worden veroorzaakt door regenval en/of smeltende sneeuw in bovenstrooms gelegen gebieden van het stroomgebied;
- Delta: de delta vormt de overgang tussen de rivieren en de zee (zie 'deltadijken' in Figuur 1-6). Hoge waterstanden kunnen zowel worden veroorzaakt door storm op zee als

door hoge rivierafvoeren. Hoe dichterbij zee, des te meer invloed van de zee. De waterstanden worden in dit gebied grotendeels gecontroleerd door stormvloedkeringen.

- Merengebied: meren vormen een belasting op de omliggende keringen door hoge waterstanden (scheefstand) en in mindere mate golven, als gevolg van storm.
- Regionaal watersysteem: dit is het systeem van pompen en boezems binnen een dijkkring.

Per meter zeespiegelstijging neemt de invloed van de zee op de rivier ongeveer 10 km toe [Klijn *et al.*, 2007] en schuift de delta dus op naar het oosten. Dit effect is nog niet meegenomen in deze studie. Een schatting van het aantal kilometers waterkering per watersysteem staat gegeven in Tabel 1-3.

| Systeem       | Type kering  | km   |
|---------------|--------------|------|
| Bovenrivieren | dijk         | 1013 |
| Delta         | dijk         | 1152 |
| Zee           | zeedijken    | 728  |
|               | zandige kust | 268  |
| Meren         | dijk         | 438  |

Tabel 1-3: Totale lengte waterkeringen per watersysteem.

## 1.3 Zeekeringen

### 1.3.1 Bedreigingen zeekeringen

De zeekeringen zijn de keringen die directe hydraulische belastingen vanuit zee dienen op te vangen. Onderscheid kan worden gemaakt tussen zachte keringen (duinen) en harde keringen (zeedijken, dammen en stormvloedkeringen). De grootste bedreiging voor zeekeringen is een verhoogde *ontwerpwaterstand* in combinatie met hogere (en langere) golven. De hoogte van een golf wordt echter vaak gelimiteerd door de diepte van de zee voor de kering<sup>1</sup> (zie ook [Vrijling, 1991]). In het Waddengebied en in Zeeland is dit dus het geval, voor de Hollandse Kust minder.

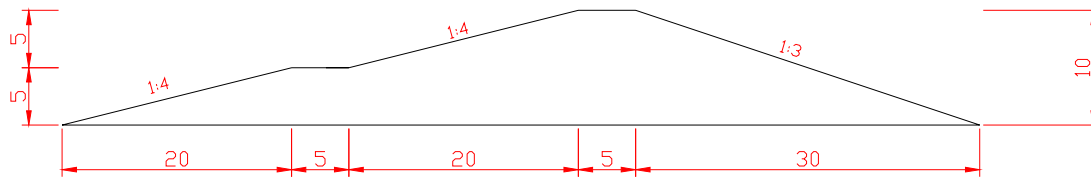
### 1.3.2 Zeedijken en dammen

De huidige aanpak voor de aanpassing van zeedijken en dammen ligt voornamelijk in het verhogen en verbreden als de randvoorwaarden hierom vragen. Een hogere belasting betekent vaak een hogere en dus bredere dijk of dam. Hogere golven worden opgevangen met sterkere (dikker) steenbekledingen op het buitentalud van de dijk en extra hoogte voor golfoploop. Voor de bepaling van de invloed van zeespiegelstijging op zeedijken en dammen zijn twee factoren meegenomen: de noodzakelijke dijkverhoging (en bijbehorende verbreding) en vervanging van de bekledingen.

#### *Hoogte, breedte en volume*

De hoogte van een zeekering wordt grofweg bepaald door de hoogte van de maatgevende waterstand plus een opslag voor golfoploop. Voor de bepaling van de benodigde toename van lengte, breedte en volume van de kering als gevolg van zeespiegelstijging is het standaard zeedijkprofiel uit Figuur 1-8 gebruikt.

<sup>1</sup> Bij een hoogte/diepte verhouding van ongeveer 0,5 breekt een golf, zodat deze in hoogte begrensd is.



Figuur 1-8: Standaard profiel zeedijk.

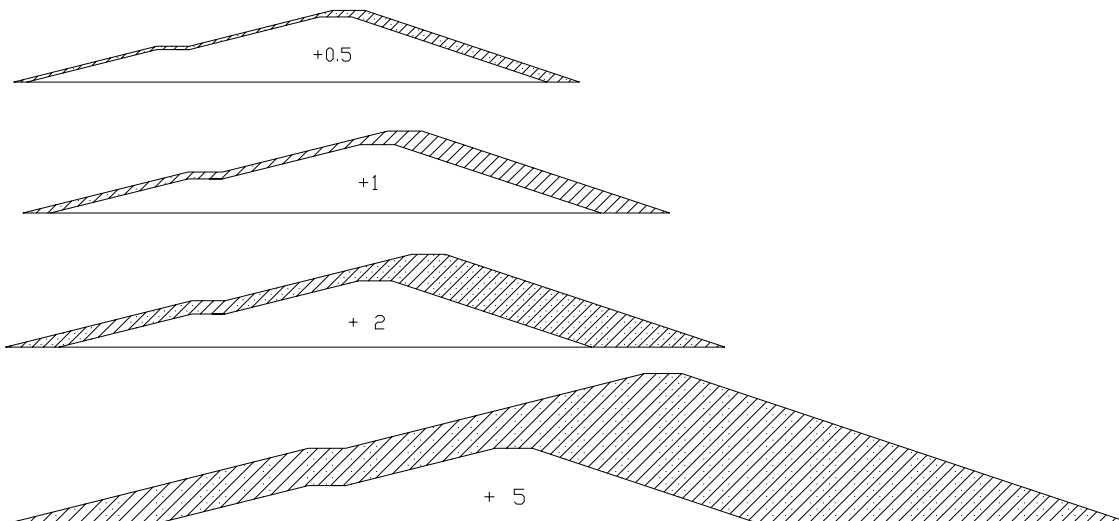
De volgende relaties tussen dijkdimensies en zeespiegelstijging ( $\Delta ZS$ ) worden gevonden:

- Dijkverhoging  $\sim 2 \times \Delta ZS$  -- Lineair
- Dijkverbreding  $\sim 7 \times \Delta ZS$  -- Lineair
- Opp. Toename  $\sim 12 \times \Delta ZS^2 + 140 \times \Delta ZS$  -- Kwadratisch

De kwantitatieve effecten staan weergegeven in Tabel 1-4 en Figuur 1-9.

| Zeespiegelstijging<br>[m] | Dijkverhoging<br>[m] |     | Extra benodigde breedte<br>[m] |     | Extra opp.<br>[m <sup>2</sup> ] |      |
|---------------------------|----------------------|-----|--------------------------------|-----|---------------------------------|------|
| 0                         | Basis = 10           |     | Basis = 80                     |     | Basis = 400                     |      |
| 0.5                       | 1                    | 1%  | 7                              | 9%  | 73                              | 18%  |
| 1                         | 2                    | 3%  | 14                             | 18% | 152                             | 38%  |
| 2                         | 4                    | 5%  | 28                             | 35% | 328                             | 82%  |
| 5                         | 10                   | 13% | 70                             | 88% | 1000                            | 250% |

Tabel 1-4: Gevolgen voor zeekerings bij verschillende zeespiegelverhogingen.



Figuur 1-9: Zeedijkverzwaringen bij verschillende randvoorwaarde verhogingen.

Uit bovenstaande analyse blijkt dat de meeste kentallen lineair of bijna lineair stijgen met de verhoging van de randvoorwaarden.

#### Uitzonderingen en overige knelpunten

Bovenstaande analyse is gebaseerd op de aanname dat golven diepte gelimiteerd zijn. Dit gaat wellicht niet op voor Pettemer en Hondsboscher Zeewering vanwege het diepe voorland. Ook zullen er misschien andere keringen zijn waar dit niet voor geldt. De steenbekledingen zijn een ander punt van aandacht. In de afgelopen tijd zijn veel steenbekledingen in Zeeland al vervangen. Hogere golven in de toekomst zullen ook tot aanpassing van de overige steenbekledingen kunnen leiden.

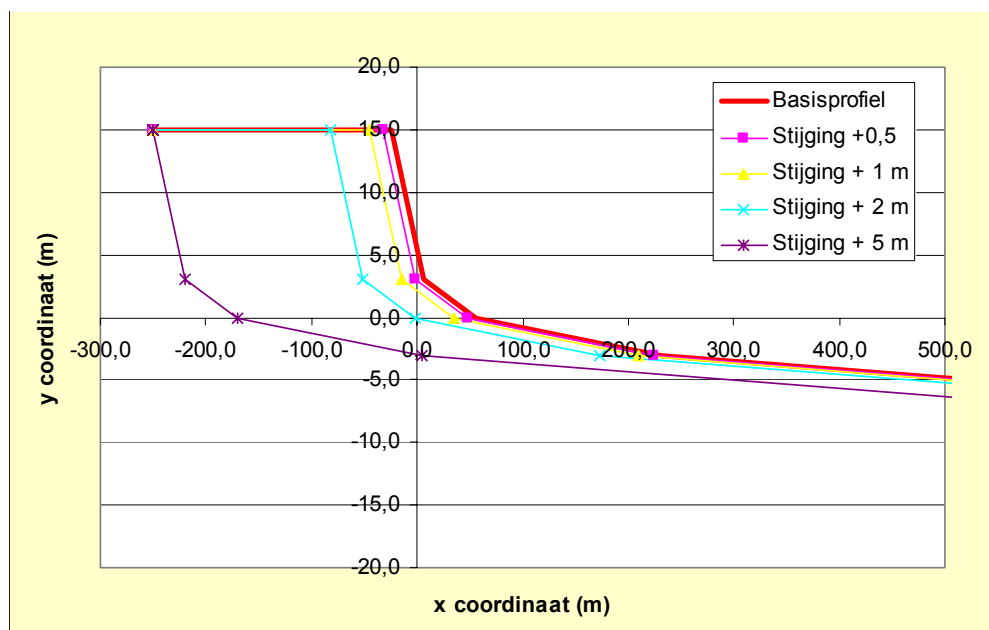
Dammen zijn in deze studie niet apart meegenomen (maar beschouwd als een zeedijk). Door de iets andere aard verdienen deze wellicht extra aandacht. Onder andere de afsluitdijk (kosten in 1932: fl 32 mln) is veel in het nieuws omdat deze niet meer aan de huidige eisen voldoet, er is ongeveer 500 tot 800 miljoen Euro beschikbaar om deze voor de komende 100 jaar veilig te maken.

### 1.3.3 Zandige kust

In het geval men niks aan de huidige zandige kust (duinen, morfologie) zou doen, zou deze qua volume steeds verder afnemen door zeespiegelstijging. Dit kan worden geïllustreerd met de regel van Bruun. Volgens de regel van Bruun is de horizontale offshore afstand  $y$  gerelateerd aan de waterstand  $h$  volgens:

$$h = A \cdot y^m$$

Hierin is  $A = 0.135 \text{ m}^{1/3}$  voor Noordzeestranden (voornamelijk op basis van de Deense situatie) en is  $m = 2/3$ . Voor verschillende zeespiegelstijging staat het effect op een standaard duinprofiel weergegeven in Figuur 1-10. De kustlijn trekt ongeveer 230 meter terug bij 5 meter zeespiegelstijging)



Figuur 1-10: Verandering duinprofiel door zeespiegelstijging.

Het is echter officieel beleid om de kustlijn te handhaven op minimaal het niveau van 1990. Daarom werd er tot 2000 ongeveer  $6 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$  aan zandsuppleties uitgevoerd. Na 2000 is deze hoeveelheid verhoogd tot  $12 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$  ([Nederbracht, 2005]). Dit wordt voldoende geacht om een zeespiegelstijging van  $0,18 \text{ m/eeuw}$  op te vangen.

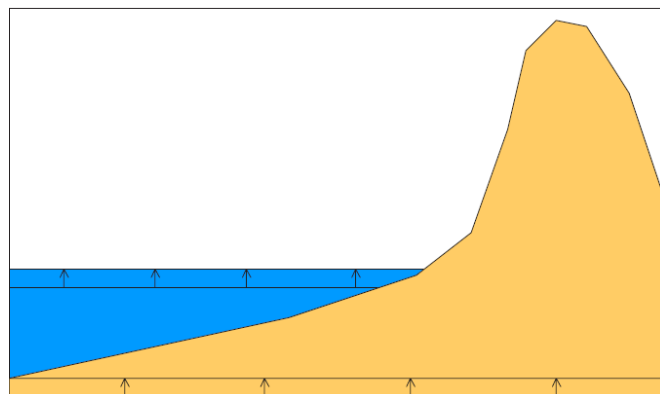
Om de effecten van zeespiegelstijging op de suppletiebehoefte inzichtelijk te maken wordt hetzelfde model gebruikt als in [Nederbracht, 2005]. Hiertoe worden de zandvoorraden van het gehele Nederlandse kuststelsel beschouwd (Figuur 1-11).

Het kuststelsel bestaat hierbij uit het kustfundament (gebied tussen NAP – 20m en de binnenduinrand langs de Hollandse Kust), Waddenzee en Westerschelde. Haringvliet,

Grevelingen en Oosterschelde worden niet meegenomen omdat deze geen deel uitmaken van het systeem. Uitgangspunt van het model is dat de zandvoorraden moeten meegroeien met de zeespiegel (Figuur 1-12).



Figuur 1-11: Nederlands kuststelsysteem (bron: [Nota Ruimte, 2004]).



Figuur 1-12: Model voor inschatting effecten zeespiegelstijging (bron: [Nederbracht, 2005]).

De effecten van zeespiegelstijging op de zandvoorraden, en dus de suppletiebehoefte staan weergegeven in Tabel 1-5. Deze komen overeen met de huidige suppleties van 12 Mm<sup>3</sup>/jaar (=1200 Mm<sup>3</sup>/eeuw) voor een zeespiegelstijging van 0,18 m/eeuw).

|                        | Oppervlak [km <sup>2</sup> ] | Zeespiegelstijging [m] |             |             |              |              |
|------------------------|------------------------------|------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
|                        |                              | 0,18                   | 0,5         | 1           | 2            | 5            |
| Kustfundament          | 4181                         | 753                    | 2091        | 4181        | 8362         | 20905        |
| Waddenzee              | 2497                         | 449                    | 1249        | 2497        | 4994         | 12485        |
| Westerschelde          | 253                          | 46                     | 127         | 253         | 506          | 1265         |
| <i>Kuststelsysteem</i> | <i>6932</i>                  | <i>1248</i>            | <i>3466</i> | <i>6932</i> | <i>13864</i> | <i>34660</i> |

Tabel 1-5: Suppletiebehoefte in Mm<sup>3</sup>.

#### Mogelijke knelpunten

Eén van de belangrijkste knelpunten die wordt gesignaleerd is de vraag of het hele kuststelsysteem de zandsuppleties kan volgen en steeds weer in evenwicht kan komen, aangezien het zand niet uniform over de kust wordt gesuppleerd. Het is vooral de vraag of de Waddenzee en de Westerschelde kunnen meegroeien met de zee. Mocht dit niet het geval zijn en de Waddenzee 'verdrinkt', dan gaat dit ten koste van een grote ecologische waarde en nemen de belastingen op de dijkringen in Noord-Nederland toe. Een mogelijke oplossing voor het 'verdrinkingsprobleem' is het rechtstreeks suppleren in het estuarium, in plaats van ervoor. Technisch gezien worden er geen knelpunten verwacht om grote hoeveelheden zand te suppleren (de capaciteit van de Nederlandse baggerindustrie is ruim toereikend), ecologisch/bestuurlijk zal hier misschien wel een knelpunt ontstaan aangezien er meer winlocaties nodig zijn en aangezien baggeren mogelijk in ecologische schade resulteert (zie ook [Klijn *et al.* 2007]). Een ander mogelijk knelpunt is waar het zand te suppleren. Bij de huidige suppleties levert dit al knelpunten op, aangezien de scheepvaart en ecologie weinig/geen hinder mogen ondervinden.

#### 1.3.4 Stormvloedkeringen

De stormvloedkeringen (SVK) in het zuidwesten van het land zijn ontworpen om de zee te keren in het geval van hoogwater, maar zijn onder normale omstandigheden geopend. De keringen



zijn zo ontworpen dat ze (grote) hoeveelheden overslag aankunnen. En beoogde levensduur was 100 jaar, de filters van de Oosterschelde SVK zijn zelfs ontworpen voor 200 jaar. Enkele belangrijke kentallen staan in Tabel 1-6.

| SVK            | Norm <sup>1</sup> | Toetspeil [m] <sup>1</sup> | Kerende hoogte         | Kosten                      |
|----------------|-------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Oosterschelde  | 1/4000            | NAP + 5,2                  | NAP + 5,8 <sup>2</sup> | 2.50 miljard € <sup>3</sup> |
| Maeslantkering | 1/10000           | NAP + 5,2                  | 60 cm <sup>5</sup>     | 0.45 miljard € <sup>5</sup> |
| Hartelkering   | 1/10000           | NAP + 5,4                  | onbekend               | 0.20 miljard € <sup>4</sup> |

Tabel 1-6: Kentallen stormvloedkeringen.

<sup>1</sup> HR2006

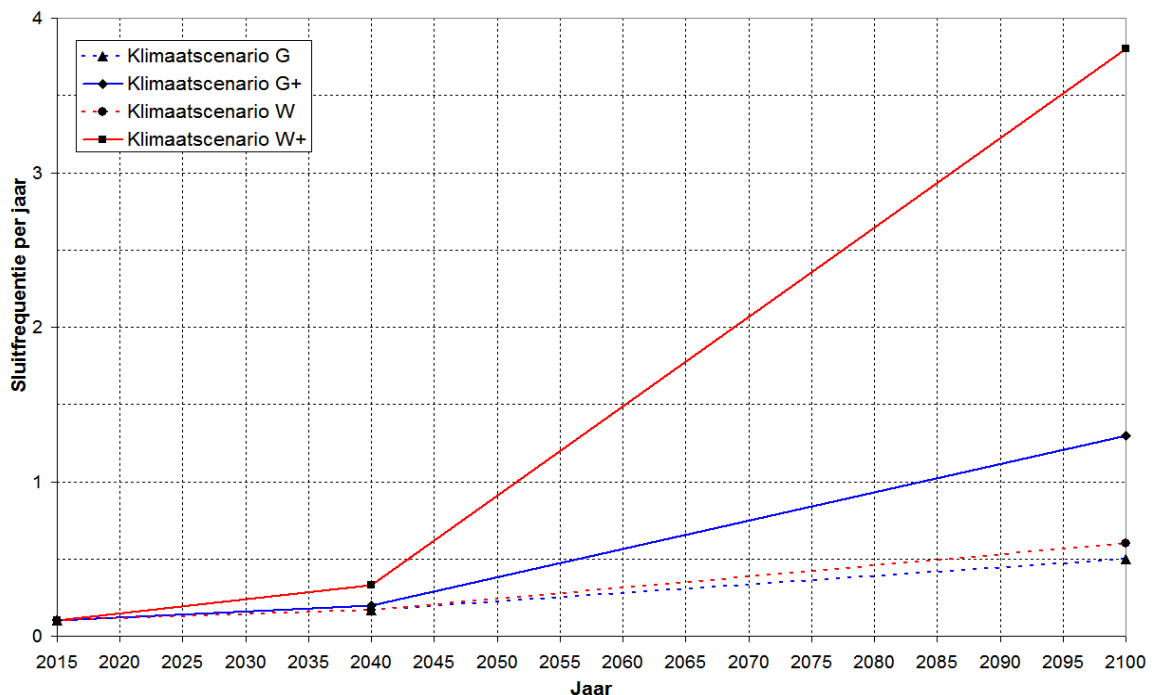
<sup>2</sup> Presentatie 'betonnen schuif'

<sup>3</sup> <http://www.deltawerken.com>

<sup>4</sup> <http://www.deltawerken.com>

<sup>5</sup> in ontwerp rekening gehouden met 0,6m zeespiegelstijging, zie <http://www.keringhuis.nl>

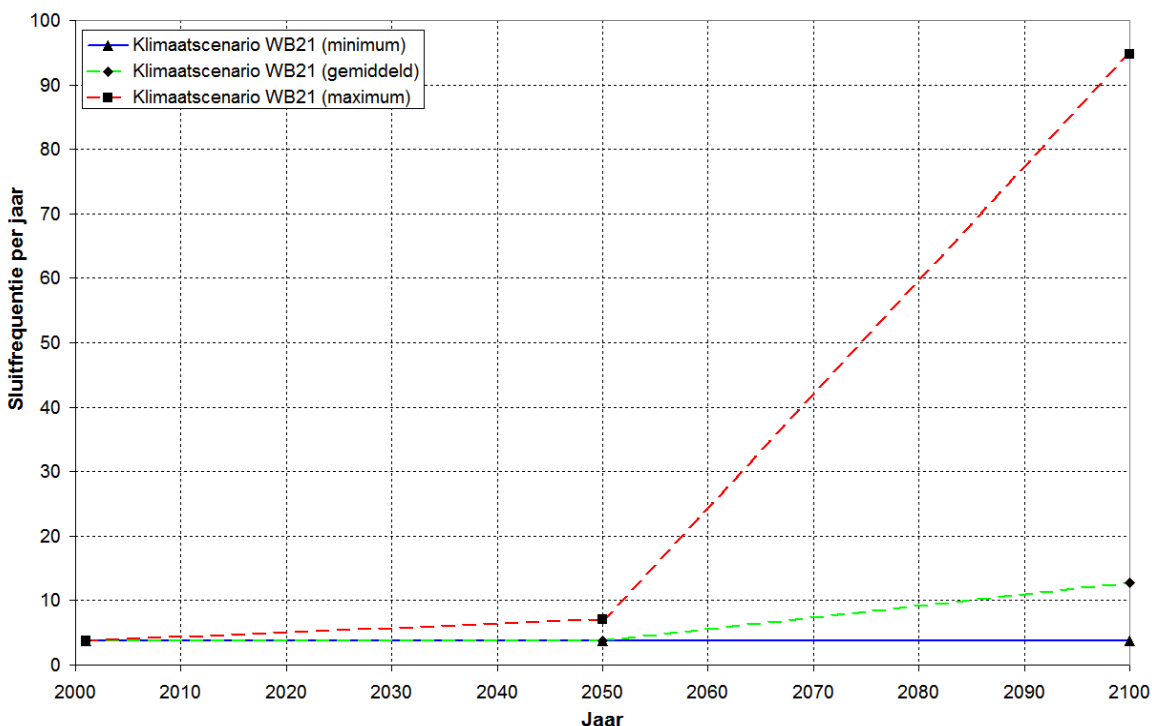
Door zeespiegelstijging zal de Maeslantkering vaker sluiten, met als resultaat toenemende hinder voor de scheepvaart. Voor de Maeslantkering is een prognose gemaakt voor de sluitingsfrequentie op basis van de gehanteerde klimaatscenario's, aangevuld met de klimaatscenario's KNMI G+ en KNMI W+. In Figuur 1-13 is te zien dat de sluitvraag in de toekomst toe zal nemen. In de 2015 situatie is de sluitvraag ongeveer eens in de tien jaar, deze frequentie kan toenemen tot zelfs vier keer per jaar in 2100 in het geval van het klimaatscenario KNMI W+. Bij het scenario KNMI G zal de sluitvraag in het jaar 2100 zijn toegenomen tot eens in de twee jaar. Nader onderzoek moet uitwijzen hoe groot deze kostenpost is.



Figuur 1-13: Toename sluitfrequentie Maeslantkering onder verschillende klimaatscenario's.

De sluitfrequentie van de Ramspolkering wordt grotendeels bepaald door de statistiek van het meerpeil en nauwelijks door de statistiek van de rivierafvoer ([Duits, 2008]). In de nieuwste versie van Hydra-VIJ zijn klimaatscenario's opgenomen waarmee de sluitfrequentie in de

toekomst berekend kan worden. De klimaatscenario's die in Hydra-VIJ gebruikt worden zijn de WB21 scenario's en wijken iets af van de KNMI scenario's maar geven wel een beeld van de toename in sluitvraag van de Ramspolkering. In de huidige situatie (jaar 2001 in Figuur 1-14) berekent Hydra-VIJ een sluitfrequentie van ongeveer 4 keer per jaar, dit wijkt af van de praktijk waar de Ramspolkering gemiddeld één keer per jaar sluit, maar is goed te verklaren [Duits, 2008]. Tot het jaar 2050 is de meerpeilstijging beperkt en neemt de sluitfrequentie alleen in het maximale WB21 scenario toe tot zeven keer per jaar. Na het jaar 2050 neemt de meerpeilstijging sneller toe waardoor ook de sluitvraag toe neemt, deze toename kan oplopen tot 95 keer per jaar [Duits, 2008]. Hydra-VIJ beschouwd alleen het winterhalfjaar wat betekent dat in de laatst genoemde situatie de Ramspolkering elke twee dagen een keer sluit. Voor de klimaatscenario's kan er gekeken worden naar het aanpassen van de condities waaronder de kering sluit, hierbij kan worden gedacht aan het verhogen van de sluitwaterstand [Duits, 2008].



Figuur 1-14: Toename sluitfrequentie Ramspolkering onder de WB21 klimaatscenario's.

### 1.3.5 Kunstwerken

Zoals in de inleiding beschreven, worden kleine kunstwerken niet apart meegenomen in de kostenbeschouwing maar met een toeslagfactor. Grote kunstwerken zoals de zeesluizen bij IJmuiden en de uitwateringssluis bij Katwijk verdienen nader onderzoek aangezien deze een aanzienlijke kostenpost kunnen zijn.

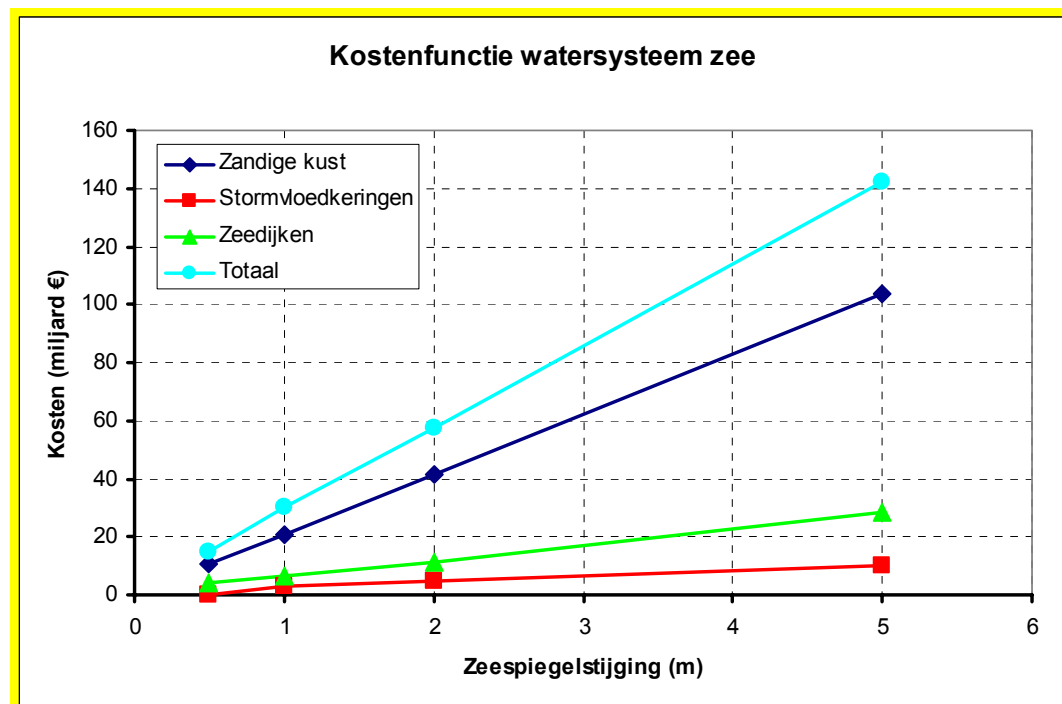
### 1.3.6 Kostenindicatie verschillende scenario's

De totale kostenfunctie van het kuststelsel staat weergegeven in Tabel 1-7 en Figuur 1-15. De afleiding hiervan staat onder de figuur. Voor algemene uitgangspunten bij de afleiding van de kosten wordt verwezen naar sectie 1.1.2. Wat opvalt is de relatief hoge bijdrage van de zandige kust. In het geval de [Arcadis & Fugro, 2006] getallen worden gebruikt vallen deze een stuk lager uit, hierbij wordt niet het hele kustfundament gesuppleerd, maar worden alleen de duinen versterkt. In deze kostenkennallen zijn een aantal aannames gedaan en een aantal zaken nog

niet meegenomen (waaronder de zandbehoefte van de Oosterschelde, vervanging van de strekdammen en aanpassing van de kustplaatsen) omdat verondersteld is dat de kosten hiervan een orde lager zijn. De kostenschattingen moeten dan ook beoordeeld worden aan de hand van de aannames.

|                          |                      | Zeespiegelstijging [m] |      |      |       |
|--------------------------|----------------------|------------------------|------|------|-------|
|                          |                      | 0,5                    | 1    | 2    | 5     |
| Zandige kust (fundament) | 6932 km <sup>2</sup> | 10,4                   | 20,8 | 41,6 | 104   |
| Stormvloedkeringen       | 3                    | 0                      | 3,2  | 5    | 10    |
| Zeekeringen              | 728 km               | 4,3                    | 6,4  | 11,0 | 28,3  |
| <i>Totaal</i>            |                      | 14,7                   | 30,4 | 57,6 | 142,3 |

Tabel 1-7: Kostenfunctie watersysteem zee.



Figuur 1-15: Kostenfunctie watersysteem zee.

#### Kostenbepaling zandige kust

De kosten van de zandige kust worden bepaald door de benodigde hoeveelheid zand (Tabel 1-5) te vermenigvuldigen met 3 €/m<sup>3</sup> kosten (2,85 €/m<sup>3</sup> volgens [Arcadis & Fugro, 2006]). De huidige suppletie is gebaseerd op een zeespiegelstijging van 0,18 cm/eeuw (kosten ± 37 miljoen €/jaar). Om de *meerkosten* door *versnelde* zeespiegelstijging te vinden moeten de kosten uit Figuur 1-15 verminderd worden met € 3,7 miljard.

#### Alternatieve strategie: vasthouden kustlijn

In plaats van het vasthouden van het kustfundament kan ook alleen de kustlijn worden vastgehouden door alleen lokaal langs de kust te suppleren. In het rapport van [Arcadis & Fugro, 2006] staan hier kostenschattingen per km zandige kust voor gegeven. Ook worden aanpassingen gegeven voor de aanpassing van bebouwde kustgebieden in dijkkring 14 (zoals Zandvoort), zie Tabel 1-8.

|                            | Zeespiegelstijging [m] |     |      |      |
|----------------------------|------------------------|-----|------|------|
|                            | 0,5                    | 1,0 | 1,5  | 2,0  |
| Zandig kust (M€ / km)      | 1,47                   | 2,8 | 5,15 | 6,58 |
| Bebouwde zandige kust (M€) | 117                    | 168 | 218  | 286  |

Tabel 1-8: Kostenfunctie zandige kust op basis [Arcadis & Fugro, 2006]).

Er is ongeveer 264 km duin (bron: RWS, dijkkringlijnen versie 3.01). De meeste bebouwde gebieden van de zandige kust bevinden zich in het beschouwde gebied. Als schatting voor de totale kosten worden deze met 2 vermenigvuldigd voor overige bebouwde zandige kust. Deze kostenschatting resulteert in een aanzienlijk lagere kostenschatting dan op basis van het vasthouden van het kustfundament.

|                            | Zeespiegelstijging [m] |             |             |             |             |
|----------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            | 0,5                    | 1,0         | 1,5         | 2,0         | 5,0*        |
| Zandig kust (M€)           | 387                    | 739         | 1360        | 1736        | 1500        |
| Bebouwde zandige kust (M€) | 234                    | 336         | 436         | 572         | 4295        |
| <i>Totaal (M€)</i>         | <i>621</i>             | <i>1075</i> | <i>1796</i> | <i>2308</i> | <i>5797</i> |

Tabel 1-9: Geëxtrapolerde kostenfunctie. \*Lineaire extrapolatie.

#### Kostenbepaling Stormvloedkeringen

Er wordt aangenomen dat de stormvloedkeringen worden vervangen als het toetspeil hoger is dan de kerende hoogte. Dit is dus bij een zeespiegelstijging van 60 cm. Voor een vervanging van tot 1 meter wordt aangenomen dat de kosten ongeveer gelijk zijn aan de oorspronkelijke kosten (de kering wordt weliswaar hoger, maar een deel van de infrastructuur ligt er al). Overige verhogingen zijn gebaseerd op engineering judgement waarbij wordt aangenomen dat de kosten minder dan lineair stijgen met de hoogte vanwege de reeds aanwezige infrastructuur.

#### Kostenbepaling zeedijken

Op basis van een aantal aannames (o.a. geen grondprijs meegenomen) hebben [Arcadis & Fugro 2006] een kostenfunctie opgesteld voor de Westerschelde en Noordzeedijken van dijkkring 29. Deze kosten zijn voor verhoging ineens. De kosten per km staan weergegeven in onderstaande tabel.

| Kruinverhoging | Noordzeedijken | Westerschelde dijken |
|----------------|----------------|----------------------|
| [m]            | [M€/km]        | [M€/km]              |
| 0,8            | 4,36           | 4,46                 |
| 1,6            | 5,82           | 6,37                 |
| 2,4            | 7,3            | 8,28                 |

Tabel 1-10: Kostenfuncties zeedijken [Arcadis & Fugro, 2006].

Aangenomen bij de extrapolatie is dat de kosten lineair toenemen met de dijkverhoging, ook voor extremere scenario's. Er wordt aangenomen dat dammen hetzelfde kosten als zeekeringen om te verbeteren. De totale lengte van zeedijken is 728 km (schatting op basis van RWS-dijkkringlijnen versie 3.01).

| Zeespiegelstijging | 0,5  | 1    | 2     | 5     |
|--------------------|------|------|-------|-------|
| Kruinverhoging     | 1    | 2    | 4     | 10    |
| kosten [M€/km]     | 6    | 9    | 15    | 39    |
| Totale kosten [M€] | 4330 | 6410 | 11000 | 28290 |

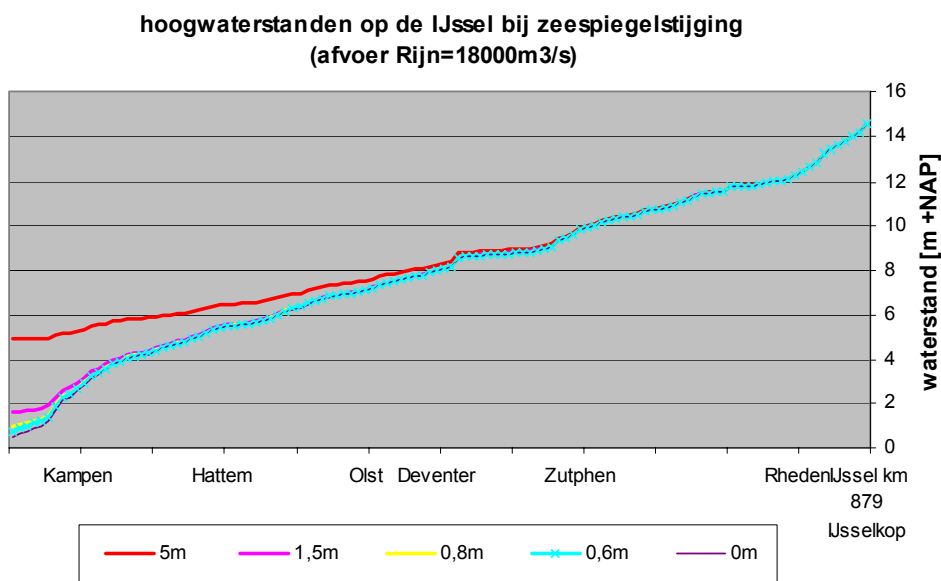
Tabel 1-11: Kostenfunctie zeedijken.

## 1.4 Bovenrivierengebied

Het bovenrivierengebied is het gebied van de rivieren Rijn en Maas waar de zee geen (of nauwelijks) directe invloed op heeft. Op enkele stukken vrij stromende Maas na, stromen de rivieren door een landschap van uiterwaarden waarbij de rivier doorgaans tussen zomerdijken stroomt, maar waar in geval van hoogwater de hogere winterdijken de polder beschermen.

### 1.4.1 Bedreigingen bovenrivierengebied

De grootste bedreiging in het bovenrivierengebied wordt gevormd door hoge debieten op de Rijn en de Maas. Deze verhoogde debieten worden echter gelimiteerd door de bovenstroomse situatie (Duitsland en België) en door eventuele bovenstroomse maatregelen. Wat er bovenstrooms in stroomgebieden gebeurt, is mogelijk van grotere invloed dan klimaatverandering. Zowel wat betreft bergende maatregelen in het stroomgebied als de maximale afvoercapaciteit van het systeem, het zogenaamde fysisch maximum. Voor de Rijn wordt voor de maatgevende afvoer van de Rijn in de lange-termijn visie uitgegaan van een fysisch maximum van 18.000 m<sup>3</sup>/s. In WV21 wordt voor de Rijn een fysisch maximum van 16.500 m<sup>3</sup>/s gehanteerd voor 2015, en voor de Maas van 4.600 m<sup>3</sup>/s. In het project VNK wordt géén fysisch maximum gebruikt. Aangezien niet uit te sluiten is dat er bovenstrooms maatregelen plaats zullen vinden en de inschattingen van het fysisch maximum (zeker voor de lange termijn) met grote onzekerheden zijn omgeven, is in dit rapport aangenomen dat er geen fysisch maximum is. Indien een fysisch maximum gehanteerd zou worden, heeft dit een gunstig effect op de veiligheid. Zeespiegelstijging is van minder groot belang. Voor relatief beperkte zeespiegelstijgingen, zie Figuur 1-16. Grofweg neemt de invloed van zee 10 km stroomopwaarts toe per meter zeespiegelstijging ([Klijn *et al.*, 2007]).

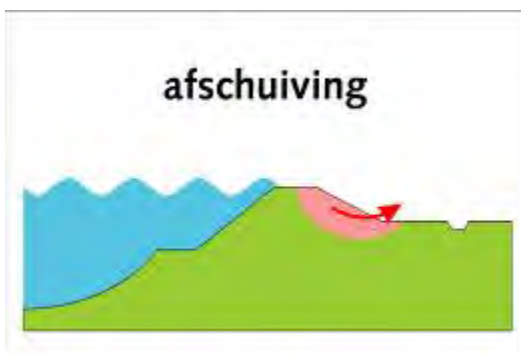


Figuur 1-16: Invloed verschillende zeespiegelstijgingen op maatgevende waterstanden IJssel (bron: [Sprong, 2008]).

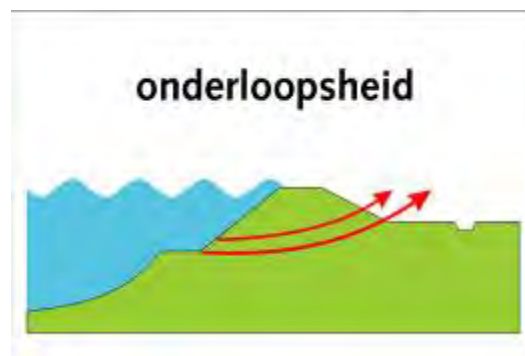
## 1.4.2 Rivierdijken

Het huidige beleid richt zich op twee ingrepen voor de aanpassing van het systeem aan verhoogde randvoorwaarden: rivierverbreding en dijkverhoging. In deze studie wordt er van uit gegaan dat na uitvoering van Ruimte voor de Rivier en de Maaswerken er geen grootschalige kostenefficiënte rivierverruiming mogelijk zijn en dat elke verhoging in maatgevende waterstand wordt opgevangen door dijkverhoging.

Er zijn twee parameters die de houdbaarheid van rivierdijken voornamelijk bepalen: de hoogte en de breedte. Hierin is hoogte de primaire ontwerpparameter aangezien deze de capaciteit van het totale riviersysteem bepaald. Naast voldoende hoogte moet een dijk ook sterk genoeg zijn, hij dient niet door te breken bij waterstanden lager of gelijk aan de maatgevende waterstand. De twee belangrijkste mechanismen die de sterkte van een dijk bedreigen zijn afschuiving en onderloopsheid (piping).



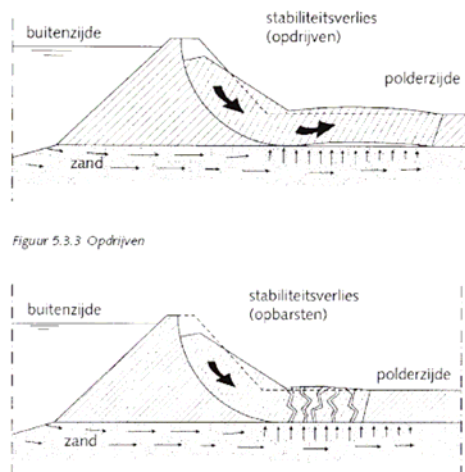
Figuur 1-17: Falen van een rivierdijk door afschuiving.



Figuur 1-18: Falen van een rivierdijk door onderloopsheid (piping).

### Afschuiving

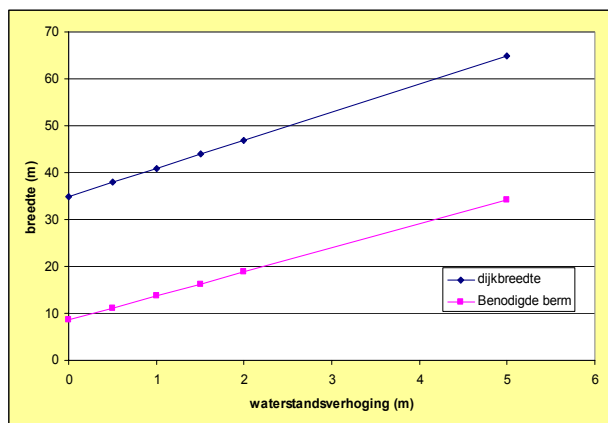
In het geval van afschuiving bezwijkt de dijk onder zijn eigen gewicht door verzadiging, zie Figuur 1-17. Dit is een bekend, maar gelukkig niet heel vaak voorkomend, verschijnsel bij langdurig hoge waterstanden [VNK, 2006]. Voor veel dijken geldt dat deze bij een binnentalud van 1:3 ook bij grotere hoogtes stabiel zijn. Er kunnen echter problemen ontstaan in geval van doorlatende zandpakketten onder de dijk. Bij hoogwaters nemen de waterdrukken onder de dijk toe waardoor deze zijn stabiliteit kan verliezen. Bij dijkverhogingen kan dit een probleem worden, dat wellicht (deels) kan worden opgelost door het aanbrengen van een berm. De omvang van dit mogelijke knelpunt is onduidelijk en nader onderzoek is aanbevolen.



Figuur 1-19: Stabiliteitsverlies door uplift krachten (bron: [TAW, 2001]).

### Onderloopsheid (piping)

In het geval van piping bezwijkt de dijk doordat er net zo lang zanddeeltjes onder de dijk vandaan spoelen dat deze onderuit zakt. Een typische dijk in het bovenrivierengebied beslaat een ondoorlatende kleilaag boven op een doorlatende zandlaag. Het mechanisme bestaat uit twee fases: opbarsten en piping. Eerst barst de afdekkende kleilaag op ten gevolge van opbouwende waterdruk (Figuur 1-19), vervolgens worden zanddeeltjes uitgespoeld. Dit proces treedt pas op bij een zogenaamd kritisch verhang dat wordt bepaald door de breedte van de dijk en het verval over de kering, alsmede door overige geotechnische eigenschappen. Bij toenemende buitenwaterstanden zal dit kritische verhang op steeds meer plekken worden bereikt, hoewel de daadwerkelijke omvang niet bekend is. Er kunnen verschillende maatregelen worden getroffen om de kwetsbaarheid voor piping te verminderen. Een berm is in geval van voldoende ruimte een gangbare oplossing, maar ook kan worden gedacht aan het ingraven van klei in het voorland het gebruik van damwanden. Uit berekeningen met de formule van Sellmeijer ([TAW, 1999]) van een standaarddijk met een hoogte van 5 meter blijkt dat de breedtetoeename die behoort bij gewone dijkverhoging niet toerijkend is en dat een pipingberm noodzakelijk is (Figuur 1-20).



Figuur 1-20: Benodigde bermbreedte om piping te voorkomen van een 5 meter hoge standaard dijk.

### 1.4.3 Kunstwerken

Alle kunstwerken in het bovenrivierengebied worden meegenomen in de kostenschattting met een toeslagfactor. De volgende algemene knelpunten worden onderscheiden: de hoogte zal een beperking zijn en zal tot aanpassing leiden. Ook piping zal wellicht een probleem voor de kunstwerken zijn. Stabiliteit wordt verondersteld een minder groot probleem te zijn (zie ook [Vrijling, 1991]).

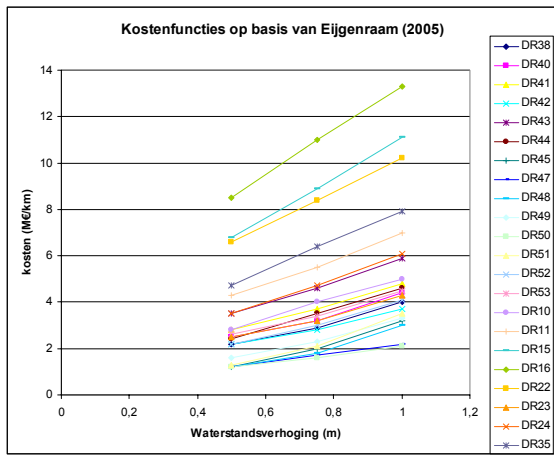
### 1.4.4 Knelpunten

De voornaamste knelpunten in het bovenrivierengebied liggen er in of de dijken kunnen worden verhoogd. In het algemeen lijkt voornamelijk piping een mogelijk knelpunt te zijn. Piping is ook nu al lokaal een probleem, dit kan in de toekomst mogelijk verergeren. Ruimte en bebouwing zijn vooral lokaal een uitdaging, de kosten zijn hier niet zozeer maatgevend maar wel het maatschappelijk draagvlak, gezien in het licht van de grote protesten in de jaren 90.

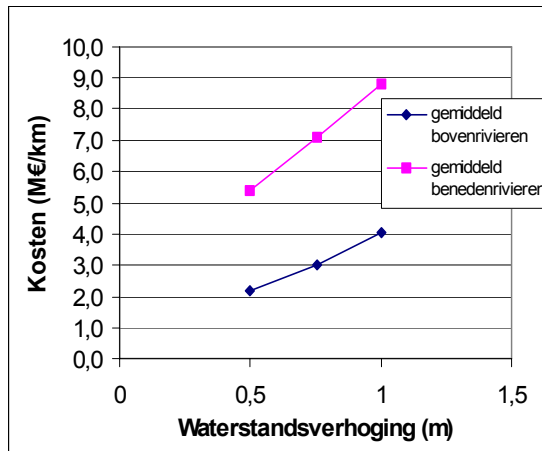
### 1.4.5 Kostenindicatie verschillende scenario's

Voor de bepaling van de kosten van dijkverhoging in het watersysteem bovenrivieren wordt gebruik gemaakt van de kostenfuncties van verschillende dijkringen zoals gebruikt door

[Eijgenraam, 2005] op basis van [Arcadis & Fugro, 2006], zie Figuur 1-21. Van deze kostenfunctie kan het gemiddelde worden bepaald voor de bovenrivieren en de delta, zie Figuur 1-22.



Figuur 1-21: Kostenfunctie dijkringen door [Eijgenraam, 2005] op basis van [Arcadis & Fugro, 2006].

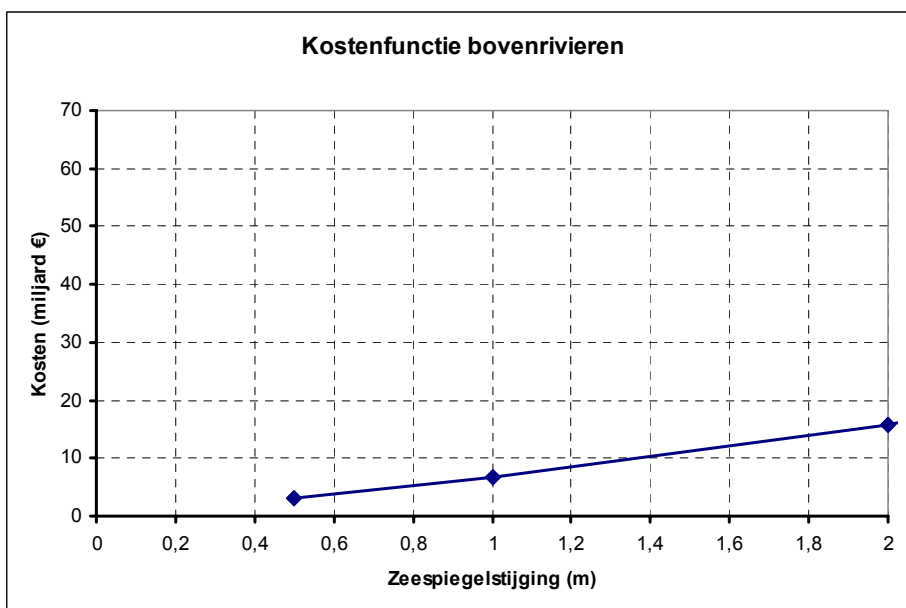


Figuur 1-22: Kostenfunctie bovenrivieren en delta op basis van [Eijgenraam, 2005].

De kostenfunctie van het watersysteem bovenrivieren, zie Figuur 1-22, wordt als basis gebruikt voor de totale kostenbepaling van dit watersysteem door gebruik te maken van de in sectie 1.1.3 beschreven aannames. Het resultaat staat weergegeven in Tabel 1-12 en Figuur 1-23.

|              |           | Kostenindicatie [miljard €] |               |               |               |
|--------------|-----------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | Aantal km | 0.5 m verhoging             | 1 m verhoging | 2 m verhoging | 5 m verhoging |
| Rivierdijken | 1013      | 3,1                         | 6,5           | 15,5          | 59,5          |

Tabel 1-12: Kostenfunctie bovenrivieren.



Figuur 1-23: Kostenfunctie bovenrivieren.

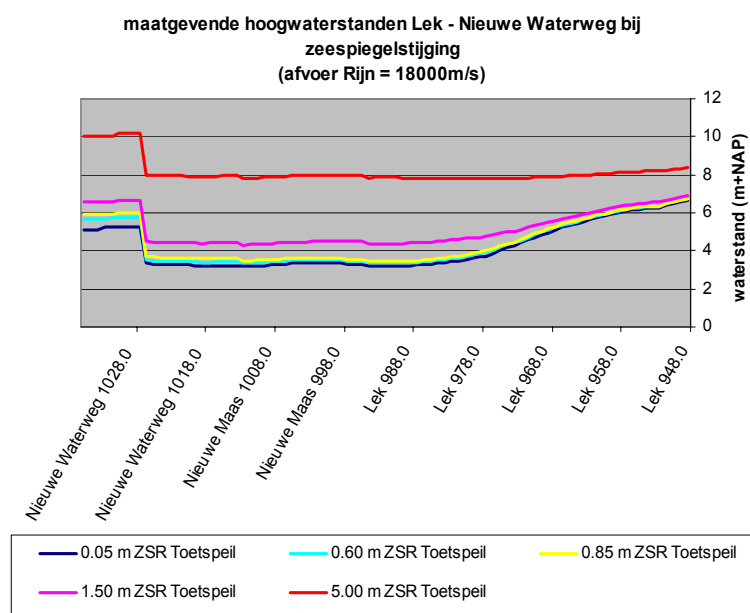


## 1.5 Delta

Onder het deltagebied wordt verstaan het gebied in zuidwest Nederland dat zowel wordt bedreigd door de zee als door hoge rivierafvoeren. Er zijn stormvloedkeringen aanwezig om de invloed van de zee te verminderen. De delta wordt gekenmerkt door veel stedelijk gebied.

### 1.5.1 Bedreigingen delta

De delta wordt bedreigd door zowel zeespiegelstijging als door verhoogde rivierafvoeren. De invloed van zee op de waterstanden neemt af met de afstand van een locatie van zee. Door zeespiegelstijging wordt de invloed van de zee wel steeds groter (ongeveer 10 km stroomopwaarts effect bij 1 meter zeespiegelstijging ([Klijn *et al.*, 2007])). Wel worden waterstanden gecontroleerd door stormvloedkeringen (SVK, zie ook paragraaf 1.3.4). Het effect van de zee, rivieren en SVKs is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 1-24: Invloed zeespiegelstijging (ZSR) op maatgevende waterstand [Sprong, 2008].

### 1.5.2 Deltadijken

De grootste knelpunten van de deltdijken ontstaan door slappe ondergrond, bebouwing en steenzettingen.

#### *Slappe ondergrond*

De ondergrond van de delta wordt gekenmerkt door slappe veenpakketten en kleilagen. De pleistocene zandlaag ligt vaak pas op een diepte van 20 meter onder NAP. Dit levert 2 knelpunten: stabiliteit, bijvoorbeeld door diepe afschuiving zoals bij Streefkerk (Figuur 1-25) en uitvoering. Er zijn soms drastische maatregelen nodig voor de aanleg van een stabiele waterkering, bijvoorbeeld door het weggraven van slappe lagen. De stabiliteitsproblemen manifesteren zich ook nu al, maar kunnen verergeren bij hogere ontwerpen. Oplossingen zijn voorhanden, deze kosten echter geld en ruimte.

#### *Bebouwing*

De grote hoeveelheid stedelijk gebied, en de hierbij behorende bebouwing in de waterkeringzone (Figuur 1-26) is wellicht het grootste knelpunt van de delta. Het gaat hierbij voornamelijk

om maatschappelijke weerstand en extra kosten voor de aanpassing van waterkeringen in stedelijk gebied. De maatschappelijke kosten wegen hierbij erg zwaar, een goed voorbeeld is het waterfront van Dordrecht waar het nagenoeg onmogelijk blijkt te zijn om tot overeenstemming te komen over verbeteringen. Het huidige beleid is om bebouwing zo veel mogelijk te ontzien. Dit leidt tot hogere kosten. Andere opties zijn het plaatsmaken van bebouwing voor waterkeringen (stuit op veel weerstand) of meer buitendijkse dijkverhogingen. Buitendijkse uitbreiding is nu niet toegestaan, er zijn echter een groot aantal plekken waar buitendijkse uitbreiding weinig tot geen invloed heeft op de waterstand, wellicht verdient deze optie een heroverweging.



*Figuur 1-25: Afschuiving van de dijk bij Streefkerk in 1989 (bron: RWS-DWW).*



*Figuur 1-26: Waterkeringen in stedelijk gebied (bron: Ties Rijcken).*

### *Steenzettingen*

Er worden op dit moment grootschalige verbeteringen van steenzettingen uitgevoerd in de Zeeuwse Delta. De opgaven voor de toekomst resulteren er wellicht in dat de steenzettingen van deltadijken verbeterd moeten worden. Bijvoorbeeld een hogere zeespiegel geeft hogere waterstanden in de Oosterschelde, wat resulteert in hogere golven en dus sterkere benodigde steenzettingen.

### **1.5.3 Kunstwerken**

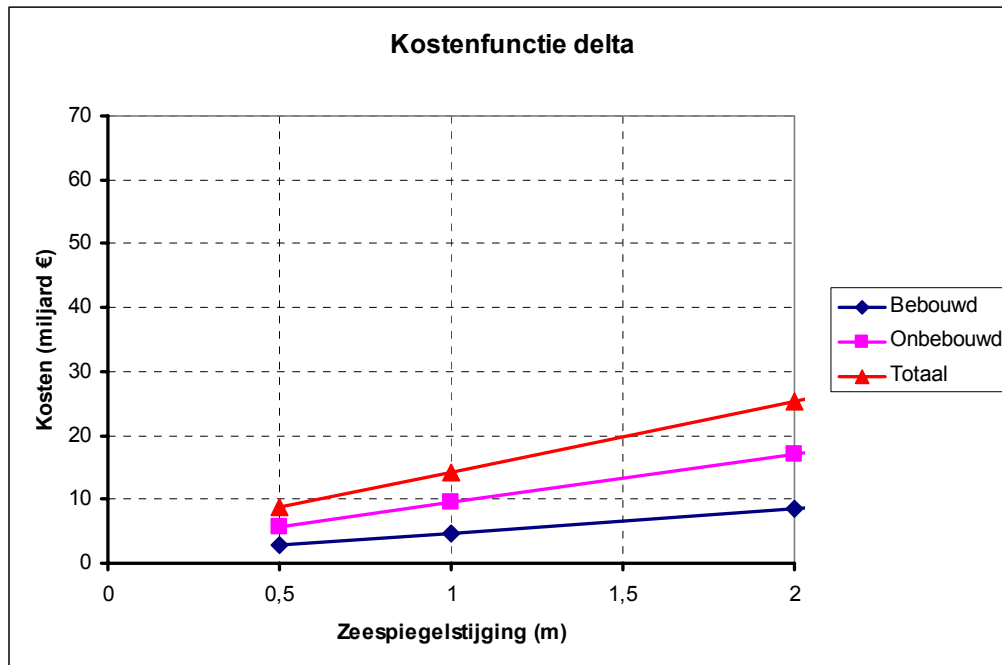
Voor de behandeling van kleine kunstwerken wordt verwezen naar sectie 1.1.3. De stormvloedkeringen zijn meegenomen in het watersysteem zee (sectie 1.4.3).

### **1.5.4 Kostenindicatie verschillende scenario's**

Voor afleiding van de kostenfunctie voor de delta wordt gebruik gemaakt van de kostenfuncties uit Figuur 1-1 en de aannames in sectie 1.1.3. De kostenfunctie van de delta staat weergegeven in Tabel 1-13 en in Figuur 1-27. De kosten zijn gebaseerd op een aantal aannames, grootschalige aanpassingen van de steenzettingen en de maatschappelijk kosten van de verbetering van waterkeringen in stedelijk gebied zijn niet meegenomen in deze kosten.

|               |          | Kostenindicatie [miljard €] |    |    |    |
|---------------|----------|-----------------------------|----|----|----|
| Verhoging [m] |          | 0.5                         | 1  | 2  | 5  |
| Dijken        | 1.097 km | 9                           | 14 | 25 | 61 |

Tabel 1-13: Kostenindicatie aanpassing watersysteem delta.



Figuur 1-27: Kostenfunctie delta.

## 1.6 IJsselmeergebied

Het IJsselmeergebied wordt beschouwd in deze paragraaf. Het IJsselmeergebied is sterk gekoppeld met het regionale watersysteem van voornamelijk Noord-Holland, Flevoland en Friesland, gezien de functie van zoetwaterbuffer.

### 1.6.1 Bedreigingen IJsselmeergebied

Het IJsselmeer is een meer dat fungeert als zoetwaterbekken voor de omliggende gebieden. Er stroomt zoetwater uit de IJssel en uit omliggende boezemsystemen (neerslag) in het meer, terwijl in tijden van droogte water uit het meer de boezemsystemen wordt ingelaten. In deze studie wordt aangenomen dat deze functies in de toekomst gelijk blijven. De voornaamste bedreiging voor het IJsselmeer wordt gevormd door de zeespiegelstijging. Hierdoor kan het overtollige water, aangevoerd door de IJssel en door regenval niet onder natuurlijk verval worden afgevoerd en zijn maatregelen nodig. Er wordt op dit moment reeds gewerkt aan de vergroting van de spuicapaciteit, waardoor verhoging van de zeespiegel tot 37 cm kan worden opgevangen [Sprong, 2008]. Welk beleid hierna wordt gevolgd hoe om te gaan met een verhoogde zeespiegel is onzeker. Twee opties worden in de volgende paragraaf beschouwd. Er worden weinig aanpassingen verwacht door toename in extreme neerslag en IJsselafvoer, die door de bufferwerking van het IJsselmeer kunnen worden opgevangen. Toename van windextremen zou kunnen leiden tot verhoogde maatgevende waterstanden. Er wordt voorlopig aangenomen dat dit effect klein is. Het is belangrijk om op te merken dat de *zoetwaterbuffer* functie van het IJsselmeer in de toekomst van steeds groter belang zal zijn.

### 1.6.2 Toekomstig beleid IJsselmeer

In deze paragraaf worden twee opties besproken over hoe om te gaan met het IJsselmeer. Er wordt van uit gegaan dat door de installatie van extra spuicapaciteit nog 37 cm zeespiegelstijging kan worden opvangen, zonder dat het peil van het IJsselmeer omhoog moet en zonder dat de IJsselmeerdijken aangepast moeten worden. In het geval de zeespiegel meer stijgt dan 37 cm, kan het volgende worden gedaan:

- 1) Installeren van pompcapaciteit. Het IJsselmeerpeil kan dan constant blijven, het water uit de IJssel en regenval moeten dan weg worden gepompt. De gemiddelde afvoer van de IJssel is ongeveer 440 m<sup>3</sup>/s (conservatief). Door regenval moet er gemiddeld 238 m<sup>3</sup>/s worden weggepompt. De gemalen bij IJmuiden hebben nu een debiet van 260 m<sup>3</sup>/s, waarmee wordt aangetoond dat dit technisch goed haalbaar is met 2 of 3 van dergelijke gemalen. Voordelen zijn dat de dijken rond het IJsselmeer (en alle jachthavens en andere functies die nauw aan het meer zijn verbonden) geen aanpassing behoeven en dat de regionale waterbeheersing rond het IJsselmeer minder/geen aanpassing behoeft. Hoe meer pompcapaciteit, hoe minder te verwachten peilfluctuaties; een optimalisatie moet uitwijzen wat de optimale te installeren capaciteit is. Voor een strakkere beheersing van het peil moet wellicht 2000 m<sup>3</sup>/s worden geïnstalleerd (bron: RWS).
- 2) Na de 37 cm zeespiegelstijging stijgt het IJsselmeer mee met de zeespiegel. Dit behoeft aanpassing aan de keringen rond het IJsselmeer inclusief de overige functies. Ook zal dit invloed hebben op de sluitfrequentie van de Ramspolkering en mogelijk op de IJsseldijken. Voordeel is dat kan blijven worden gespuid onder vrij verval en dat de zoetwaterbuffer groter is.

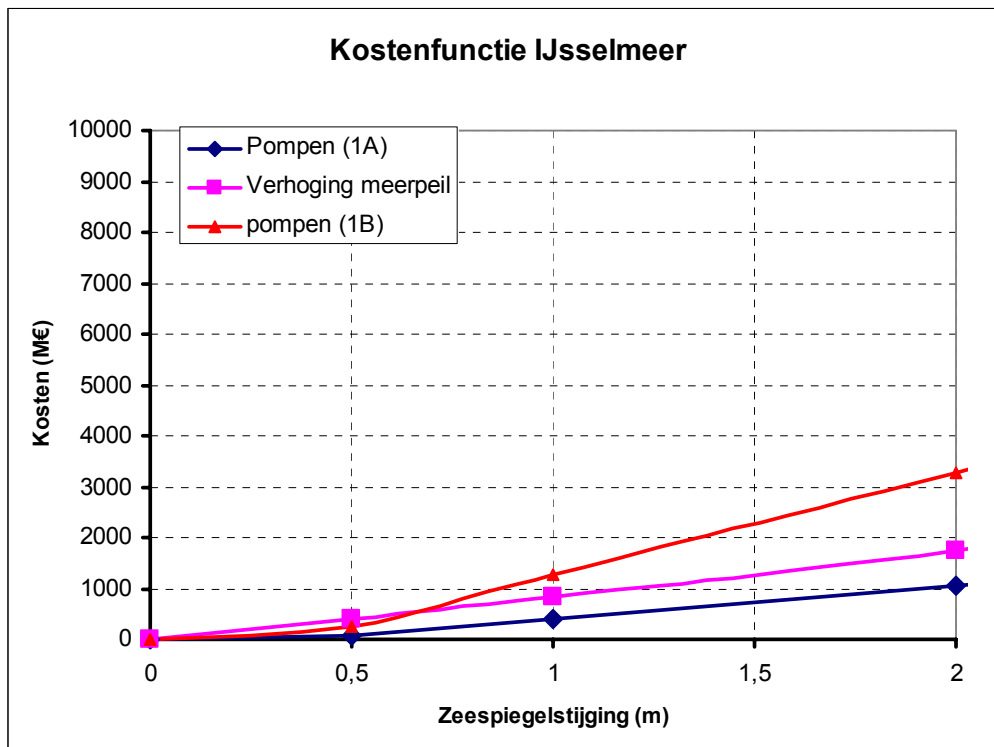
Een Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA) zal moeten resulteren in het beste alternatief. Overige opties zijn het aanleggen van dijken door het IJsselmeer om de IJssel af te voeren of het wegnemen van de Afsluitdijk, zie ook [Vrijling, 1991]. Deze opties worden voorlopig minder kansrijk geacht.

### 1.6.3 Kostenindicatie verschillende scenario's

Een ruwe kostenindicatie voor de beide opties is gegeven in Tabel 1-14 en Figuur 1-28. Het blijkt dat de hoeveelheid te pompen water van groot belang is voor de kosten, dit hangt sterk samen met de toelaatbare peilfluctuaties. Voorlopig lijkt meegroeien de minst onzekere optie, hier wordt dan ook vanuit gegaan bij de totale kostenschatting.

| Zeespiegelstijging                        | Kostenindicatie [M€] |      |      |      |
|---|----------------------|------|------|------|
|   | 0.5                  | 1    | 2    | 5    |
| Optie 1A: pompen (2000 m <sup>3</sup> /s) | 260                  | 1260 | 3260 | 9260 |
| Optie 1B: pompen (648 m <sup>3</sup> /s)  | 84                   | 408  | 1056 | 3000 |
| Optie 2: meegroeien                       | 400                  | 822  | 1732 | 4987 |

Tabel 1-14: Kostenindicatie beleidsopties IJsselmeer.



Figuur 1-28: Kostenfuncties IJsselmeer.

## 1.7 Regionaal waterbeheer

Onder regionaal water wordt in dit kader het systeem van ontwatering en afwatering in de polders, het boezemwater, de gemalen en de spuiscuizen verstaan. Het systeem is ingericht om overtollig water af te voeren of te bergen, de kwaliteit van het water te handhaven en in tijden van droogte water aan te voeren. Alle polders zijn uniek wat betreft de omvang en risicoprofiel, bovendien kent elke polder zijn eigen uitdaging voor passende maatregelen op toekomstige veranderingen. De effecten van klimaatverandering zijn dan ook sterk locatieafhankelijk. De houdbaarheid van de polders hangt sterk af van de lokale omstandigheden, maar ondanks dit gegeven worden er in deze paragraaf enkele algemene uitspraken gedaan over toekomstige kansen en bedreigingen.

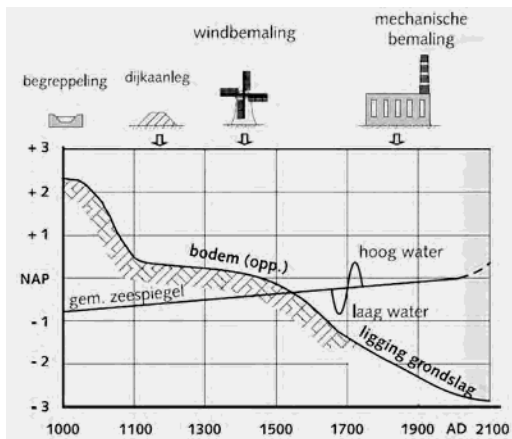
### 1.7.1 Uitdagingen voor de toekomst

#### *Fysische veranderingen*

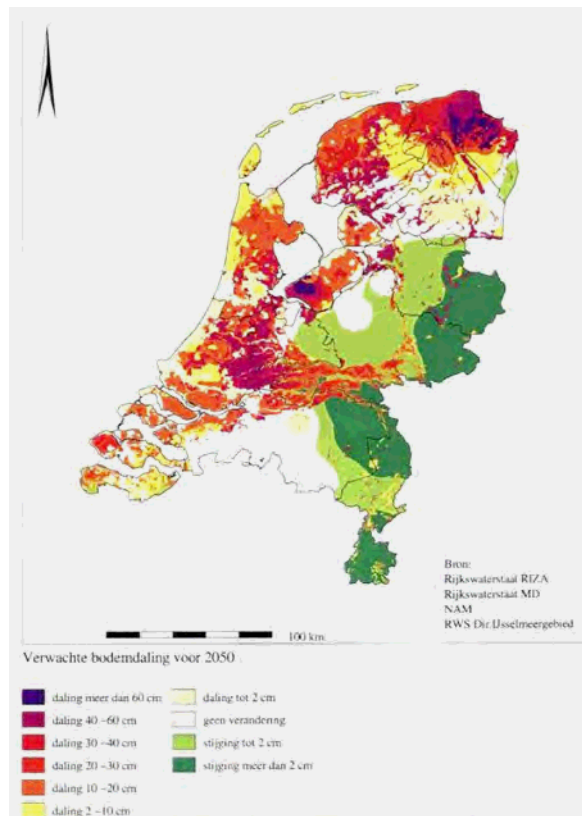
Er zijn twee groepen fysieke veranderingen die een bedreiging vormen voor het regionale waterbeheer:

#### A. Zeespiegelstijging en bodemdaling

De verwachte zeespiegelstijging is reeds in voorgaande hoofdstukken behandeld. Bijkomende bedreiging is de verwachte bodemdaling door inklinking van slappe lagen door onder andere oxidatie, veelal veroorzaakt door de ontwatering. In onderstaande figuren is te zien dat de bodemdaling in de recente geschiedenis sneller is gegaan dan de zeespiegelstijging en dat verdergaande bodemdaling wordt verwacht [Klijn *et al.*, 2007]. De bodemdaling geldt niet voor geheel Nederland, maar wel voor de veenpolders en de meest recent ingepolderde gebieden, zoals enkele delen van Flevoland. Door de combinatie van zeespiegelstijging en bodemdaling neemt de waterdruk op de polder toe.



Figuur 1-29: Bodemdaling en zeespiegelstijging [TAW, 1999].



Figuur 1-30: Verwachte bodemdaling in 2050 [Klijn et al., 2007].

## B. Toename extremen

Er wordt verwacht dat in de toekomst zowel neerslag als verdamping gemiddeld toenemen, waardoor de waterbalans gemiddeld gezien gelijk blijft [Klijn et al., 2007]. Er wordt echter wel verwacht dat de extremen toenemen en dat er meer neerslag in de winter valt (gemiddeld een overschot van 24-97mm) en minder in de zomer (neerslagtekort van 24-217 mm; bron: KNMI).

### Bedreigingen

Door bovenstaande veranderingen ontstaan er een aantal bedreigingen:

- Door toename waterdruk op polder (door zeespiegelstijging en bodemdaling)
  - Stabiliteit bodem (met name op die locaties waar een afdeklaag ontbreekt)
  - Kwel (kwantiteit en kwaliteit)
- Door stijging zeespiegel
  - Indringing zouttong met problemen voor onder andere zoetwaterinname
  - Afname mogelijkheden van vrije lozing op zee (Lauwersmeer, Noordzeekanaal, Friese boezem)
- Door toename weersextremen
  - Wateroverschotten
  - Watertekorten

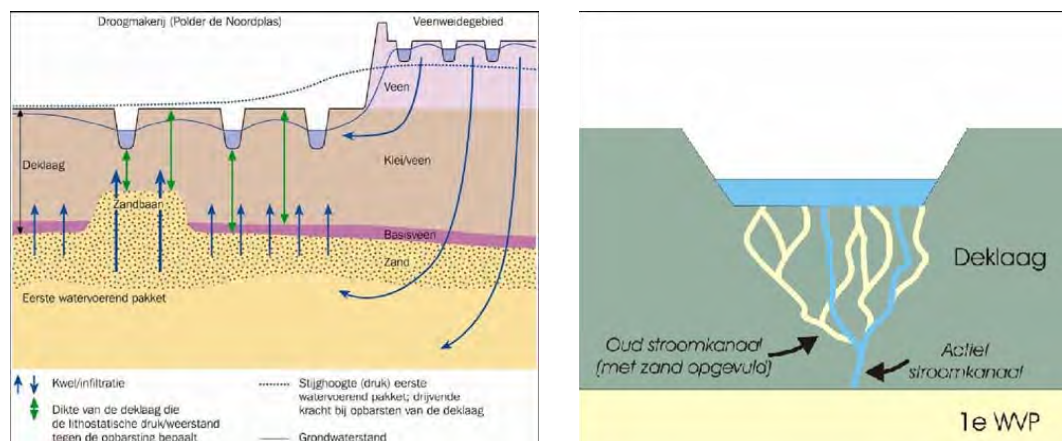
De bedreigingen zijn erg lokaal, en dat geldt dus ook voor de oplossingen die noodzakelijk zijn om aan deze bedreigingen het hoofd te bieden. Deze bedreigingen worden hieronder in meer detail besproken.

### Toename waterdruk op polder

Door een toenemend verschil tussen buitenwaterstand en polderniveau neemt de waterdruk op de polder toe. Hierdoor ontstaat een vergroot risico op bodeminstabiliteit en neemt de kwel toe. De reden van peilverlaging (of grondwaterstandsverlaging) is bodemdaling: de bodem daalt, waardoor het maaiveld dichterbij het streefpeil (t.o.v. NAP) komt. Het maaiveld komt daardoor als het ware dichterbij de grondwaterstand. Om deze nattigheid tegen te gaan moeten de grondwaterstanden worden verlaagd, doorgaans door het streefpeil te verlagen. Het is echter wel de vraag hoe ver de peilen nog kunnen worden verlaagd, bijvoorbeeld in relatie tot bodeminstabiliteit, toename van de kwel en funderingen. Dit laatste is een lokale bedreiging waarvan de ernst lokaal bepaald moet worden. De verwachting is dat dit slechts geldt voor een klein deel van de polders, maar een algemeen overzicht ontbreekt. Aanbevolen wordt dan ook om een overzicht te maken van de kwetsbaarheid van de polders in relatie tot klimaatverandering.

### Stabiliteit bodem

De stabiliteit van de bodem komt in een aantal diep liggende polders in gevaar door toenemende gronddrukken. Twee situaties kunnen worden onderscheiden: daar waar een deklaag aanwezig is en daar waar geen deklaag aanwezig is. Als er geen deklaag aanwezig is kan een verbinding zonder veel weerstand ontstaan tussen buitenwater en de polder, met als gevolg grote hoeveelheden kwel. In het geval er wel een deklaag is, neemt de kans op opbarsten toe bij een toenemend hoogteverschil (deklaag neemt af in dikte, belasting neemt toe, Figuur 1-31) Dit probleem wordt uiteengezet door Bierkens (NRC Handelsblad, 2003) en in [Klijn *et al.*, 2007]. In hetzelfde NRC artikel worden ook technische oplossingen gepresenteerd. De daadwerkelijke omvang is voorlopig nog onduidelijk en moet bepaald worden. We verwachten dat in de meeste polders een voldoende sterke deklaag aanwezig is.

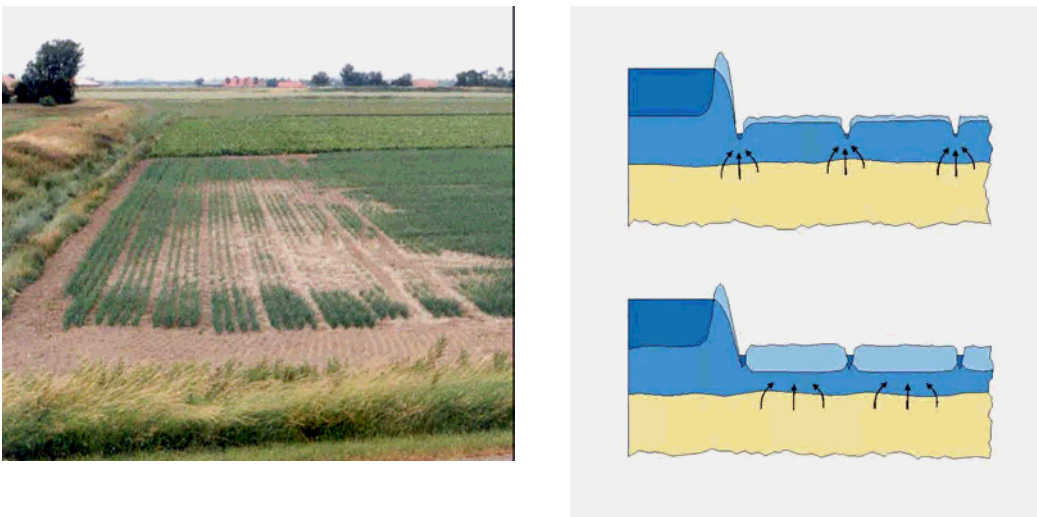


Figuur 1-31: Vorming van een wel door opbarsten. 1e WVP betekent 1<sup>e</sup> watervoerende pakket (Bron: pilot kweldichting [http://www.rijnland.net/wat\\_doet\\_rijnland/onderzoek\\_aan\\_water/onderzoek\\_aan\\_water/pilot\\_weldichting](http://www.rijnland.net/wat_doet_rijnland/onderzoek_aan_water/onderzoek_aan_water/pilot_weldichting))

### Kwel

De kwel zal door hogere buitenwaterstanden en dunnere deklagen toenemen. Aangezien kwel in de meeste polders een klein deel van de totale waterbalans in een polder omvat, worden globaal gezien geen grote problemen verwacht. Tenzij er geen deklaag is, of een massaal opgebarsten deklaag. Lokaal kan kwel wel een dominante factor zijn, bijvoorbeeld in polder Groot-Mijdrecht waar de kwel ongeveer zes maal groter is dan elders in Nederland (zie het advies van de Onderzoekscommissie Water en Bodemdaling Groot-Mijdrecht Noord ("Commissie Remkes") over de problematiek in Groot-Mijdrecht). De kwel moet niet alleen afgevoerd

worden, maar kan ook waterkwaliteitsproblemen opleveren (interne verzilting). Interne verzilting treedt op door zoute kwel in binnendijks gebied, zie Figuur 1-32. Voornamelijk landbouw heeft te lijden onder interne verzilting. Interne verzilting wordt tegengegaan door doorspoeling, waardoor de watervraag en daarmee de gevoeligheid voor *droogte* toeneemt. Verzilting is nauw gerelateerd aan droogteschade. Het aandeel van verzilting aan de totale droogteschade is beperkt [RIZA, 2005]; ook in de toekomst worden hier globaal geen grote kostenposten verwacht, maar kan het lokaal wel een bedreiging zijn. Brakke kwel kan ook een *positieve kant* hebben. Aangezien er goed gefilterd water binnen komt, liggen hier mogelijkheden voor de drinkwatervoorziening. Een citaat uit het rapport van de Onderzoeksc commissie Water en Bodemdaling Groot Mijdrecht Noord illustreert dit: *"Dat de kwel nog groter kan zijn dan de kwel in Groot Mijdrecht laat de oostelijk gelegen Bethune polder zien. Daar ontbreekt de remmende kleilaag volledig, het peilverschil tussen polder en Loosdrechtse plassen is 2,75 meter en de kwel bedraagt 15 mm/dag (2 keer zoveel als in Groot-Mijdrecht). Het kardinale verschil is dat de kwel in Groot Mijdrecht brak is, en in de Bethune polder zoet. De Amsterdamse Waterleidingen maken in de Bethune polder dankbaar gebruik van de filterende werking van de ondergrond om voor 400.000 mensen goed drinkwater te bereiden. Door de inzet van de membraantechnologie kan ook het Mijdrechtse brakke grondwater voor drinkwaterdoeleinden gebruikt worden. Uiteraard moet dan naar de economische haalbaarheid worden gekeken"*.



Figuur 1-32: Zoutschade (<http://www.droogtestudie.nl/documenten/Verziltingsbeheersing.pdf>)

### Zoutindringing

Externe verzilting ontstaat door zoutindringing in de rivieren die in open verbinding staan met de zee. Door de vele dammen is dat alleen het geval in de Westerschelde en de Nieuwe Waterweg. De zoutindringing is een gevolg van zeespiegelstijging en lagere rivierafvoeren, waardoor de zouttong zich verder landinwaarts strekt. Vooral de zoetwaterinname bij Gouda loopt gevaar in droge jaren, waardoor de bosbouw in het achterliggende gebied niet de gewenste waterkwaliteit kan krijgen. De herhalingsperiode van extreme verzilting halveert ongeveer, uitgaande van 0,25 m zeespiegelstijging in 2050 (Beersma *et al.*, 2005). De kosten van externe verzilting kunnen groter worden als de zoetwatervoorziening in gevaar komt en maatregelen moeten worden getroffen. Hoe groot de totale kosten van verzilting zijn, is onbekend, en dient nader uitgezocht te worden. Als voorbeeld kan Hoogheemraadschap Rijnland worden aangehaald. De contante waarde voor maatregelen voor verziltingbestrijding bij doorzetting van het huidige beleid worden geraamd op 125 – 170 M€. Als men wil voldoen aan het Nationaal Bestuursakkoord Water wordt dit een factor 5 hoger. De baten, in de vorm



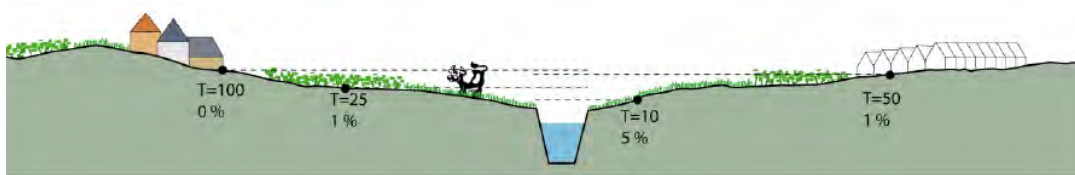
van beperking van de zoutschade, zijn niet in geld uitgedrukt. Vanzelfsprekend worden de kosten lager naarmate de eisen aan de waterkwaliteit minder streng zijn.

### Waterbalans

Door veranderingen in weersextremen zullen veranderingen in de waterbalans optreden. Er zullen vaker en grotere watertekorten en wateroverschotten ontstaan. Oplossingen voor het tegengaan van watertekorten lijken hierin kostbaarder van aard, aangezien de duur vaak langer is dan de duur van wateroverschotten. Zowel natschade als droogschade worden nu al deels geaccepteerd. De bedrijfsvoering is gericht op een evenwicht tussen nat- en droogteschade, waarbij de som van beide minimaal is. Doorgaans is dit evenwicht wat verschoven naar het vermijden van natschade omdat men liever de deels met berekening controleerbare droogteschade heeft dan de niet controleerbare natschade.

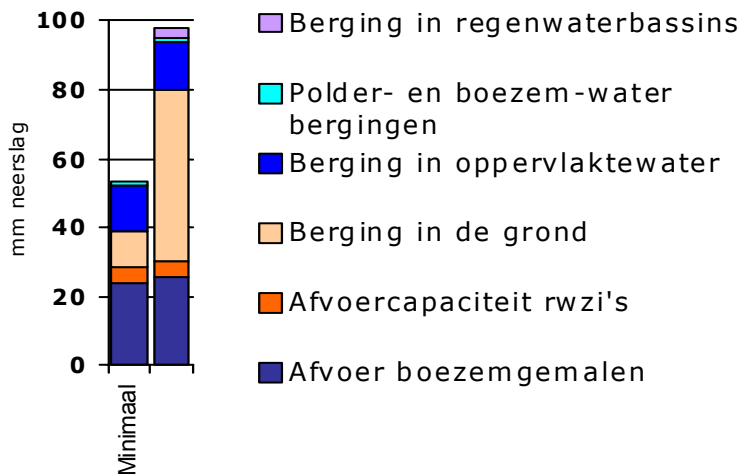
### Wateroverschot

In de huidige situatie wordt een deel van het water dat het polder-boezemsysteem binnen komt, er ook weer uitgepompt (een groot deel verdampt of zakt weg in de bodem). In het Nationaal Bestuursakkoord Water zijn werknormen (toelaatbare overschrijdingsfrequenties) voor verschillende functies vastgelegd, zie Figuur 1-33. Om aan deze *werknormen* te kunnen blijven *voldoen* bij toename van *extremen* kunnen knelpunten ontstaan, hoewel de geschiedenis heeft aangetoond dat andere functies kunnen worden toegekend aan gebieden waar het niet rendabel is de huidige functie vast te houden. Ook komt het voor dat de omvang van de schade die ontstaat bij normoverschrijding acceptabel is en geen reden is om de functie aan te passen of maatregelen uit te voeren.



Figuur 1-33: Werknormen Nationaal Bestuursakkoord Water.

Een grote opgave is de afvoer van neerslag in *stedelijk gebied* en op grote schaal verhard gebied. Hier is weinig berging in het systeem aanwezig en de neerslag die niet door het systeem kan worden afgevoerd kan snel resulteren in overlast en/of schade. Hierbij is vooral extreme neerslag van belang. Er wordt verwacht dat de extremen in de toekomst toenemen, zowel wat betreft intensiteit als frequentie. Om dit op te vangen zijn aanpassingen nodig, waarbij een mix van maatregelen (berging en vergroting afvoercapaciteit, maar ook het aanbrengen van stoepen en een aangepaste inrichting van het stedelijk gebied voorkomt veel schade) de toe te nemen piekneerslag op moet vangen. Een kosten-baten analyse moet wel uitwijzen tot hoe ver we gaan met het voorkomen van schade. De stichting RIONED verwacht dat de knelpunten beperkt van omvang zullen zijn, maar dit dient nog wel verder te worden onderbouwd. In onderstaande figuur staat weergegeven hoe de verwerkingscapaciteit van het Delflandse watersysteem is samengesteld.



Figuur 1-34: Variabiliteit van de beschikbare verwerkingscapaciteit van neerslag in 48 uur in het Delflandse watersysteem. RWZI is rioolwaterzuiveringsinstallatie [HKV, 1999].

Ook in het *landelijk gebied* zal vaker schade voorkomen in het geval niet ingegrepen wordt. Als de huidige richtlijn wordt nageleefd, zal door een toename van piekneerslag en gemiddelde neerslag de afvoer en/of de berging van de huidige systemen vergroot moeten worden. Dit is voornamelijk een lokale afweging. Daarnaast zullen door de toename in neerslag de grondwaterstanden toenemen. Dit kan leiden tot een toename van schade aan gewassen en invloed hebben op de bedrijfsvoering doordat de bodem later in het jaar bewerkbaar wordt. Maatregelen als intensivering van drainage zijn voornamelijk een afweging op bedrijfsniveau.

#### Watertekort

Een tekort aan water leidt tot droogteschade in de land- en tuinbouw door een tekort van de goede waterkwaliteit. In de zomers wordt een toenemend watertekort verwacht, en dus een toename van droogteschade in de land- en tuinbouw als er niks wordt gedaan. De huidige opbrengstreductie door droogteschade is gemiddeld 675 M€/jaar, maar dit wordt geaccepteerd. Het gemiddelde watertekort voor de landbouw is 30 mm over heel Nederland, in een extreem droog jaar (1/100 overschrijdingskans) is dit 170 mm [RIZA, 2005]. De schade door droogte, gecompenseerd door extra zonneschijn, wordt geschat op 150 M€/jaar, oplopend tot 700 M€ in een extreem droog jaar. Door toename van droogte in de toekomst zijn wellicht kosteneffectieve maatregelen denkbaar. Grootschalige berging wordt niet kansrijk geacht, wel lokale maatregelen [RIZA, 2005]. Een toename van 6 à 13 procent van de neerslagtekorten [RIZA, 2005] in 2050 zal gemiddeld resulteren in een toename van de schade van enkele *tientallen miljoenen* €. Of er maatregelen worden getroffen hangt echter van de maatschappelijke acceptatie af. Een mogelijke maatregel voor het verminderen van watertekorten is de zogenaamde dubbele koppeling (water kan zowel naar het IJsselmeer worden getransporteerd voor uitwatering als er uit worden gehaald voor irrigatie) met het IJsselmeer, waardoor Zuid-Holland van IJsselmeerwater kan worden voorzien. Dit water is voornamelijk nodig voor de verbetering van de waterkwaliteit.

#### Kosten wateroverschot en watertekort

De totale kosten van de overheid voor watertaken bedroegen in 2006 circa € 5,1 miljard (inclusief drinkwater). Hiervan was ongeveer € 1,7 miljard voor waterkwantiteit (1 miljard van het Rijk, 700 miljoen van waterschappen; [Water in Beeld, 2007]). Voor de kosten van wateroverschot worden twee zaken onderscheiden:

- Opvangen weersextremen: vooral de kosten van stedelijk waterbeheer dienen nader uitgezocht te worden.
- Voor Flevoland wordt door klimaatverandering verwacht dat de kosten van het wegpompen van water met circa 5-10% zullen toenemen. Dit geldt tevens voor de andere poldergebieden en wordt vooral veroorzaakt door de toename van de neerslag in de winterperiode.

#### *Inschatting toename van de kosten*

In het algemeen wordt verwacht dat de kosten voor het regionale waterbeheer stijgen. Op grond van diverse studies verwachten wij dat dit tegen het einde van deze eeuw om een bedrag gaat van circa € 100-200 miljoen per jaar. Dit is een toename met circa 10%.

#### **Conclusie**

In de huidige situatie zijn er verschillende risico's voor het regionale waterbeheer. Met name speelt daarbij de overlast door overmatige kwel, te veel neerslag in korte duur, te weinig neerslag (droogte), onvoldoende waterkwaliteit (onder andere verzilting) en toename van de kosten van wegpompen. Van oudsher worden maatregelen getroffen om de risico's te verkleinen, of wordt het risico geaccepteerd. In de toekomst wordt een toename van belasting en weersextremen verwacht. In de lijn der geschiedenis zal men zich hier deels op aanpassen door het treffen van passende maatregelen, en de schade deels accepteren. De grootste uitdaging voor het regionale waterbeheer lijkt globaal te bestaan uit de stabiliteit van de bodem (opbarsten), kwel en de zoetwater inlaat. Er zijn echter meer bedreigingen. De houdbaarheid van een polder hangt erg van lokale omstandigheden af (zowel wat betreft economische veerkracht als wat betreft de ernst van de verschillende problemen). De lokale houdbaarheid van polders verdient dus nader onderzoek, maar in het algemeen lijkt de houdbaarheid niet in het geding.

We bevelen verder aan om een nationale verkenning uit te voeren naar de factoren die de toekomst van de polder bepalen. Er zijn nu al polders waarbij de kosten van bemaling groter zijn dan de opbrengsten uit de waterschapslasten, zoals bijvoorbeeld polder Groot-Mijdrecht (voor een kritische beschouwing over deze polder verwijzen we naar de Onderzoekscommissie Water en Bodemdaling Groot-Mijdrecht Noord). Product van dit onderzoek is een kaart, waarin de toekomst van de verschillende polders is aangegeven.

## **1.8 Overzicht knelpunten**

In deze paragraaf wordt een overzicht van de knelpunten per watersysteem beschreven. Deze knelpunten vormen mogelijk een probleem voor de implementatie van de verschillende maatregelen, maar lijken in de meeste gevallen te kunnen worden opgelost, mogelijk met dure maatregelen.

#### *Algemeen*

Een van de grootste knelpunten voor de aanpassing van ons watersysteem aan veranderende fysieke omstandigheden is de maatschappelijke acceptatie. Door de 'Not In My BackYard' houding is het al lastig, en wordt het er niet makkelijker op om bijvoorbeeld dijkverhogingen voor elkaar te krijgen. Ook door ecologische waarde duurt het langer en worden versterkingsprojecten duurder. Tevens zijn dijken 'uit de mode' waardoor versterkingsprojecten in de toekomst mogelijk hinder ondervinden. De volgende knelpunten ontstaan per watersysteem.

### *Zee*

- Handhaven kustfundament: met de huidige manier van zand suppleren is het systeem goed bij te houden. Het is de vraag of estuaria in de toekomst voldoende gevoed kunnen worden met suppleties buiten het estuarium.
- Dammen: Verbetering afsluitdijk.
- Stormvloedkeringen vervangen bij meer dan halve meter zeespiegelstijging
- Dijken: Hondsbosche en Pettemer Zeewering aanpassen, levert nu ook al weerstand op.
- Dijken: mogelijk moeten er, naast de verhoging, ook veel steenbekledingen worden vervangen.

### *Bovenrivieren*

- Opbarsten en piping bij dijken.
- Stabiliteit van dijken.
- Ruimtebeslag.

### *Delta*

- Bebouwing.
- Slappe ondergrond, uitvoeringsproblemen en stabiliteitsproblemen.
- Steenzettingen (in voormalige Zeeuwse estuaria) vervangen.

### *IJsselmeer*

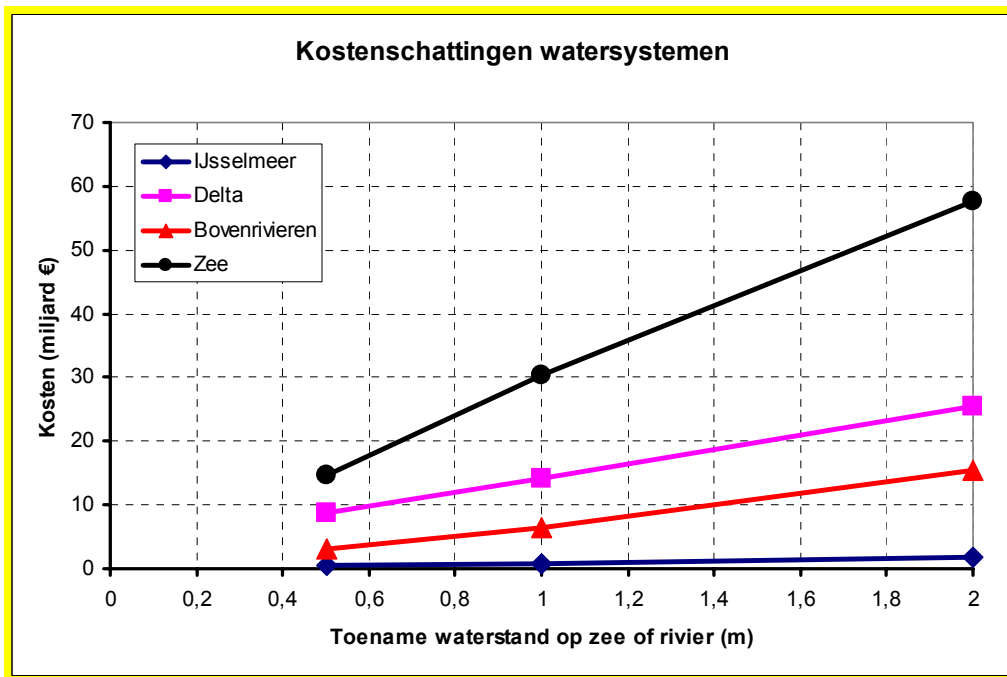
- Welk beleid: pompen of meegroeien?
- Pompen: kosten en energieverbruik, maar geen aanpassingen aan IJsselmeer en omringende boezems.
- Meegroeien: hogere waterstanden waardoor spuien onder natuurlijk verval mogelijk blijft. Keringen en andere functies (sluizen, jachthavens) moeten echter worden aangepast.

### *Polderboezemsysteem*

- Stabiliteit bodem.
- Zoetwater inlaat bij oprukkende zouttong (voornamelijk probleem bij zoetwaterinlaat Gouda).
- Capaciteitsvergroting voor afvoeren extreme neerslag.
- Extra inlaatcapaciteit voor droogte.

## **1.9 Samenvatting kosten**

In Figuur 1-35 wordt een kostenschatting gegeven voor het handhaven van het polderconcept. Voor de bepaling van de kosten wordt verwezen naar de inleiding van deze bijlage.



Figuur 1-35: Kostenschatting voor het totale systeem.

#### Verklaring kostenschattingen

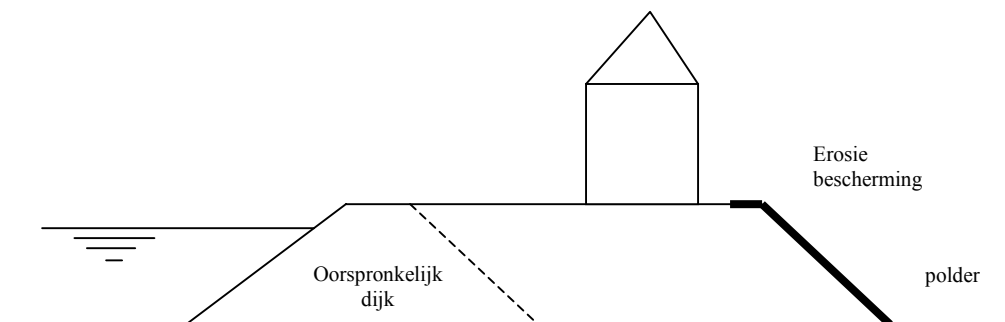
- De grootste kostenpost is het watersysteem zee. Het watersysteem zee kent een voornamelijk lineair verloop, omdat hier de dominante kosten worden gegeven door het meegroeien van het kustfundament, wat een lineair proces is. De vervangingen van de stormvloedkeringen bij meer dan 50 cm zeespiegelstijging zorgt voor een kleine sprong.
- De tweede kostenpost is de aanpassing van de delta aan hogere waterstanden. De kosten zijn onder andere hoog door het vele stedelijk gebied. Maatschappelijke weerstand is niet verwerkt in deze schatting.
- Voor de bovenrivieren moeten behoorlijke aanpassingen worden gemaakt, er worden echter relatief weinig knelpunten verwacht.
- Hoewel er grote ingrepen nodig zijn voor het IJsselmeer, is de invloed hiervan op de totale kosten beperkt door het kleine percentage keringen rond het IJsselmeer ten opzichte van het totaal.
- De bovenstaande kosten schatting is hoog vergeleken met een vergelijkbare studie door [Sprong, 2008], door conservatievere aannames.

#### Knikken in kostenfunctie?

Er lijken voorlopig weinig problemen te zijn die resulteren in knikken in de kostenfuncties. De belangrijkste reden hiervoor lijkt dat problemen gradueel erger worden, en zich niet ineens manifesteren. Verzilting wordt steeds erger, maar ontstaat niet van de ene op de andere dag. Hetzelfde geldt voor opbarstende deklagen, enz. Door de grootschaligheid ontstaat er een demping in de kostenfunctie aangezien een bepaalde grens niet overal tegelijkertijd wordt overschreden. De meeste problemen van later zijn nu ook al een (klein) probleem. Maatschappelijk acceptatie (niet in kostenfunctie) en ruimtebeslag (nu lineair) in kostenfunctie zouden voor een sprong kunnen zorgen als er door grootschalige protesten grote projecten vertraagd gaan worden. De lineaire stijging van de kostenfuncties volgt ook deels uit de analyse van de verschillende waterkeringen dat het ruimtegebruik, breedte en hoogte niet sterk exponentieel toenemen bij verhoogde maatgevende waterstanden.

## 1.10 Overstroombare dijk

Dijkverhoging is de gangbare techniek voor het verkleinen van de doorbraakkans van een dijk. Er kan echter ook worden gekozen voor een zogenaamde 'overstroombare', 'overslagbestendige' of 'doorbraakvrije' dijk. Deze termen klinken goed, maar bedacht moet worden dat we nu ook al deze dijken hebben, maar tot een vastgestelde norm (overstromingskans). En deze norm kan welhaast onbeperkt klein gemaakt worden, mits er voldoende geïnvesteerd wordt. Er zijn vele varianten op de overstroombare of doorbraakvrije dijk. Hier wordt een brede dijk met veel mogelijkheden voor functie-integratie behandeld, andere opties zijn smalle overstroombare dijken of overslagbestendige dijken. Bij een brede overstroombare dijk wordt een brede dijk aangelegd die kan overstromen zonder door te breken. Gedurende de relatief kort durende afvoerpiek zal er dan water over de dijk het gebied in stromen, zonder dat er grootschalige en plotse overstromingen optreden. Een groot voordeel van een overstroombare dijk is dat de kans op een bres zeer klein wordt. En juist een bres zorgt voor het grootste gevaar op slachtoffers en grote schade. Ook is er meer ruimte voor overige functies aan het water. Nadeel is grote ruimtebeslag van deze (brede) dijk en de hoge aanlegkosten door het benodigde hoeveelheid dijk materiaal en het erosiebestendig maken. Indien gekozen wordt voor deze techniek zal ook meteen een hele dijkring overstromingsbestendig gemaakt moeten worden, zodat het water niet alsnog via de zwakste plek binnen komt. Een toepassing kan bijvoorbeeld worden gevonden langs de Lek, waar de stabiliteits- en pipingproblematiek kan worden opgelost met een overstroombare, doorbraakvrije dijk. De verbreding zal in stedelijk gebied op weerstand stuiten aangezien hier dan bebouwing voor moet wijken.



Figuur 1-36: Concept overstroombare dijk.

De kosten hangen erg van de details van het ontwerp af. Grofweg kan worden gesteld dat de kosten evenredig toenemen met de inhoud van het dijk lichaam. We hebben de kosten eerder gesteld op  $(0.3M\text{€} + 4M\text{€} \times \text{hoogte})$  per kilometer. Eén meter verhoging kost dus grofweg € 4 miljoen. Dit komt overeen met een oppervlakte vergroting van grofweg 50%. Als we de dijk 3 keer zo breed maken (de oppervlakte vergroot nu met 300%) kost dit dus grofweg  $300/50 \times 4 = 24$  miljoen €/km plus de kosten van het erosiebestendig maken. De kosten zijn dus aanzienlijk hoger, hierbij moet worden afgewogen of dit afweegt tegen de baten als overstromingsrisico-reductie en functie-integratie. Kortom, de brede overstroombare dijk is een alternatief dat een plaats verdient in het ontwerpproces, net zoals andere varianten op de huidige aarden dijk.

## Referenties

[Arcadis & Fugro, 2006]

*Kostenfuncties dijkkringgebieden 7, 14 en 29.* Arcadis & Fugro, 2006.

[AFPW, 2007]

*Tussensprint naar 2015 – advies over de financiering van de primaire keringen voor de bescherming van Nederland tegen overstromingen,* AFPW - Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen, 2007.

[Beersma & Buishand, 2006]

*Zout, zouter, zoutst – statistiek van externe verzilting in Midden-West Nederland.* J.J. Beersma en T.A. Buishand, 2006.

[Duits, 2008]

*Hydra-VIJ – Testrapport - Omkeervariant, dijkringen, onzekerheid waterstand en klimaatscenario's,* Versie 3.0 (concept), HKV [LIJN IN WATER](#), mei 2008.

[Eijgenraam, 2005]

*Veiligheid tegen overstromen: Kosten-Baten Analyse Ruimte voor de Rivier deel 1.* C. Eijgenraam. CPB-rapport 82, 2005.

[HKV, 1999]

*Onderzoek wateroverlast september 1998.* HKV [LIJN IN WATER](#), Opdrachtgever Hoogheemraadschap Delfland, 1999.

[HR, 2006]

*Hydraulische Randvoorwaarden,* 2006 (<http://www.hydraulischerandvoorwaarden.nl/>)

[Klijn et al., 2007]

*Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat – Verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het project Nederland Later.* F. Klijn, P. Baan, K. de Bruijn en J. Kwadijk, WL|Delft Hydraulics rapport, Q4290, mei 2007.

[Nederbracht, 2005]

*Zandvoorraden van het kuststelsel.* G. Nederbracht, RIKZ rapport 2005.033, 2005.

[Remkes et al., 2007]

*Water en Bodemdaling in Groot-Mijdrecht,* Onderzoekscommissie Water en Bodemdaling Groot-Mijdrecht Noord ('Commissie Remkes'), Utrecht, december 2007.

[RIVM, 2004]

*Risico's in bedijkte termen,* RIVM – Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2004.

[RIZA, 2005]

*Droogtestudie Nederland – Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland,* RIZA, 2005.

[RPB, 2007]

*Overstromingsrisico's als ruimtelijke opgave.* Ruimtelijk Planbureau, Den Haag, 2007.

[RWS, 2004]

*Factsheet gemaal IJmuiden.* Rijkswaterstaat,  
[http://www.energiebesparinggww.nl/downloads/factsheet\\_gemaal\\_ijmuiden.pdf](http://www.energiebesparinggww.nl/downloads/factsheet_gemaal_ijmuiden.pdf)

[Sprong, 2008]

*Achtergronddocument case business as usual – kostenschattingen.* T. Sprong, Project

aandacht voor Veiligheid, versie 4 maart 2008, met bijdragen van J. Kind (concept 17 januari 2008).

[TAW, 1998]

*Grondslagen Waterkeren*, TAW – Technische Adviescommissie Waterkeringen, 1998.

[TAW, 1999]

*Technisch rapport zandmeevoerende wellen*. TAW – Technische Adviescommissie Waterkeringen, 1999.

[TAW, 2001]

*Technisch rapport waterkerend grondconstructies* Technische Adviescommissie Waterkeringen, 2001.

[Van Bommel *et al.*, 2007]

*Doorontwikkeling HIS SSM - Definitiestudie naar kosten herstel waterkeringen en opname in HIS SSM*. Van Bommel, van Dijk en Meulenpas (2007), Royal-Haskoning rapport 9S8028.A0, 2007.

[VNK, 2006]

VNK (2006) *Hoofdrapport overstromingsrisico's*.

[Vrijling, 1991]

*Sealevel rise, a threat to low-lying countries*. J.K. Vrijling. Proc. International Symposium on Natural disaster reduction and civil engineering, 1991.

[VTV, 2006]

VTV – Voorschrift Toetsen op Veiligheid, 2006.



## Bijlage 2 Betaalbaarheid van het polderconcept

In deze bijlage gaan we in op de betaalbaarheid van het polderconcept in de toekomst. We werken uit wat het anticiperen op klimaatverandering door middel van opschaling van het huidige systeem betekent. Hierbij gaan we uit van het versterken en verbreden van dijken en het vergroten van pompcapaciteit. De beschouwingen in dit hoofdstuk richten zich primair op de kosten van primaire waterkeringen en de dijkringen. Op enkele plekken is ook relevante informatie over de kosten van waterhuishouding opgenomen. In de uitwerking staan de volgende vragen centraal:

- Over hoeveel dijkverhoging en dijkversterking hebben we het? Is dit technisch mogelijk en maatschappelijk houdbaar? (paragraaf 2.2)
- Hoe ontwikkelen zich de investeringen in waterkeringen in de toekomst? En in hoeverre zijn deze kosten op te brengen in de context van het Bruto Binnenlands Product (BBP)? (paragraaf 2.3)
- Is er een omslagpunt te bepalen waarbij de investeringen in waterkeringen niet meer rendabel zijn? (paragraaf 2.4)

In de volgende paragrafen (2.5 en 2.6) wordt ingegaan op de volgende vragen: Zijn er andere strategieën die mogelijk een (meer) effectieve en robuuste bescherming kunnen bieden tegen overstromingen? Biedt de verandering van de grootte van de bestaande dijkringen (schaalvergroting of juist schaalverkleining door compartimentering) kansen?

### 2.1 Achtergrond: toekomstige ontwikkeling van het waterveiligheidsbeleid

#### 2.1.1 Inleiding: de overstromingsrisicobenadering

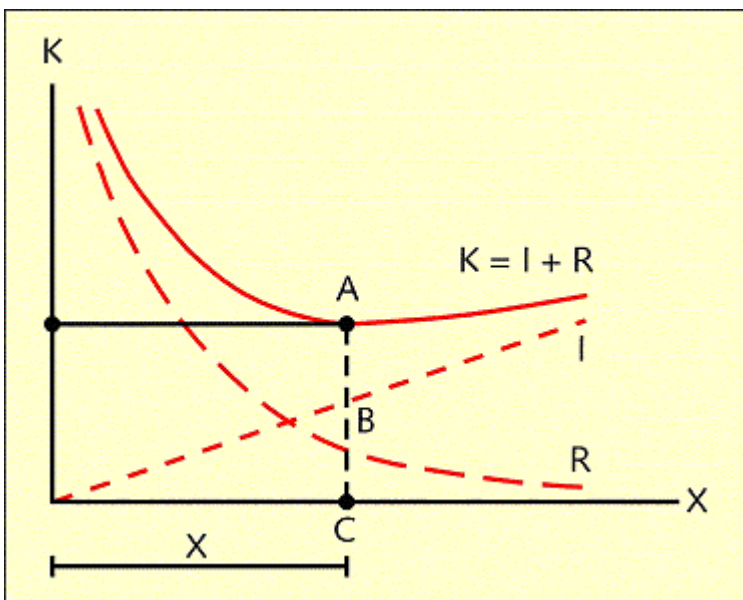
Sinds het werk van de Deltacommissie is het Nederlandse hoogwaterbeschermingsbeleid gebaseerd op een risicobenadering. Hierin wordt zowel rekening gehouden met de kans op een overstroming als met de gevolgen. Risico wordt vaak gedefinieerd als kans maal gevolg en we gebruiken dit risicobegrip in deze uitwerking. Hierbij wordt opgemerkt dat het bij de gevolgen kan gaan om veel verschillende typen gevolgen, zoals (dodelijke) slachtoffers, economische schade, verlies aan natuur- en cultuurwaarden. Uiteindelijk moeten al deze elementen worden meegenomen in een beschouwing over het hoogwaterbeschermingsbeleid.

De overstromingskans geeft de kans aan op overstroming van een dijkkringgebied. De overstromingskans wordt bepaald door de kans op een grote hydraulische belasting en de sterkte van de waterkeringen. In de praktijk kan een dijkkringgebied op verschillende manieren overstroomd, via verschillende overstromingsscenario's. Ieder overstromingsscenario representeert een doorbraak op een bepaalde locatie (of een combinatie van doorbraken) en de gevolgen (schade, slachtoffers) zullen afhangen van het overstromingsscenario. Voor analyses op landelijke schaal wordt vaak gewerkt met een gemiddeld gevolg per dijkkring en één waarde voor de overstromingskans.



Figuur 2-1: Relatie tussen de overstromingskans en de veiligheid van een waterkering.

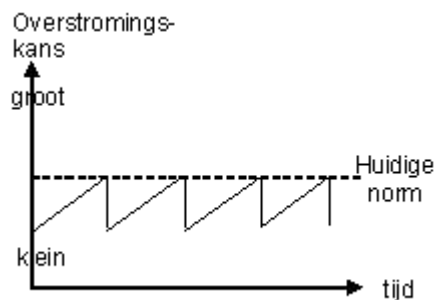
Naast het risico spelen ook de investeringen in waterkeringen een belangrijke rol. Met behulp van de principes van de kosten-baten analyse (KBA) kunnen de kosten van waterkeringen (de investeringen) worden afgewogen tegen de baten (de reductie van het risico dat wordt bereikt door deze investeringen). Op basis van deze benadering is vast te stellen hoeveel investeringen in dijkversterking maximaal gerechtvaardigd zijn. Daarnaast is door middel van een zogenaamde economische optimalisatie vast te stellen welke mate van investering tot een optimaal veiligheidsniveau leidt. Hierin wordt vastgesteld bij welke mate van veiligheid de som van de kosten voor waterkeringen en het gemonetariseerd risico minimaal is (zie Figuur 2-2). Deze benadering is door de Deltacommissie gebruikt om een optimale veiligheid voor de dijkkring Zuid Holland af te leiden en na politieke besluitvorming is voor deze dijkkring een veiligheidsniveau van 1/10.000 jaar vastgesteld.



Figuur 2-2: Het principe van de economische optimalisatie ( $I$  – investeringen;  $R$  – risico;  $K$  – totale kosten;  $X$  – optimale veiligheid).

De basis voor deze benadering is in het kader van het werk van de (eerste) Deltacommissie gelegd door Prof. Van Danzig (1956). Die benadering gaat vooral uit van een eenmalige grootschalige investering. Recentelijk zijn enkele verbeteringen / aanvullingen in deze aanpak

voorgesteld door dr. C. Eijgenraam (2006), waarbij vooral meer expliciet rekening is gehouden met veranderende omstandigheden in de tijd die kunnen leiden tot periodieke aanpassing van de veiligheid. In de loop van de tijd kan de veiligheid van de waterkering afnemen, bijv. door toename van de waterstanden door klimaatverandering enerzijds en mogelijke afname van de sterkte van de waterkering anderzijds (denk aan zakking van de dijkhoogte door inklinking van de grond). Na een bepaalde periode, bijv. als de waterkering niet meer aan de norm voldoet, zal een versterkingsronde moeten worden uitgevoerd. Hierdoor neemt de veiligheid van de waterkeringen na investeringen weer toe. Door dit proces van versterkingen over een langere periode (decennia tot eeuwen) te beschouwen is er sprake van herhaald investeren en ontstaat een zogenaamde zaagtandcurve, zie Figuur 2-3. In dit proces zijn verschillende beslisvariabelen te onderscheiden: de tijdsduur tussen twee versterkingsrondes (hoe lang?) en de mate van versterking bij een verbetering (hoeveel?). Het exacte verloop van de zaagtandcurve zal met name afhangen van de externe ontwikkelingen (bijv. de snelheid van zeespiegelstijging) en de gekozen strategie om te gaan met veranderende omstandigheden (zie paragraaf 2.1.3). Op basis van historische praktijkervaringen blijkt dat de periode tussen twee versterkingsrondes enkele decennia bedraagt (ongeveer 50 jaar) en dat de mate van versterking betrekking heeft op de verhoging van een waterkering met enkele decimeters tot een meter.



Figuur 2-3: *Proces van periodieke investering in waterveiligheid in de tijd. Uitgangspunt voor deze figuur is het ongewijzigd blijven van de veiligheidsnorm.*

### 2.1.2 Mogelijke strategieën voor hoogwaterbescherming in de toekomst

De invulling van het hoogwaterbeschermingsbeleid wordt bepaald door diverse politieke en maatschappelijke processen. Ervaringen uit binnen- en buitenland laten zien dat het optreden van rampen zeer veel invloed heeft op de maatschappelijke en politieke bereidheid om te investeren in hoogwaterbescherming. Omdat na rampen de schade al geleden is en het vaak gaat om zeer grote investeringen, lijkt een meer pro-actieve benadering de voorkeur te hebben, waarin men al voor het optreden van een grote ramp een aanvaardbaar risico niveau vaststelt. In principe zijn er bij het omgaan met klimaatveranderingen in het waterkeringsbeleid drie fundamenteel verschillende strategieën te onderscheiden:

- A. Waterkeringen blijven fysiek ongewijzigd: De bestaande waterkeringen worden in de huidige fysieke vorm onderhouden maar niet versterkt (en verhoogd) om mee te groeien met zeespiegelstijging en toenemende rivierafvoeren. De overstromingskans (en dus het risico) zal dan toenemen door de zeespiegelstijging.
- B. Waterkeringen blijven voldoen aan de huidige wettelijke normen: De bestaande waterkeringen worden zodanig onderhouden dat ze aan de bestaande normen volgens de

wet op de waterkering blijven voldoen. Dit betekent dat de waterkeringen meegroeien met de zeespiegel en dat de (gemiddelde<sup>1</sup>) overstromingskansen niet wijzigen.

- C. De sterkte van de waterkeringen is gebaseerd op een risicobenadering: De waterkeringen worden in de loop van de tijd zodanig aangepast dat het huidige risiconiveau ten minste gelijk blijft of verder afneemt tot een economisch optimale norm<sup>2</sup>. Doordat de potentiële schade in de dijkringen over de tijd toeneemt door economische groei zullen de overstromingskansen moeten afnemen om dit effect te compenseren en dan is er sprake van extra (preventieve) bescherming. Het risico (= kans x gevolg) blijft dan gelijk en de waterkeringen groeien harder dan de zeespiegel, het meerpeil, of de maatgevende afvoeren.

Strategie A lijkt voornamelijk niet realistisch en maatschappelijk onacceptabel, omdat dit onder veranderende omstandigheden het verlagen van de norm betekent. Inmiddels is er een vrij brede consensus dat de huidige normen voor een deel te laag zijn (RIVM, 2004), bijvoorbeeld doordat onvoldoende rekening is gehouden met de kans op slachtoffers in bepaalde gebieden. Het verder laten verslechteren van de veiligheidssituatie lijkt daarom geen optie. Echter, later in paragraaf 2.4 bespreken we de condities waaronder Strategie A in beeld kan komen. Dit is het geval als strategieën B en C niet meer houdbaar zijn, omdat de (relatieve) kosten voor waterveiligheid te hoog worden.

Het huidige waterkeringsbeleid dat is vastgelegd in de Wet op de waterkeringen volgt strategie B. Met behulp van de 5-jaarlijkse toetsing wordt nagegaan of de waterkeringen in staat zijn om de dan geldende randvoorwaarden voor de hydraulische belasting veilig te kunnen keren. Veranderende condities (bijv. zeespiegelstijging) kunnen worden meegenomen in de hydraulische randvoorwaarden die bij de toetsing worden gebruikt.

In de huidige beleidsverkenningen richting de toekomst, zoals binnen het project Waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw (WV21), onderzoekt men met name de risicobenadering uit strategie C. Dit zou de basis voor een mogelijk toekomstbeleid kunnen vormen en de bijbehorende aanpassing van de huidige normen. Een onderdeel binnen WV21 betreft de afleiding van nieuwe mogelijke normen voor waterkeringen op basis van een kosten-baten analyse (KBA).

De twee strategieën B en C vormen de basis voor de uitwerkingen in het resterende deel van dit rapport. Voor deze strategieën gaan we in op de volgende vragen:

- Wat betekent het anticiperen op klimaatverandering door middel van dijkversterking in de praktijk?
- Over hoeveel dijkverhoging en dijkversterking hebben we het? Is dit technisch mogelijk?
- Wat zijn de kosten van deze aanpassingen? Is dit maatschappelijk en economisch houdbaar?
- Is er een omslagpunt te bepalen waarbij deze kosten niet meer betaalbaar zijn?

Voordat we deze vragen kunnen beantwoorden is het eerst nodig om meer begrip te krijgen van de strategieën. Deze worden uitgewerkt in de volgende paragraaf.

---

<sup>1</sup> Er wordt hier gesproken van gemiddelde overstromingskansen omdat de overstromingskans tussen twee investeringsrondes kan wijzigen door tussentijdse effecten zoals zakking en klimaatverandering (zie ook Figuur 2-4.)

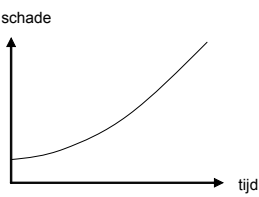
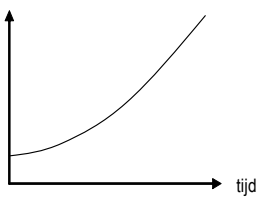
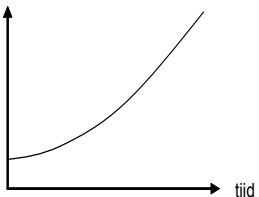
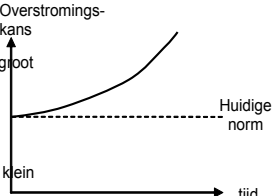
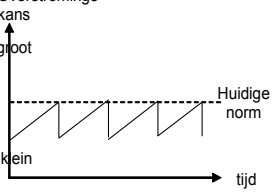
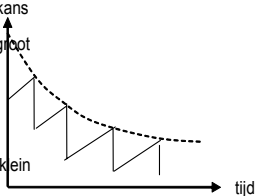
<sup>2</sup> We gaan er hierbij vanuit dat voor de meeste dijkringen de economisch optimale veiligheid gelijk is of hoger ligt dan de huidige veiligheid. Hoewel nog geen complete KBA is uitgevoerd voor alle dijkringen in Nederland lijken de beschikbare studies (CPB, HKV) dit uitgangspunt te bevestigen. Het lijkt beleidsmatig ook minder gewenst om de bestaande normen van enkele dijkringen te verlagen.

### 2.1.3 Uitwerking strategieën voor het waterveiligheidsbeleid in de toekomst

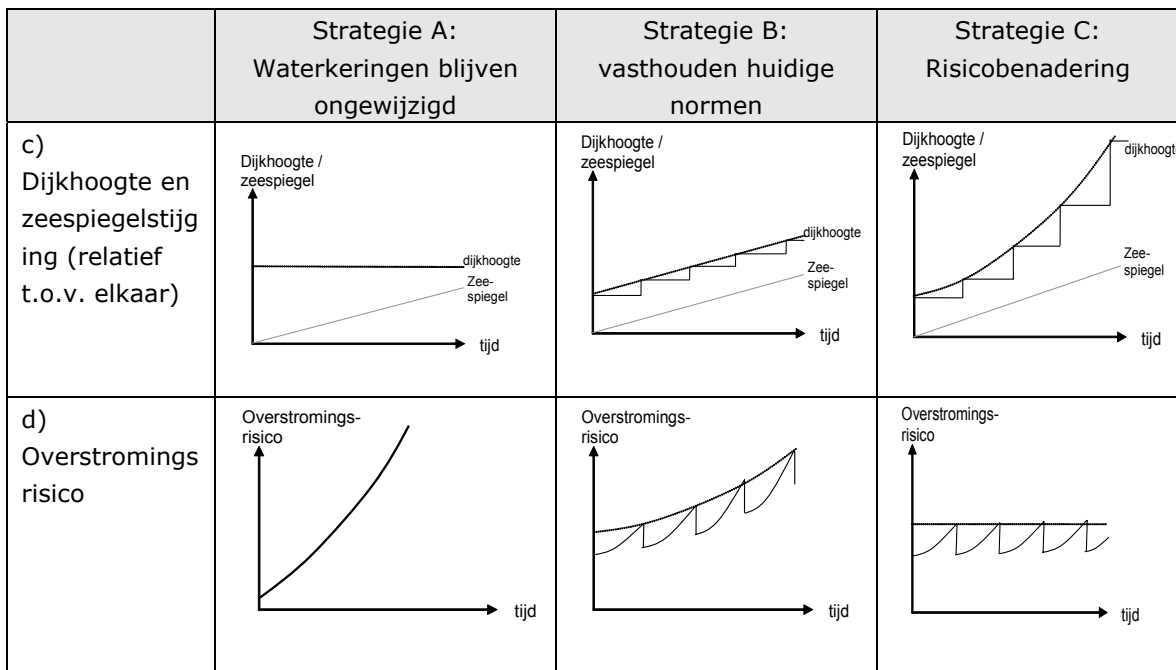
In deze paragraaf werken we de strategieën A (waterkeringen blijven ongewijzigd), B (vasthouden huidige normen) en C (risicobenadering) verder uit. We gebruiken de principes van de risicobenadering en kijken naar de ontwikkeling van de overstromingskansen, gevolgen en risico's in de tijd. Hierbij hanteren we de volgende uitgangspunten:

- De bestaande dijkkeringen blijven ongewijzigd. De mogelijkheid van schaalvergroting of verkleining van dijkkeringen wordt separaat behandeld in hoofdstuk 2.5.
- De dijken worden versterkt met 'traditionele' dijkversterkingstechnieken, zoals dijkverhoging- en verbreding. Deze zijn reeds verder uitgewerkt in Bijlage 1 en alternatieve mogelijkheden voor andere oplossingsrichtingen worden besproken in paragraaf 2.6.

Figuur 2-4 geeft voor een langere periode (zeg 200 jaar) een schematisch overzicht van achtereenvolgens de potentiële economische schade, de overstromingskans, dijkhoogte, zeespiegelstijging en het overstromingsrisico. Door informatie over het verloop van de overstromingskans en de zeespiegelstijging over de tijd te combineren, is schematisch de bijbehorende dijkhoogte af te leiden. Bij invulling is op basis van de beschikbare schattingen voorlopig uitgegaan van economische groei en een lineaire stijging van de zeespiegel en de maatgevende waterstanden in de rivieren. Het effect van deze aanname zal later worden besproken. Bij uitwerking van strategie C is uitgegaan van het constant houden van het huidige risico<sup>3</sup>.

|                      | Strategie A:<br>Waterkeringen blijven ongewijzigd                                   | Strategie B:<br>vasthouden huidige normen  | Strategie C:<br>Risicobenadering  |
|----------------------|---|--|---|
| a) Schade            |  |  |  |
| b) Overstromingskans |  |  |  |

<sup>3</sup> Uit de economische optimalisatie / KBA kan als resultaat komen dat het risico in het economisch optimum lager is dan het huidige risico.

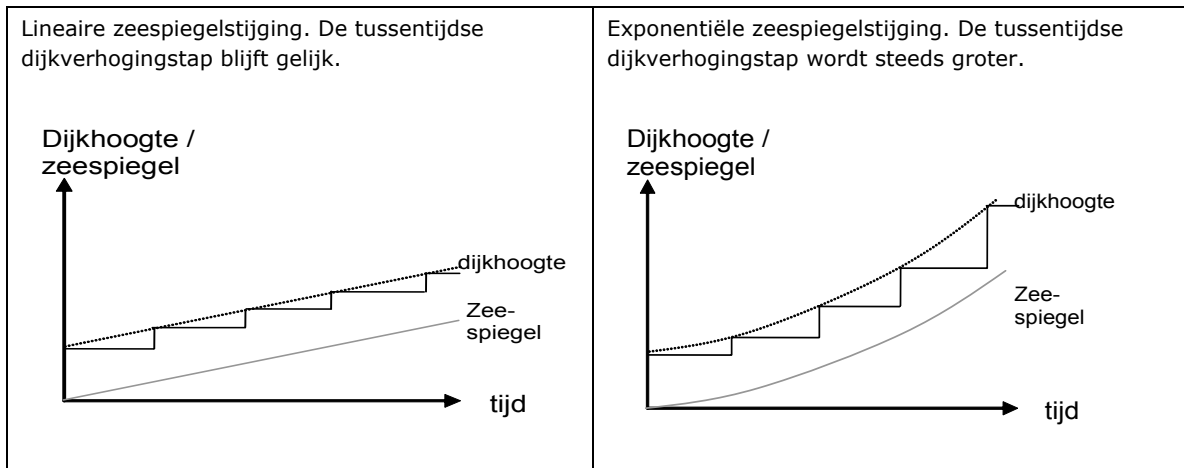


Figuur 2-4: Schematisch overzicht van ontwikkeling van schade, overstromingskans, dijkhoogte en risico in de tijd.

Bij strategie A blijven de waterkeringen fysiek ongewijzigd. Door stijging van de zeespiegel en de maatgevende waterstanden zullen de waterkeringen steeds onveiliger worden en zal de overstromingskans toenemen. Doordat ook de gevolgen toenemen door economische groei zal ook het risico sterk stijgen. Er wordt opgemerkt dat er bij deze strategie geen sprake is van een zaagtandcurve doordat de waterkeringen niet periodiek aangepast worden.

Bij strategie B volgt de dijkhoogte stapsgewijs de zeespiegelstijging. De overstromingskans blijft gemiddeld gelijk, maar het risico neemt toe door de groei van de economische waarde. Merk op dat in dit geval uitgaande van een steeds sneller stijgende zeespiegel de tussentijdse dijkverhogingen ook steeds groter worden. Bij strategie C groeit de dijkhoogte sneller dan de zeespiegel. Er wordt opgemerkt dat er discussie is over de maatschappelijke wenselijkheid van de derde strategie (en zelfs over de tweede strategie), omdat hierbij de dijkhoogte steeds maar groeit. De implicaties van de verschillende strategieën in termen van dijkverhoging en kosten worden in kaart gebracht in de volgende paragrafen.

In bovenstaande figuren is een lineaire stijging van de zeespiegel aangenomen. Dit lijkt op grond van de huidige gegevens te verwachten. Hierdoor zal de periodiek benodigde dijkverhoging om de stijging bij te houden in strategie B ongeveer gelijk zijn. Dit verandert als er sprake mocht zijn van een steeds snellere stijging van de zeespiegel. In dat geval zal de periodieke dijkverhogingstap die nodig is om de stijging bij te houden steeds groter worden.



Figuur 2-5: Het effect van de snelheid van de stijging van de zeespiegel op de periodieke dijkverhogingstap.

## 2.2 Benodigde dijkversterkingen in de toekomst

### 2.2.1 Veranderingen in maatgevende hydraulische omstandigheden

In deze paragraaf brengen we in kaart wat de benodigde dijkversterkingen zijn in de toekomst om de effecten van klimaatverandering op te vangen. We gaan daarbij allereerst uit van één basisscenario voor het klimaat, dat is gebaseerd op het Warm+ (W+) scenario<sup>4</sup> van het KNMI, de verwachte veranderingen die zijn weergegeven in Tabel 2-1 en wij beschouwen de periode tot het jaar 2200. We hanteren in deze studie één verwacht toekomstscenario om de mogelijke implicaties te kwantificeren.

In Tabel 2-1 zijn de verwachte zeespiegelstijging en peilstijging in het IJsselmeer weergegeven. Voor het IJsselmeer wordt conform de uitgangspunten in Bijlage 1 aangenomen dat de eerste 0.37 meter zeespiegelstijging wordt opgevangen met een grotere spuicapaciteit. Hierna zal het peil op het IJsselmeer meestijgen met de zeespiegel. Rijkswaterstaat geeft aan dat voor grotere zeespiegelstijgingen (dus boven de 2 meter) een vergroting van de pompcapaciteit nodig is. Voor de riviersystemen zijn op grond van beschikbare bronnen de toekomstige maatgevende afvoeren afgeleid. De maatgevende afvoer is het debiet dat gemiddeld eens in de 1250 jaar kan voorkomen. Voor zowel de Rijn als de Maas is geschat dat deze tot het jaar 2200 ongeveer 25% toenemen. Hierbij wordt opgemerkt dat de grove schattingen en dat bij een meer specifieke analyse ook de veranderingen in neerslag- en afvoerpatronen en de fysisch maximale afvoercapaciteit van de rivieren betrokken moet worden. Voor de riviersystemen is ingeschat wat de toename van de maatgevende afvoer globaal betekent in termen van toename van de maatgevende waterstand<sup>5</sup>. Deze verandering is ingeschat op basis van de zogenaamde Q(h) relatie die het verband geeft tussen het debiet bij Lobith of Borgharen en de lokale waterstanden. Voorbeelden van dergelijke relaties voor de bovenlopen van de Rijn en de Maas zijn opgenomen in Appendix A. Figuur 2-6 toont schematisch de toename van de maatgevende waterstanden en bevat dezelfde informatie als Tabel 2-1 hieronder.

<sup>4</sup> Dit is het meest extreme scenario van de vier door het KNMI uitgewerkte scenario's. In dit scenario is aangenomen dat de temperatuur in 2050 +2°C is gestegen ten opzicht van 2050. De winters worden zachter en natter door meer westenwind en de zomers worden warmer en droger door meer oostenwind.

<sup>5</sup> We merken hierbij op dat de precieze maatgevende waterstand afhankelijk zal zijn van de beschouwde locatie. Ter illustratie is het toch interessant om een schatting te geven van de ordegrrootte van de verandering van de maatgevende waterstand.

| Jaar   | Huidig | 2040   | 2100   | 2200   |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Zeespiegelstijging (m)   | 0      | 0,28   | 0,85   | 2,00   |
| Peilstijging IJsselmeer (m)  | 0      | 0      | 0.48   | 1.63   |
| Maatgevende afvoer Rijn (debiet - [m <sup>3</sup> /s])                         | 16.000 | 16.400 | 18.000 | 20.000 |
| Maatgevende waterstand Rijn (toename waterstand t.o.v. huidige situatie - [m]) | 0      | 0,2    | 0,6    | 1,25   |
| Maatgevende afvoer Maas (debiet - [m <sup>3</sup> /s])                         | 3800   | 3950   | 4275   | 4750   |
| Maatgevende waterstand Maas(toename waterstand - [m])                          | 0      | 0,12   | 0,4    | 0,8    |

Tabel 2-1: Overzicht van toename maatgevende waterstanden als gevolg van klimaatverandering.

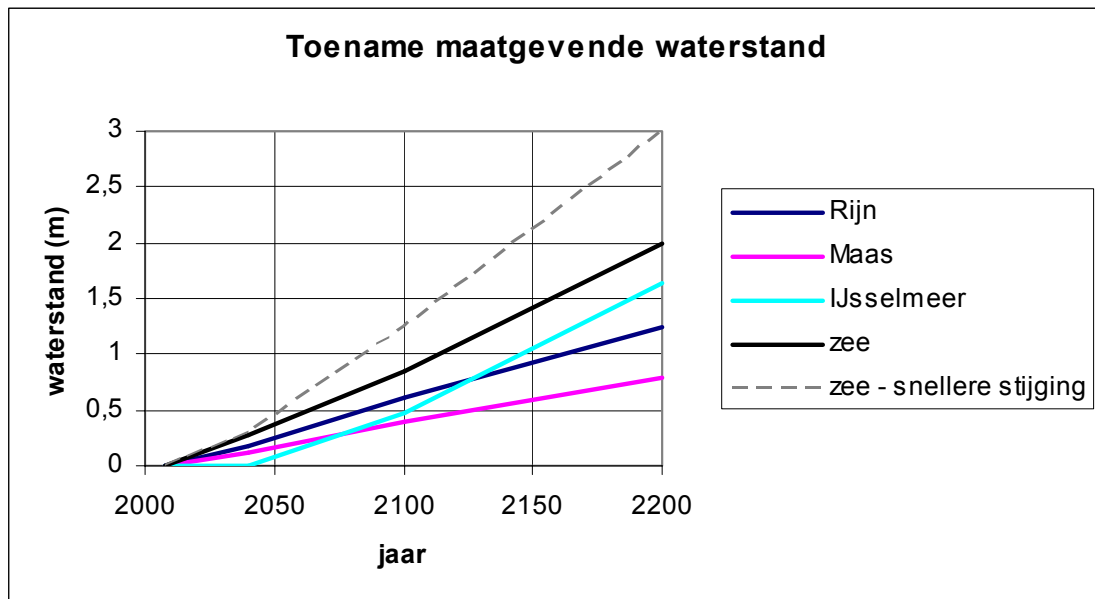
### Opmerking en alternatief scenario

Het was tijdens de looptijd van deze deelstudie voor de Deltacommissie helaas niet mogelijk om beschikking te krijgen over definitieve getallen die in een ander deelproject door Wageningen UR zijn uitgewerkt onder de titel 'Klimaatverandering en de effecten daarvan op het gedrag van Noordzee en Rijn'. Wel zijn de bovenstaande schattingen tot stand gekomen op basis van de voorlopige tussenresultaten uit die studie die door het secretariaat van de Deltacommissie richting dit deelproject zijn gecommuniceerd. Op het moment dat de definitieve gegevens uit de klimaatverkenning beschikbaar zouden komen in de toekomst, dan zouden in een eventuele vervolgstudie nieuwe kostenschattingen kunnen worden gemaakt.

Daarnaast is een alternatief scenario uitgewerkt met een snellere zeespiegelstijging die oploopt tot zo'n 1,75cm per jaar aan het eind van de 22e eeuw. Dit heeft effecten op de zeespiegel en resulteert in waterstanden van +0,4m, +1,25m, +3,0m in respectievelijk 2050, 2100 en 2200 (zie ook Figuur 2-6). Voor de bovenrivieren heeft dit geen effect op de maatgevende waterstanden, maar de maatgevende waterstanden langs de kust, in het IJsselmeer en de delta zullen gedeeltelijk meestijgen met zeespiegel.

De uitwerkingen in de volgende paragrafen zijn gebaseerd op het basisscenario tenzij anders is vermeld. Op enkele punten, met name voor de kostenschattingen, is een vergelijking gegeven tussen het basisscenario en het alternatieve klimaatscenario met versnelde zeespiegelstijging.





Figuur 2-6: Overzicht van de toename van de maatgevende waterstanden.

## 2.2.2 Benodigde dijkversterkingen als de waterkeringen blijven voldoen aan de huidige normen

Op basis van deze toenames van de maatgevende waterstanden is per deelsysteem een indicatie te geven van de benodigde dijkverhoging. We gaan er hierbij allereerst vanuit dat de dijkhoogte meestijgt met de maatgevende waterstand en dus van een situatie waarin de waterkeringen blijven voldoen aan de huidige normen (strategie B). In Figuur 2-7 tot en met Figuur 2-9 is per deelsysteem schematisch de stapsgewijze verhoging van de waterkeringen aangegeven. We gaan daarbij uit van een dijkversterking die iedere 50 jaar plaatsvindt (zie ook paragraaf 2.3.2). Aangenomen is dat de dijkversterking enigszins pro-actief plaatsvindt, dus voordat de daadwerkelijke zeespiegelstijging is opgetreden. Dit is ook de gang van zaken binnen de huidige toetsing van waterkeringen, waarbij bij vaststelling van de hydraulische randvoorwaarden en de daaruit volgende dijkverbeteringen al rekening wordt gehouden met de effecten van klimaatverandering in de toekomst. We nemen ook aan dat de dijken nu al enige extra hoogte<sup>6</sup> hebben en dat er niet direct vanaf heden (2008) dijkversterking nodig is. In deze studie nemen we aan dat vanaf het jaar 2025<sup>7</sup> aanvullende dijkverhogingsrondes nodig zijn om de effecten van klimaatverandering op te vangen.

## 2.2.3 Benodigde dijkversterkingen als het beleid wordt gebaseerd op een risicobenadering

In de volgende uitwerking is aangenomen dat de stijging van de gevolgen wordt gecompenseerd door een afname van de overstromingskans<sup>8</sup>. Dit betekent dat de waterkeringen ten opzichte van de stijgende zeespiegel extra verhoogd moeten worden. De

<sup>6</sup> Bij het ontwerp van dijken en de vaststelling van de hydraulische randvoorwaarden wordt al rekening gehouden met de effecten van klimaatverandering. De dijk heeft hierdoor enige overhoogte.

<sup>7</sup> Het jaar 2025 is gekozen als een gemiddelde. Sommige dijken zullen al eerder opgehoogd moeten worden, anderen later. Daarbij komt dat de keuze voor het jaar 2025 praktisch aansluit bij eerdere studies die de benodigde kosten tot het jaar 2025 hebben onderzocht.

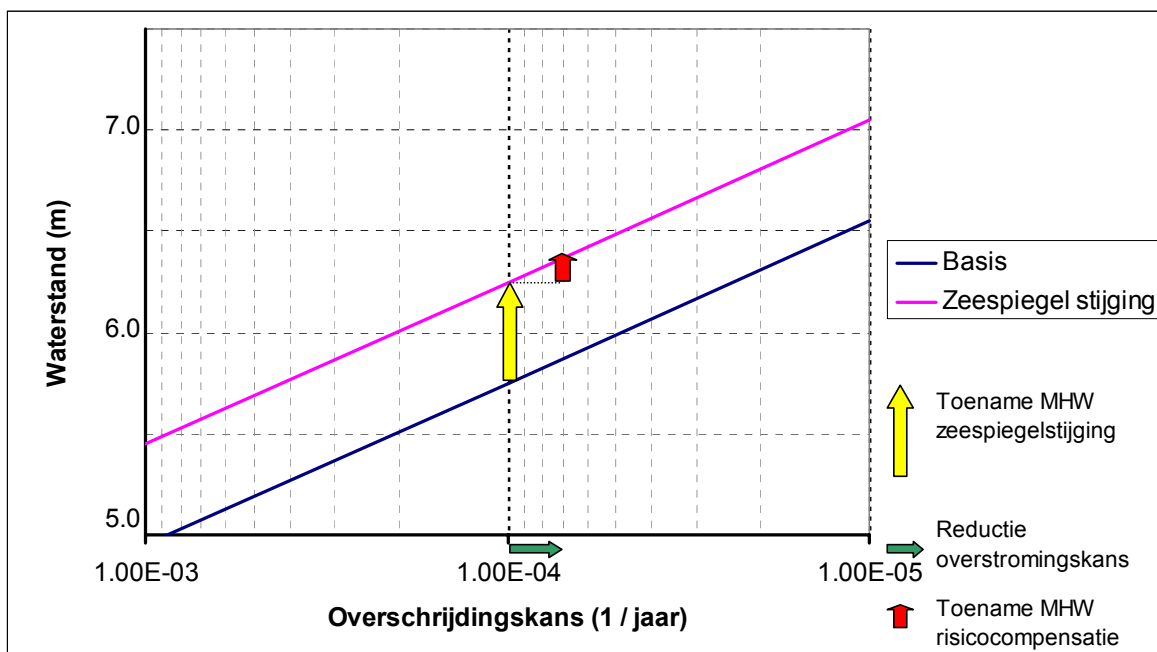
<sup>8</sup> In dit scenario is alleen dijkversterking meegenomen en worden andere maatregelen die kunnen bijdragen aan de beperking van de risico's niet beschouwd. Een beschouwing m.b.t. alternatieve strategieën is opgenomen in paragrafen 2.5 en 2.6.

benodigde verhoging per verbeteringsstap is als volgt bepaald. In de periode tussen twee verbeteringsstappen (50 jaar) groeit de economische waarde en daarmee de schade ongeveer met een factor twee (uitgaande van een groei percentage van 1,5%). Om dit effect op het risico te compenseren zal de overstromingskans met een zelfde factor moeten afnemen, dit noemen we hier 'risicocompensatie'. Op basis van de relatie tussen waterstand en overschrijdingskans kan bepaald worden hoeveel de waterkeringen (extra) verhoogd moeten worden om de kans met een zelfde factor te doen afnemen. Een belangrijk begrip is hierbij de decimeringhoogte, dit is de benodigde toename van de maatgevende waterstand zodat de overschrijdingskans van de waterstand een factor 10 afneemt. Tabel 2-2 toont de decimeringhoogtes die zijn aangenomen voor de verschillende watersystemen op basis van (Rijkswaterstaat, 2006).

| Watersysteem       | Decimeringhoogte (m) |
|--------------------|----------------------|
| Kust               | 0.80                 |
| IJsselmeer         | 0.40                 |
| Rijn (bovenrivier) | 0.85                 |
| Maas (onbedijkt)   | 0.50                 |

Tabel 2-2: Decimeringhoogte per watersysteem (Rijkswaterstaat, 2006).

Op basis van de decimeringhoogte kan vastgesteld worden hoeveel de maatgevende waterstand extra toeneemt om de kans met een factor 2 te verlagen (zie Figuur 2-6). Aan de hand daarvan kan de extra dijkverhoging worden vastgesteld die nodig is om de stijging van de gevolgen te compenseren. Langs de kust zal de kans op een maatgevende waterstand ongeveer een factor twee afnemen als de maatgevende waterstand met ongeveer 0,25 meter toeneemt. De decimeringhoogte bepaalt de steilheid van het verband tussen maatgevende waterstand en overschrijdingsfrequentie. Er geldt dus dat voor gebieden met een grotere decimeringhoogte (bovenrivier Rijn en de kust) relatief meer dijkverhoging nodig is om de overstromingskans te reduceren.



Figuur 2-7: Inschatting van de extra toename van de maatgevende hoogwaterstand (MHW) die nodig is om de toename van de gevolgen te compenseren door middel van een reductie van de overstromingskans.

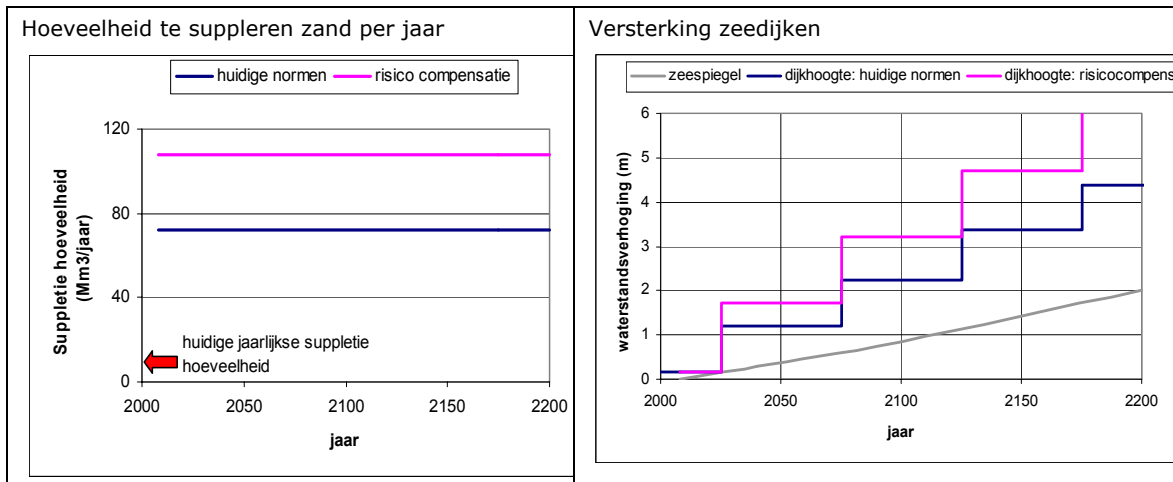
## 2.2.4 Overzicht van benodigde dijkversterking per deelsysteem

In onderstaande figuren is een algemeen beeld gegeven van de benodigde fysieke versterkingen per deelsysteem voor het basisscenario. Dit is gedaan voor strategie B (vasthouden huidige normen) en strategie C (risicocompensatie – dijken worden extra versterkt om de toename van gevolgen te compenseren). Langs de kust zijn er verschillende typen waterkeringen.

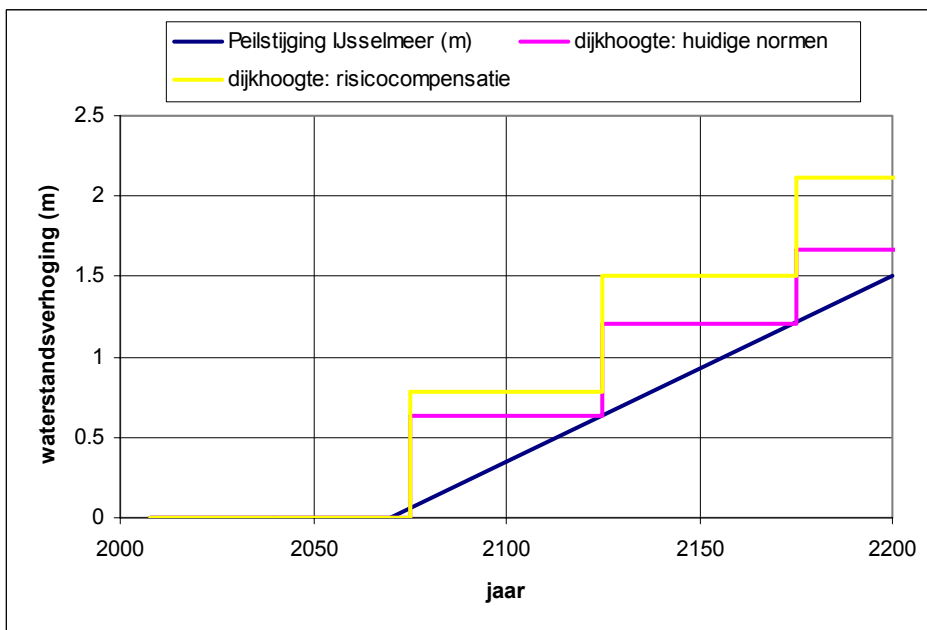
Figuur 2-7 toont daarom zowel de stapsgewijze toename van de dijkhoogte als de toename van de te verwachten hoeveelheid te suppleren zand. De hoeveelheid te suppleren zand hangt nauw samen met de snelheid van de stijging van de zeespiegel. Op dit moment wordt jaarlijks ongeveer 12,5 miljoen m<sup>3</sup> zand gesuppleerd uitgaande van een zeespiegelstijging van 0,18 meter per eeuw. In het aangenomen verloop van de zeespiegel (zie paragraaf 2.2.1) zal de zeespiegel sneller stijgen dan in de huidige situatie. Als wordt aangenomen dat deze stijging vandaag begint dan bedraagt de stijging ongeveer 1,04 meter per eeuw (2 meter in 192 jaar). Er wordt opgemerkt dat deze stijgsnelheid ongeveer constant blijft tot het jaar 2200. Uit eerder bepaalde gegevens kan worden afgeleid dat hiermee het te suppleren volume toeneemt naar ongeveer 72 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Dit is meer dan 6 maal zo veel als in de huidige situatie. Dit geldt voor een strategie waarin de huidige normen worden gehandhaafd (strategie B).

De hoeveelheid te suppleren zand is ook afgeleid voor de strategie C 'risicocompensatie'. Dit is gedaan door allereerst af te leiden wat de toename van de economische waarde is in een bepaald jaartal. In het jaar 2100 is de economische waarde ten opzichte van nu ongeveer 390% gegroeid (uitgaande van een groei van 1,5%). Dit betekent dat de overstromingskans ongeveer een factor 4 moet afnemen om deze stijging te compenseren. Op basis van de hierboven uitgewerkte methode met de decimeringhoogte (zie Figuur 2-7) is af te leiden dat de ontwerpwaterstand ongeveer 0,47m toe moet nemen om de kans te reduceren. Deze toename komt boven op de stijging van de ontwerpwaterstand (0,85m tot 2100). De totale maatgevende waterstand waarop het kustfundament moet worden ontworpen is dus 1,32m hoger dan de huidige maatgevende waterstand. Doordat de economische groei constant is genomen, blijft ook de maatgevende waterstand met een constant tempo toenemen. De stijgsnelheid van de maatgevende waterstand komt daarmee op ongeveer 1,55m per eeuw tot het jaar 2200. De bijbehorende jaarlijkse zandsuppletie is ongeveer 108 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Globaal moet voor risicocompensatie ongeveer 1,5 maal zo veel gesuppleerd worden als voor het vasthouden van de huidige normen. In relatieve zin lijkt dit beperkt, maar in absolute zin zal het om grote hoeveelheden gaan. Voor het vasthouden van de huidige normen onder het zeespiegelstijgingsscenario moet ongeveer 6 maal zoveel als nu worden gesuppleerd. Om de toename van schade te compenseren door afname van de overstromingskans zou ongeveer 9 maal zoveel gesuppleerd moeten worden. Er wordt opgemerkt dat er diverse knelpunten kunnen optreden bij dergelijke grote toenames van de jaarlijks te suppleren hoeveelheden. Hierbij gaat het onder meer om fysieke beperkingen (met name voor de Waddenzee), maar ook ecologische en bestuurlijke beperkingen. Tot slot wordt ook opgemerkt dat het om zeer indicatieve en ruwe schattingen van hoeveelheden te suppleren zand gaat en dat verdere (morfologische) analyses nodig zijn om een beter beeld te krijgen.

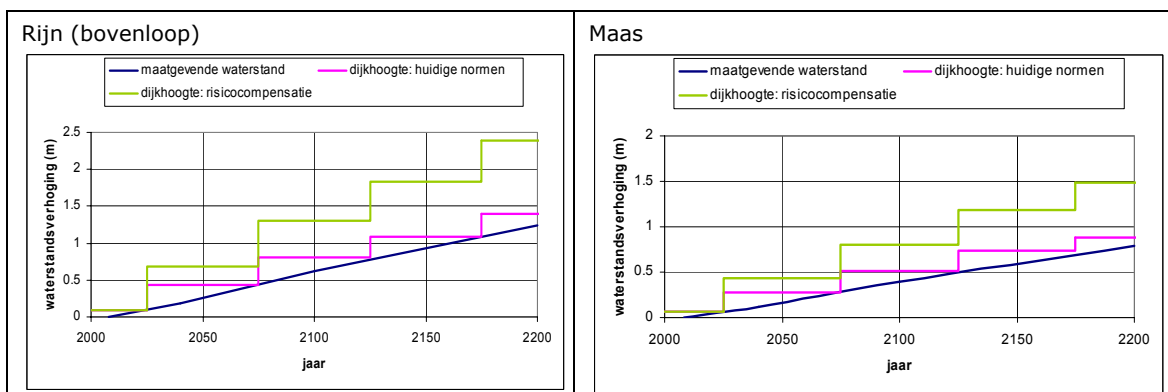
Voor de harde waterkeringen langs de kust zullen er bij een stijging van de zeespiegel ook hogere golven kunnen optreden en daardoor zal de dijkhoogte sneller stijgen dan de zeespiegel. Dit betekent dat de dijkverhoging ongeveer een factor twee groter is dan de stijging van de zeespiegel. Langs het IJsselmeer (Figuur 2-8) en de rivieren (Figuur 2-9) groeien de waterkeringen globaal mee met de verhoging van de maatgevende waterstand.



Figuur 2-8: Overzicht van toekomstige ontwikkeling van de hoeveelheid te suppleren zand en dijkversterking langs de kust.



Figuur 2-9: Overzicht van dijkversterking langs het IJsselmeer.



Figuur 2-10: Overzicht van dijkversterkingen in het bovenrivierengebied voor de Rijn en Maas.

| Systeem          | Vasthouden huidige normen<br>(Strategie B) | Risicocompensatie<br>(Strategie C) |
|------------------|--|------------------------------------|
| Kust (zeedijken) | 1  | 1.5                                |
| IJsselmeer       | 0.5 – 0.6                                  | 0.6 – 0.8                          |
| Rijn (bovenloop) | 0.3  | 0.55                               |
| Maas (bovenloop) | 0.2  | 0.35                               |

Tabel 2-3: *Overzicht van de benodigde dijkversterking per verbeteringsstap (iedere 50 jaar), uitgaande van 1.5% economische groei per jaar.*

De voorgaande resultaten geven een beeld van de benodigde dijkverhoging om de effecten van klimaatverandering op te vangen. Bepaalde delen van het watersysteem zijn beschouwd. Het benedenriviereengebied is niet expliciet meegenomen in bovenstaande figuren en daarin zal de toename van de maatgevende waterstand een functie zijn van de zeespiegelstijging, de toename van de rivierafvoer, de optredende windsnelheden en het al dan niet sluiten van de stormvloedkeringen.

#### *Benodigde versterkingen voor het alternatieve klimaatscenario.*

Daarnaast zijn de benodigde versterkingen voor het alternatieve klimaatscenario met versnelde zeespiegelstijging. Dit heeft invloed op de benodigde versterkingen voor de kust, de delta en het IJsselmeer. Langs de kust zal de benodigde verbetering per ronde toenemen tot 1,5m voor het vasthouden van de huidige normen en 2m voor de risicobenadering. Ook de ingeschatte benodigde hoeveelheid te suppleren zand zal tot het jaar 2200 geleidelijk toenemen tot 120 miljoen m<sup>3</sup> per jaar voor het vasthouden van de huidige normen en 156 miljoen m<sup>3</sup> per jaar voor de risicobenadering.

#### *In hoeverre zijn de genoemde verhogingen technisch mogelijk?*

In voorgaande analyses is een beeld gegeven van de implicaties van klimaatverandering in termen van benodigde fysieke veranderingen. Uit de analyse van verbeteringsmaatregelen in Bijlage 1 blijkt dat de verbeteringen technisch mogelijk zijn. Hoewel op punten bepaalde specifieke oplossingen gekozen moeten worden (bijv. maatregelen om piping in het riviereengebied tegen te gaan) lijkt dit tot 2200 niet tot grote technische knelpunten of onmogelijkheden te leiden. Op punten is er sprake van relatief grote verhogingen en versterkingen. Door verhoging van waterkeringen zal er ook meer ruimte in de breedte nodig zijn. Dit zal leiden tot een groter ruimtebeslag van waterkeringen. Met name in bebouwde gebieden kan dit leiden tot knelpunten in combinatie met bestaande bebouwing. In de volgende paragraaf is een schatting gemaakt van de kosten van de verbeteringen tot het jaar 2200.

## **2.3 Ontwikkeling van de investeringen in waterkeringen**

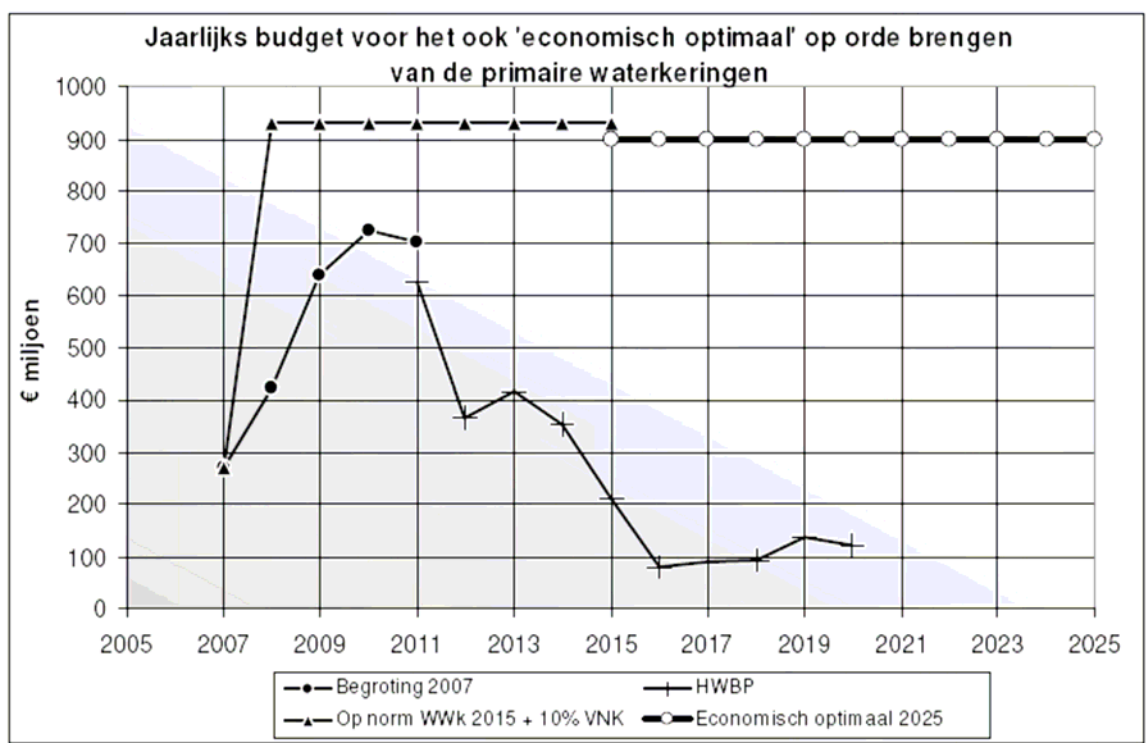
In deze paragraaf geven we een beeld van de ontwikkeling van de investeringen in primaire waterkeringen. Allereerst is een overzicht gegeven van bestaande schattingen die een beeld geven tot het jaar 2025. Tot deze periode zijn er diverse werken in voorbereiding en uitvoering. Vervolgens is een schatting gemaakt van de ontwikkeling van de kosten voor de langere termijn: tussen 2025 en het jaar 2200.

### **2.3.1 Investerings tot het jaar 2025**

In deze eerste paragraaf vatten we kostenschattingen samen die zich richten op de middellange termijn tot ongeveer het jaar 2025. Op dit moment zijn er reeds verbeteringswerken in

uitvoering (Maaswerken, Ruimte voor de Rivier) of voorgenomen om binnenkort in uitvoering te komen (Zwakke Schakels kust). Voor deze werken is op basis van de begroting van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en informatie uit het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) een schatting te maken van de lopende en voorgenomen uitgaven. Dit is in een eerdere studie reeds gedaan door de Commissie Financiering Waterkeringen (Commissie Vellinga) en resultaten zijn getoond in Figuur 2-10. De commissie hanteert als uitgangspunt dat het systeem tot 2015 op orde wordt gebracht om aan de bestaande normen te voldoen. De commissie constateert dat in de komende decennia naast de voorgenomen investeringen nog aanvullende investeringen nodig zijn om de waterkeringen aan de huidige normen te laten voldoen. Hierbij behoren onder meer de extra kosten voor het op sterkte brengen van keringen waarvoor op dit moment nog geen veiligheidsoordeel bekend is (dit betreft circa 35% van de totale hoeveelheid keringen) en nieuwe inzichten uit lopende onderzoeksprogramma's die extra investeringen in veiligheid nodig maken. De commissie schat in dat er tot 2015 circa € 7,7 miljard nodig is aan investeringen, wat overeenkomt met een jaarlijkse investering van ongeveer € 900 miljoen tot het jaar 2015. In dit kader kan gesproken worden van een inhaalslag om de situatie aan de huidige normen te laten voldoen. Vanwege het relatief snelle karakter van deze inhaalslag spreekt de Commissie Vellinga ook wel van 'een tussensprint naar 2015' en dit is ook de titel van het advies.

De commissie Vellinga neemt vervolgens aan dat men na 2015 over zal gaan op zogenaamd economische optimale normen. Deze normen zijn vastgesteld op basis van een kosten-baten analyse en zullen in een aantal gevallen hoger / strenger liggen dan de huidige normen. Deze overgang lijkt in lijn te liggen met de huidige beleidsvoornemens, maar is nog niet zeker. Voorlopig volgen we de denklijn van de commissie en nemen aan dat deze overgang zal plaatsvinden. Voor de periode na 2015 maakt de commissie een schatting van de kosten die benodigd zijn voor de overgang naar economisch optimale beveiligingsniveaus. Onder de gestelde aannamen leidt dit tot een kostenschatting van 9 miljard Euro die in een periode van 10 jaar (2015–2025) worden gemaakt. Figuur 2-10 geeft een overzicht van het verloop van de verschillende typen kosten tot 2025. De figuur laat zien dat geraamde benodigde kosten lager zijn dan de voorgenomen uitgaven die zijn opgenomen in de rijksbegroting voor het jaar 2007 en het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP).

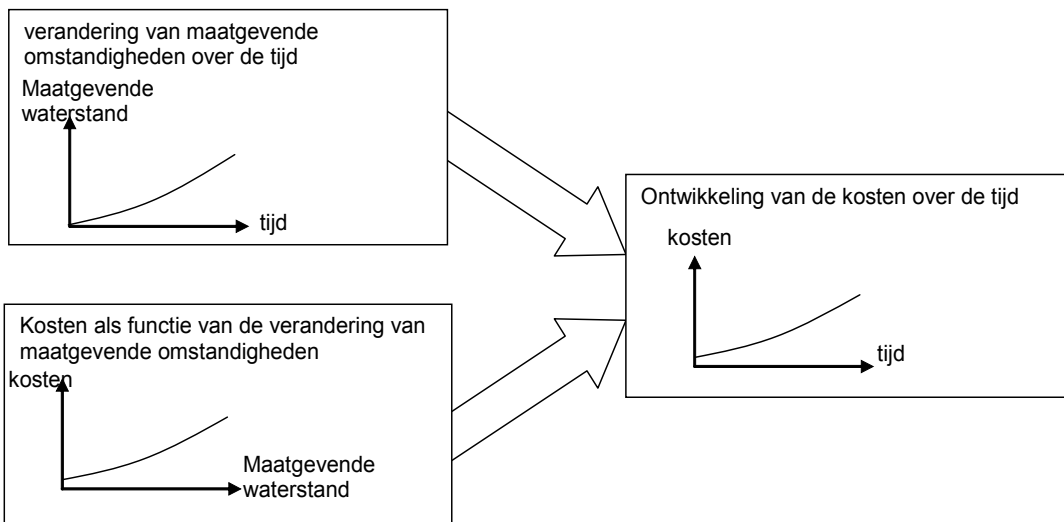


Figuur 2-11: Overzicht van de kosten voor primaire waterkeringen in Nederland tot 2025 (Bron: Commissie Financiering Waterkeringen).

### 2.3.2 Ontwikkeling van de kosten van waterkeren na 2025: aanpak

In deze paragraaf worden de verwachte kosten voor waterkeringen na het jaar 2025 bepaald. Ten eerste is het goed om op te merken dat een analyse op een zodanig lange tijdshorizon vele onzekerheden met zich meebrengt. Hierbij gaat het onder meer om veranderingen in het klimaat, ontwikkeling van technieken (innovatie) en kostenkennallen (bijv. energieprijzen). Toch zijn wij van mening dat het beter is een onzekere schatting van de kosten te maken, dan zo'n schatting helemaal achterwege te laten.

Hierbij wordt informatie over de verwachte verandering van maatgevende omstandigheden gecombineerd met informatie die inzicht geeft in de verwachte kosten van deze veranderingen, zie Figuur 2-11. Hierdoor ontstaat een beeld van de verwachte ontwikkeling van kosten tot 2200. De verwachte verandering van maatgevende omstandigheden is samengevat in paragraaf 2.2.1. De kostenschattingen volgen uit Bijlage 1.



Figuur 2-12: Aanpak voor de bepaling van de ontwikkeling van kosten over de tijd.

#### *Uitgangspunten voor het bepalen van toekomstige ontwikkelingen van kosten voor waterkeringen.*

Bij de bepaling van de kosten voor waterkeringen is de methode gebruikt die in Bijlage 1 is beschreven. In de verdere uitwerking zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Bij de benadering van de kosten in de toekomst wordt uitgegaan van het huidige prijspeil en kosten. Eventuele veranderingen van prijzen in de toekomst door bijv. innovatie, verandering van markt en grondprijzen worden buiten beschouwing gelaten. De kosten in de toekomst zijn niet verdisconteerd naar nu, we bepalen immers de kosten in een bepaald jaar (zie hieronder).
- De kosten voor beheer en onderhoud van harde keringen zijn bekend en worden constant over de tijd verondersteld omdat de lengte van de waterkeringen niet toeneemt. De kosten voor beheer en onderhoud door waterschappen worden op dit moment geraamd op 350 miljoen Euro per jaar (bron: notitie Kok en Jonkman (2006) t.b.v. de Commissie Financiering Waterkeringen).
- De kosten voor beheer en onderhoud van de zandige kust kunnen per jaar worden bepaald als functie van de zeespiegel(stijging) en het daaruit volgende volume te suppleren zand.
- Harde keringen worden periodiek verbeterd. Hierbij is aangenomen dat de verbetering gemiddeld iedere 50 jaar plaatsvindt en dat eerste verbeteringsronde in het jaar 2025 plaatsvindt. Door de stapsgewijze verbetering ontstaat er het 'zaagtand effect' (zie paragraaf 2.1). Omdat op landelijk niveau niet alle keringen op hetzelfde moment worden versterkt zal een meer geleidelijk (stijgend) beeld ontstaan. Voorlopig wordt in deze verkenning gewerkt met integrale landsdekkende verbeteringsrondes per type kering met een vaste tussenperiode. Voor de volledigheid wordt genoemd dat er bij sneller veranderende omstandigheden twee beslissingsvariabelen zijn: 1) Men kan met kortere tussenpozen en dus vaker gaan investeren; 2) Men kan per versterkingronde meer investeren.
- De kosten voor een verbeteringsstap worden uitgesmeerd over de bijpassende planperiode en dit geeft dus de gemiddelde jaarlijkse kosten. Een investering in dijkversterking van bijv. 1 miljard over een periode van 50 jaar komt overeen met een gemiddelde kostenpost van 20 miljoen Euro per jaar. In de praktijk zal er geen sprake zijn van constante uitgaven per jaar, maar zullen de uitgaven meer onregelmatig verlopen afhankelijk van grote(re) verbeteringsstappen. Landelijk zal er over het algemeen geen sprake zijn van een grote verbeteringsronde op een moment, maar meer van een geleidelijke verbetering van diverse waterkeringen over een bepaalde planperiode. Het uitsmeren van de kosten over wat langere termijn volgt ook de denkwijze van het reserveren van middelen voor uitgaven aan waterkeringen in een vast fonds.
- Voor grote stormvloedkeringen is specifiek gekeken naar de levensduur. Er is bijvoorbeeld aangenomen dat de Oosterscheldekering en de Maeslantkering bij een zeespiegelstijging van 60cm moeten worden vervangen.



- Er is aangenomen dat deze gemiddelde kosten toegekend worden aan de periode na de verbetering waarin men de baten (veiligheid) van de verbetering bemerkt.

#### *Vergelijking met andere studies.*

Door de Commissie Vellinga is al eerder een schatting gemaakt van de kosten voor waterkeren in de periode van 2030 tot 2100. Hierbij is ervan uitgegaan dat de stijging van het risico wordt gecompenseerd door sterkere waterkeringen (strategie C in deze studie) en de normen blijven dan economisch optimaal. De commissie schat in dat de gemiddelde jaarlijkse kosten afhankelijk zijn van de zeespiegelstijging en komt uit op schattingen van € 500 miljoen (0,6m zeespiegelstijging tot 2100) tot € 800 miljoen (1,5m zeespiegelstijging tot 2100) per jaar. In dit rapport maken we nieuwe schattingen voor de periode na 2030 gebaseerd op dezelfde principes als gehanteerd door de Commissie Vellinga, d.w.z. gebruik van kentallen per waterkeringstype. De schattingen in dit rapport verschillen van de schattingen van de Commissie Vellinga op de volgende punten:

- De methode voor schatting van de verbeterkosten is verder uitgewerkt en houdt meer specifiek rekening met verschillende waterkeringstypen en de benodigde verbeteringsmaatregelen.
- De periode die wordt onderzocht is langer (tot 2200 i.p.v. tot 2100 door de Commissie Vellinga).
- Naast de economisch optimale strategie (strategie C) die de Commissie Vellinga aanhoudt wordt ook de voortzetting van het huidige beleid (strategie B) onderzocht, waarbij de waterkeringen versterkt en verhoogd worden met de stijging van de zeespiegel.

Parallel aan de voorliggende studie zijn ook in het kader van het project Aandacht voor Veiligheid kostenschattingen gemaakt [Sprong, 2008]. Op hoofdlijnen is in die studie dezelfde analyse gehanteerd als in deze rapportage. Een verder vergelijking tussen beide studies is gegeven in Bijlage 1.

### **2.3.3 Resultaten: ontwikkeling van de kosten voor waterkeringen in de toekomst**

In deze paragraaf worden de resultaten gepresenteerd van de ontwikkeling van kosten van waterkeringen in de toekomst. Hierbij is uitgegaan van twee strategieën (zie ook paragraaf 2.1.2):

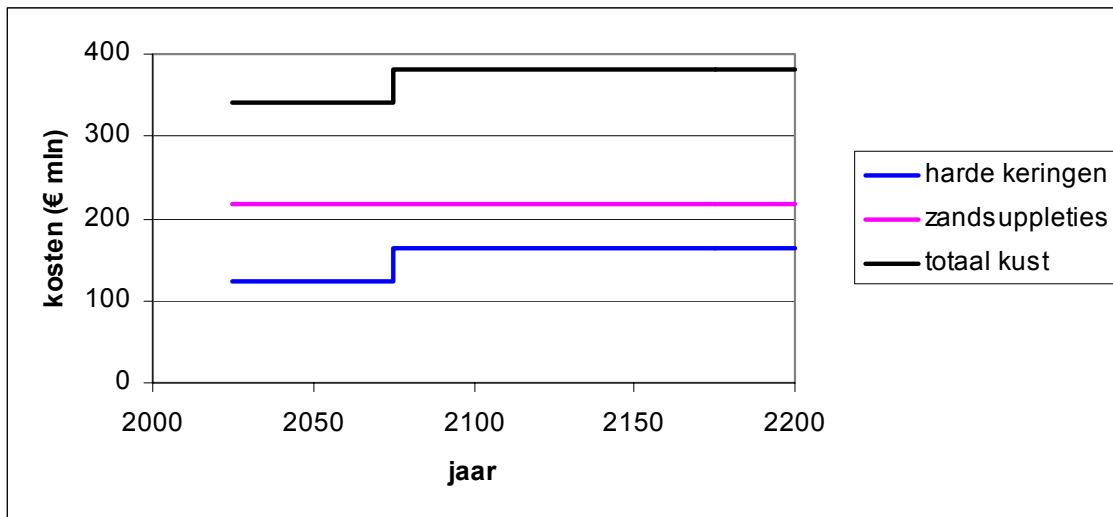
- Strategie B  
Waterkeringen blijven voldoen aan de huidige wettelijke normen: De waterkeringen groeien met de zeespiegel en andere veranderende maatgevende omstandigheden.
- Strategie C  
Risicobenadering: De waterkeringen worden zodanig versterkt dat de daling van de overstromingskans de toename van de gevolgen compenseert.

Voor de volledigheid is opgemerkt dat strategie A (waterkeringen blijven fysiek ongewijzigd) niet is uitgewerkt omdat hieraan (behalve onderhoudskosten) geen kosten zijn verbonden.

#### *Kosten als waterkeringen blijven voldoen aan de huidige normen (strategie B).*

Voor het kuststelsel is een onderscheid gemaakt tussen harde keringen (dijken en stormvloedkeringen) en de zandige kust. Voor de harde keringen in het kuststelsel geldt een stapsgewijze verbetering van ongeveer 1m. De kosten voor harde zeekeringen per verbetering bedragen ongeveer € 6,2 miljard per verbeteringsstap en dit is ongeveer € 124 miljoen per jaar uitgaande van een planperiode van 50 jaar per verbetering. De stormvloedkeringen moeten vervangen worden bij een zeespiegelstijging van 0,6 meter (zie Bijlage 1) en dit is het geval in ca. 2075. Er is aangenomen dat de nieuwe stormvloedkeringen zodanig vervangen worden dat

ze tot 2200 (zeespiegelstijging van 2 meter) meekunnen. De eenmalige kosten voor deze ingreep bedragen naar schatting zo'n € 5 miljard en dit is zo'n € 40 miljoen per jaar over een planperiode van 125 jaar. Voor de zandige kust zijn de kosten afgeleid op basis van het jaarlijks te suppleren volume (zie ook Figuur 2-7) en een eenheidsprijs van ongeveer 3 Euro per m<sup>3</sup> zand en komt men ongeveer op € 220 miljoen per jaar. De kostenfunctie laat zien dat de kosten voor suppleties redelijk constant blijven. De harde keringen en daarmee totale kosten kennen één stap bij de vervanging van de stormvloedkeringen in 2075.



Figuur 2-13: Overzicht van de ontwikkeling van de kosten voor het kuststelsel.

Figuur 2-14 geeft een overzicht voor de kosten van de verschillende deelsystemen. Voor het IJsselmeer is aangenomen dat de eerste 0,37 meter zeespiegelstijging is op te vangen door grotere spuicapaciteit van de sluizen. Vervolgens stijgt vanaf ongeveer 2060 het waterpeil in het meer mee met de zeespiegel tot ongeveer 1,5 meter hoger in 2200. De kosten voor de dijkversterking worden geraamd op € 1,2 miljard en dit resulteert voor een periode van 140 jaar in gemiddelde jaarlijkse kosten van € 8,5 miljoen per jaar.

Op dezelfde wijze zijn de kosten voor de andere deelsystemen beschouwd. Voor het benedenrivierengebied is aangenomen dat de stijging van de maatgevende waterstanden globaal tussen de stijging van de zeespiegel (2m tot 2200) en de bovenrivieren (1,25m tot 2200 voor de Rijn) ligt en daarbij is een waarde van 1,5m toename aangenomen<sup>9</sup>. Er wordt opgemerkt dat dit een gemiddelde waarde is omdat de verandering van maatgevende omstandigheden mede zal afhangen van de locatie in het rivierengebied en het functioneren van de stormvloedkeringen.

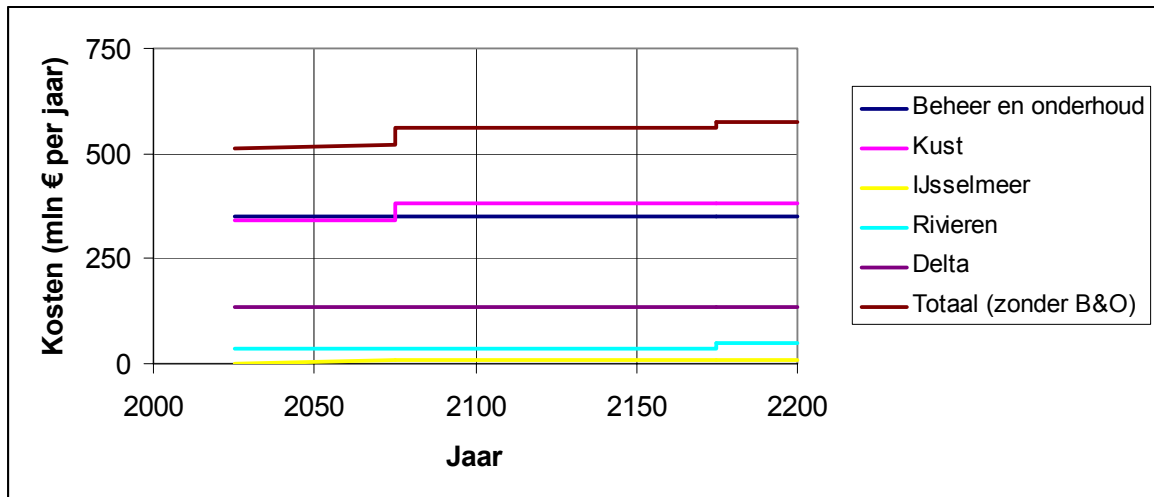
Ook zijn de kosten voor beheer en onderhoud van de primaire waterkeringen meegenomen en deze zijn aangenomen op een bedrag van € 350 miljoen per jaar.

Dit leidt tot de kostenfunctie die getoond is in Figuur 2-14. De belangrijkste bevindingen zijn hieronder samengevat:

- De beheer en onderhoudskosten zijn met € 350 miljoen per jaar relatief hoog ten opzichte van (gemiddelde) jaarlijkse verbeterkosten.
- De grootste kosten worden gemaakt voor het kuststelsel en voor dit stelsel zijn de kosten verdeeld over zandsuppleties (60%), harde waterkeringen (dijken – 30%) en de grote stormvloedkeringen (10%).

<sup>9</sup> Op basis van een eerste vergelijking met de resultaten uit [Sprong, 2008] lijkt dit een redelijke aanname.

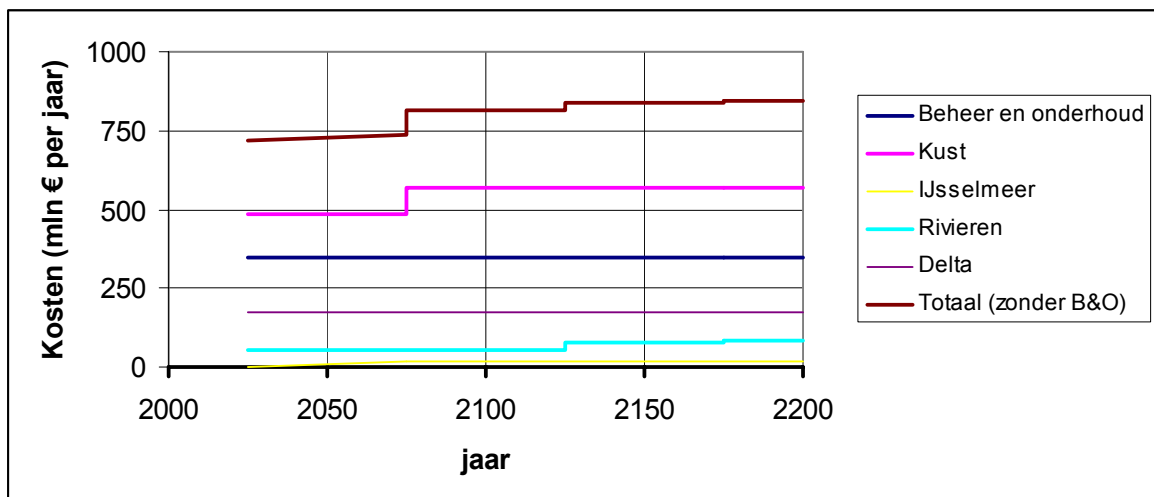
- De gemiddelde jaarlijkse kosten voor de meeste deelsystemen blijven redelijk constant over de komende decennia. Doordat de verbeteringsstappen per ronde ongeveer gelijk blijven en de kostenfuncties bij benadering lineair verlopen (zie Bijlage 1) nemen de kosten niet sterk toe.
- De geschatte totaalkosten voor beheer, onderhoud en versterking van waterkeringen stijgen van ongeveer € 863 miljoen in 2025 tot € 925 miljoen in 2200 inclusief beheer en onderhoud. Dit is een stijging van 7% over de hele periode en een gemiddelde jaarlijkse toename van 0,04%. De stijging komt met name voort uit de stijging van de kosten langs de kust (vervanging stormvloedkeringen).



Figuur 2-14: Ontwikkeling van de kosten voor waterkeringen per deelsysteem en voor het totale systeem uitgaande van het vasthouden van de huidige normen (strategie B).

*Kosten als waterkeringen worden versterkt volgens de risicobenadering (strategie C).*

Op dezelfde wijze als hiervoor zijn de kosten geschat voor de strategie van risicocompensatie. We gebruiken hiervoor de eerder afgeleide extra dijkverhogingen om gevolgtename te compenseren (zie Tabel 2-3) en doen een aantal aannames<sup>10</sup> voor specifieke kostenposten.



Figuur 2-15: Ontwikkeling van de kosten voor waterkeringen per deelsysteem en voor het totale systeem uitgaande van de strategie risicocompensatie (strategie C).

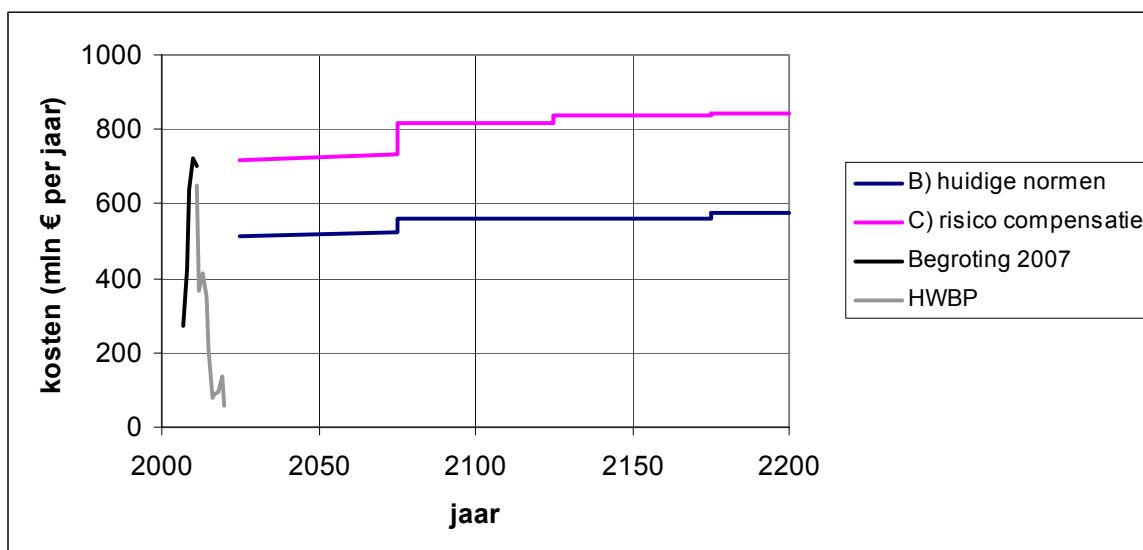
<sup>10</sup> Naast de specifieke kosten voor extra dijkversterking is aangenomen dat de kosten voor het verbeteren van de stormvloedkeringen verdubbelen ten opzichte van de situatie waarin aan de huidige normen wordt voldaan.

Uit deze analyse zien we het volgende:

- De kosten bedragen vanaf het jaar 2025 ongeveer € 1,07 miljard per jaar en stijgen tot € 1,19 miljard per jaar in het jaar 2200. De jaarlijkse kosten voor deze strategie zijn daarmee tussen de 24% (in 2025) en 29% (in 2200) hoger dan bij het blijven voldoen aan de huidige normen (strategie B).
- Binnen deze strategie stijgen de kosten met 12% tussen 2025 en 2200. Dit is een gemiddelde jaarlijkse stijging van zo'n 0,065%.
- De belangrijkste kostenposten betreffen wederom de kust en de delta. De stijging is met name te vinden in het kuststelsel en langs de rivieren.
- De verschillen tussen de strategieën B (huidige normen) en C (risicocompensatie) hangen af van het beschouwde deelsysteem. Hierna zijn de kostenverhoudingen tussen de strategieën vermeld voor het jaar 2200 (d.w.z. kosten strategie C/kosten strategie B): kust: 1,49; IJsselmeer: 2; rivieren: 1,69; delta: 1,28; totaal: 1,29. De kosten voor beheer en onderhoud blijven gelijk.

#### Vergelijking met de geplande kosten tot 2025

In deze paragraaf zijn de hierboven geraamde kostenontwikkeling van 2025 tot 2200 vergeleken met de uitgaven aan waterkeringen in de periode tot 2025. Hierbij gaan we uit van de getallen die genoemd zijn in het advies van de Commissie Financiering Waterkeringen<sup>11</sup> en die reeds zijn besproken in paragraaf 2.3.1. Het gaat dus om geplande uitgaven die zijn opgenomen in de begroting van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). In Figuur 2-16 zijn de kosten tot 2025 vergeleken met de verwachte benodigde kosten na het jaar 2025. Om beide ramingen vergelijkbaar te maken zijn de beheer- en onderhoudskosten niet meegenomen voor de schatting na het jaar 2025.



Figuur 2-16: Vergelijking van de uitgaven aan waterkeringen tot 2025 (bron: Commissie Financiering Waterkeringen) met de in deze analyse geraamde kosten na 2025.

Het blijkt dat de geraamde kosten na 2025 boven de tot nu toe geplande uitgaven tot 2025 liggen. Ook als de piek in de uitgaven op korte termijn wordt beschouwd, de jaren 2009 tot en met 2011 met € 750 miljoen per jaar uitgaven, dan blijkt dat de uitgaven op lange termijn boven dit niveau zullen liggen. Dit plaatst de resultaten in perspectief: de toekomstige uitgaven

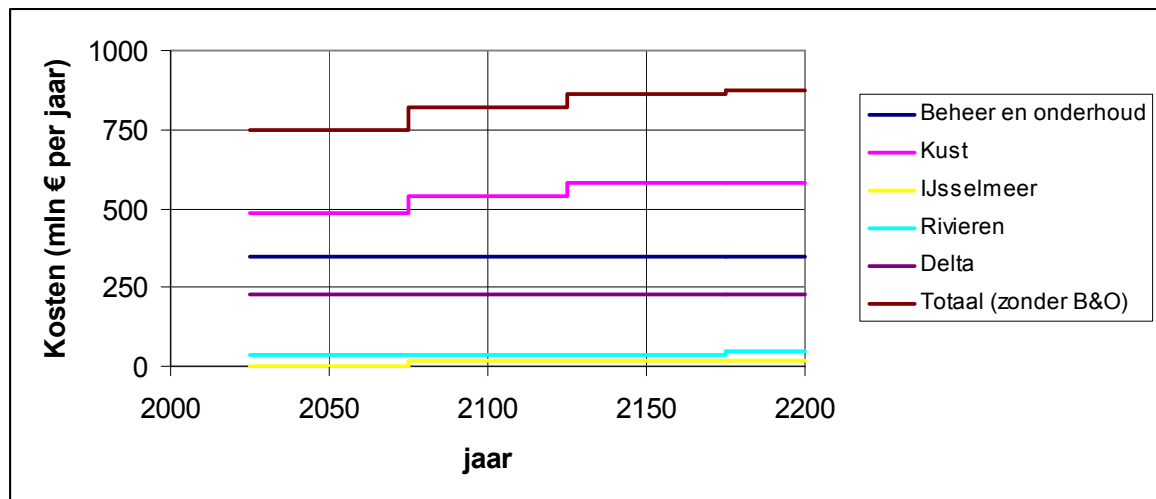
<sup>11</sup> Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat deze schattingen van uitgaven enigszins achterhaald kunnen zijn doordat na het verschijnen van het advies van de commissie nieuwe beslissingen ten aanzien van uitgaven voor waterkeringen zijn genomen.

zijn naar verwachting hoger dan in de huidige periode waarin een aantal grote werken (bijv. ruimte voor de rivier) in uitvoering zijn. Het gaat dus om een substantiële uitgave, maar één die op nationaal niveau wel te overzien is, zie ook paragraaf 2.4.1.

Het advies van de Commissie Financiering Primaire Waterkeringen geeft ook een schatting van de kosten die benodigd zijn voor de overgang naar economisch optimale beveiligingsniveaus te halen in de periode van heden tot 2025. In dat geval is ongeveer € 900 miljoen per jaar benodigd (zie ook Figuur 2-11). Dit bedrag ligt in dezelfde orde grootte als de hier gepresenteerde lange termijn kostenramingen.

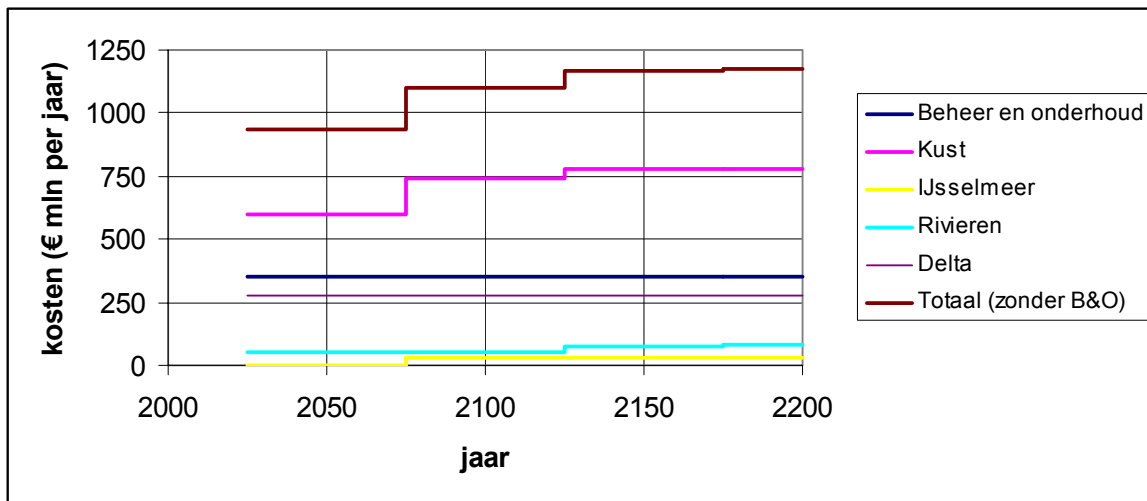
### 2.3.4 Resultaten voor het alternatieve klimaatscenario

De kostenschattingen zijn ook uitgewerkt voor het alternatieve klimaatscenario met versnelde zeespiegelstijging. Figuur 2-16 toont de schattingen van de jaarlijkse kosten voor dit scenario voor het vasthouden van de huidige normen. In dat geval stijgen de kosten van ongeveer € 1,10 miljard per jaar in 2025 tot € 1,22 miljard in 2200 inclusief beheer en onderhoud. De kosten in het jaar 2200 zijn in dat geval 32% hoger dan bij het basisklimaatscenario.



Figuur 2-17: Kostenontwikkeling bij het alternatieve klimaatscenario bij het vasthouden van de huidige normen.

Figuur 2-17 toont de schattingen van de jaarlijkse kosten voor dit scenario voor de risicobenadering. In dat geval stijgen de kosten van ongeveer € 1,28 miljard per jaar in 2025 tot € 1,52 miljard in 2200 inclusief beheer en onderhoud. De kosten in het jaar 2200 zijn in dat geval 28% hoger dan bij het basisklimaatscenario.



Figuur 2-18: Kostenontwikkeling bij het alternatieve klimaatscenario bij de risicobenadering.

Bij het alternatieve scenario stijgt de zeespiegel ongeveer met 50% sneller dan in het basisscenario. Voor beide strategieën nemen de kosten met ongeveer 30% toe. De kosten nemen relatief minder snel toe doordat: a) de snellere stijging in dit scenario alleen betrekking heeft op het kust en delta systeem en niet op de rivieren; b) de extra verhoging voor het alternatieve klimaatscenario relatief goedkoper is doordat de initiële kosten al gemaakt zijn. Er geldt wel dat de hoeveelheid te suppleren zand en de bijbehorende kosten lineair toenemen met de snelheid van zeespiegelstijging. Er wordt bijvoorbeeld geschat dat bij het alternatieve klimaatscenario met snellere zeespiegelstijging in het jaar 2200 ongeveer 120 Mm<sup>3</sup> gesuppleerd zal moeten worden voor het vasthouden van de huidige normen, vs. een geschatte suppletie hoeveelheid van 72 Mm<sup>3</sup> per jaar bij het basisscenario.

Er is ook geanalyseerd wat de effecten zijn van een stijging van de kosten van zandsuppletie. In de basisberekeningen is een prijs van € 3 per m<sup>3</sup> zand aangenomen. In een gevoeligheidsanalyse is een waarde van € 5 per m<sup>3</sup> gehanteerd. Hierdoor nemen de kosten voor het kustsysteem en de totale kosten toe. In combinatie met het alternatieve klimaatscenario resulteert dit in de volgende schattingen voor de jaarlijkse kosten in het jaar 2200:

- Voor het vasthouden van de huidige normen: € 1,46 miljard in het jaar 2200 inclusief beheer en onderhoud
- Voor het volgen van de risicobenadering zijn: € 1,84 miljard in het jaar 2200 inclusief beheer en onderhoud.

De totale kosten zijn daarmee in beide gevallen zo'n 20% hoger dan voor hetzelfde klimaatscenario met lagere prijzen voor zandsuppleties.

## 2.4 Houdbaarheid van de investeringen in waterkeringen vanuit een financieel-economisch perspectief

### 2.4.1 Investeringen in de context van het Bruto Binnenlands Product (BBP)

In deze paragraaf vergelijken we de ontwikkeling van de kosten voor waterkeringen in Nederland met de ontwikkeling van het Bruto Binnenland Product.

BBP: Het bruto binnenlands product is de totale (geld)waarde van alle in een land geproduceerde goederen (en diensten) gedurende een bepaalde periode (meestal een jaar).

Soms wordt in dit kader ook de gerelateerde term Bruto Nationaal Product (BNP) gebruikt. Dit is het bruto binnenlands product plus de door de inwoners van het eigen land in het buitenland verdiende primaire inkomens minus de door buitenlanders in het betreffende land verdiende primaire inkomens. Samengevat betekent 'binnenlands' hier verdiend/geproduceerd binnen de landsgrenzen en 'nationaal' verdiend/geproduceerd door de staatsburgers van een land. Op dit moment (2008) bedragen de kosten voor verbeteringen van waterkeringen volgens de Commissie Vellinga zo'n € 420 miljoen. Hierbij komen nog de beheer- en onderhoudskosten van zo'n € 350 miljoen en dit resulteert in een jaarlijkse uitgave van € 770 miljoen. Dit staat tegenover een geschat BBP van zo'n € 540 miljard en daarmee bedraagt het aandeel van de kosten van waterkeringen ongeveer 0,14% van het BBP. Om dit verder naar de toekomst uit te werken zijn in Tabel 2-4 schattingen van het BBP gegeven en het deel daarvan dat benodigd zou zijn voor de kosten van waterkeringen. Daarbij is voorlopig uitgegaan van een gemiddelde jaarlijkse groei van het BBP van 1,5%. Er wordt hier opgemerkt dat deze aanname overeenstemt met de uitgangspunten in een lange termijn studie van het Centraal Plan Bureau (CPB) naar de kosten van vergrijzing op lange termijn.

| Jaar | BBP (mld €) | Voldoen aan huidige normen |           | Risicocompensatie |           |
|------|-------------|----------------------------|-----------|-------------------|-----------|
|      |             | Kosten (mld €)             | % van BBP | Kosten (mld €)    | % van BBP |
| 2008 | 540         | 0,77                       | 0,14%     | -                 |           |
| 2025 | 696         | 0,86                       | 0,12%     | 1,07              | 0,15%     |
| 2100 | 2125        | 0,91                       | 0,04%     | 1,16              | 0,05%     |
| 2200 | 9416        | 0,92                       | 0,01%     | 1,19              | 0,01%     |

Tabel 2-4: Overzicht van de verwachte ontwikkeling van de kosten voor waterkeringen gerelateerd aan het BBP.

Uit de analyse blijkt dat de verwachte groei van het BBP groter is dan de groei van de kosten voor waterkeringen. Hierdoor zullen de kosten voor waterkeringen een steeds kleiner aandeel van het BBP gaan vormen en dit geldt voor beide strategieën (voldoen aan huidige normen, risicocompensatie). Er wordt opgemerkt dat deze resultaten gelden onder de eerder vermelde uitgangspunten. Uitgaande van deze resultaten lijken de kosten voor de waterkeren betaalbaar te blijven (steeds beter) in de context van het BBP.

Het is interessant om de ontwikkeling van de kosten voor waterkeren te vergelijken met ontwikkelingen in andere velden. In een studie van het CPB (2006) is geconstateerd dat bij het huidige beleid en de bijbehorende sociale arrangementen de overheidsbestedingen tot 2040 met 7% zullen stijgen, terwijl daartegenover een toename van de inkomsten van 4% staat. Met name de vergrijzing van de bevolking veroorzaakt de daaruit volgende oplopende lasten.

## 2.4.2 Grenzen aan de betaalbaarheid van het dijkkringconcept?

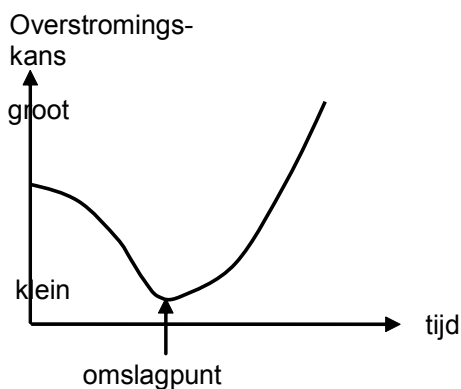
In deze paragraaf gaan we verder in op de financiële houdbaarheid van het dijkkringconcept. Hierbij gaan we in op de vraag welke (economische) factoren deze houdbaarheid bepalen.

### Algemeen

Op hoofdlijnen gaat het om de ontwikkeling van de kosten voor waterkeren vs. de baten. In algemene termen wordt het omslagpunt gevonden als de kosten in dijkversterking niet meer opwegen tegen de baten (d.w.z. de reductie van het risico). In dit kader zijn met name de relatieve veranderingen van belang. Zolang de economische groei groter is dan de stijging van de investeringskosten zal het omslagpunt nog niet bereikt zijn.<sup>12</sup>

“Er is namelijk wel een bovengrens voor het tempo waarin de investeringskosten mogen stijgen. Stijgen die te hard, dan is geen economisch rationele veiligheidsactie meer mogelijk en zal het gebied moeten worden opgegeven.” [Eijgenraam, 2006]

Echter op een bepaald moment kan een punt gevonden worden waarbij de kosten volgens de kosten-baten theorie niet meer gerechtvaardigd zijn. Doordat de kosten voor waterkeren harder stijgen dan de economische waarde zal het relatieve aandeel van de kosten steeds toenemen en zal op een gegeven moment een economisch onhoudbare situatie ontstaan. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij zeer sterk toenemende kosten voor waterkeren of het afnemen van de baten van bescherming (bijv. door krimp van de economie). Deze twee factoren worden hieronder verder uitgewerkt.



Figuur 2-19: Verloop van de economisch optimale overstromingskans in de tijd.

Noot: We merken op dat na het theoretische omslagpunt de waterkeringen niet direct onbetaalbaar worden. Doordat het gaat om langere termijn processen kan het nog decennia of zelfs eeuwen duren alvorens de kosten van waterkeringen een groot deel van het BBP gaan uitmaken (zie hieronder).

### Baten

De baten bestaan in brede zin uit de bescherming van de economische waarde. Door economische groei kan de te beschermen waarde stijgen en nemen dus ook de baten van bescherming toe. Op grond van historische gegevens wordt verwacht dat de Nederlandse economie de komende decennia of zelfs eeuwen zal blijven groeien (zie [CPB, 2006]). Er zijn scenario's denkbaar waarbij deze groei afneemt, stagneert of zelfs negatief wordt. Hierbij kan het gaan om structurele economische veranderingen (verlies concurrentiepositie, toenemende kosten vergrijzing) of ingrijpende gebeurtenissen die met een schokeffect een grote verandering veroorzaken, zoals een oorlog. Een interessant voorbeeld is een grootschalige overstroming.

<sup>12</sup> In tegendeel, als we uitgaan van een risicobenadering (strategie C in paragraaf 5.1) dan zullen de overstromingskansen steeds verder moeten afnemen. We kunnen de verhoogde investeringen immers motiveren vanuit een steeds groter wordend risico.



Hierdoor zullen de kosten voor herstelwerkzaamheden aanzienlijk toenemen, maar door de schade en afgeleide economische effecten kan ook de te beschermen waarde afnemen (bijv. doordat mensen wegtrekken). Hierdoor kan een zogenaamd hefboom effect ontstaan waardoor bescherming steeds minder de moeite waard wordt. De discussie die in New Orleans gevoerd wordt over de bescherming van (delen van) de stad heeft hierop betrekking. Met betrekking tot de mogelijkheid van economische stagnatie is het interessant om na te gaan hoe dit zou uitpakken in relatie tot de verwachte ontwikkeling van de kosten voor waterkeren. Om een beeld te krijgen nemen we aan dat vanaf heden de economische groei zal afnemen tot 0%. Op basis van de verwachte kostenontwikkeling (zie vorige paragrafen) is uit te zetten welk percentage van het BBP aan waterkeren zou worden uitgegeven. Onderstaande tabel geeft een beeld. Het blijkt dat de toename van de kosten relatief beperkt blijft en dat bij dit economische scenario de kosten betaalbaar blijven. In een meer algemeen en fictief rekenvoorbeeld nemen we aan dat de kosten voor waterkeren veel harder stijgen dan tot nu toe is aangenomen in de studie. Stel dat de kosten met 2% per jaar stijgen en dat de economische groei 0% is. In dat geval zal het nog steeds ongeveer 100 jaar duren totdat de kosten voor waterkeringen 1% van het BBP bedragen.

| Jaar | BBP (miljard Euro) | Voldoen aan huidige normen |           | Risicocompensatie     |           |
|------|--------------------|----------------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|      |                    | Kosten (miljard Euro)      | % van BBP | Kosten (miljard Euro) | % van BBP |
| 2008 | 540                | 0,77                       | 0,14%     | -                     |           |
| 2025 | 540                | 0,86                       | 0,16%     | 1,07                  | 0,20%     |
| 2100 | 540                | 0,91                       | 0,17%     | 1,16                  | 0,22%     |
| 2200 | 540                | 0,92                       | 0,17%     | 1,19                  | 0,22%     |

Tabel 2-5: *Overzicht van de kosten voor waterkeringen gerelateerd aan het BBP uitgaande van economische stagnatie.*

### *Kosten*

De kosten hebben betrekking op de toenemende kosten voor waterkeringen. Deze kosten worden bepaald door de snelheid van de stijging van de zeespiegel (en verandering van andere maatgevende omstandigheden). Als de zeespiegel sneller stijgt zal er per verbeteringsstap meer geïnvesteerd moeten worden en/of zal de periode tussen de verbeteringsstappen verkleind moeten worden. In de huidige benadering is voor de zeespiegel uitgegaan van een stijgsnelheid van 1 meter per eeuw. Bij scenario's die minder extreem zijn dan het gehanteerde scenario nemen de kosten af. Bij bijvoorbeeld een zeespiegelstijging die de helft is van het gehanteerde scenario bedragen de kosten meer dan 50% van de hierboven uitgerekenende kosten. Immers, bij aanpassing van de waterkering moeten ook 'vaste kosten' worden gehanteerd (kosten die onafhankelijk zijn van de omvang van de verhoging). Bij scenario's die meer extreem zijn, kan bijvoorbeeld een waarde voor de zeespiegelstijging van 2 meter per eeuw gelden (deze waarde komt globaal overeen met de historische bekende bovengrens van de zeespiegelstijging). In dat geval nemen de kosten toe, maar minder snel dan de relatieve toename van de zeespiegelstijging, zoals ook blijkt uit de resultaten voor het alternatieve klimaatscenario (zie hierboven). Immers, hier geldt weer het effect van vaste kosten (die sowieso gemaakt zijn). Bij versnelde zeespiegelstijging neemt de verbeteringsstap per ronde toe en uit de kostenfuncties uit Bijlage 1 blijkt dat deze lineair toenemen. Er kan echter wel een grens zijn aan de zeespiegelstijging die financieel en maatschappelijk op te vangen is, zoals is besproken hieronder.



Figuur 2-20: Effect van de snelheid van zeespiegelstijging op de kosten.

### Samenvattend

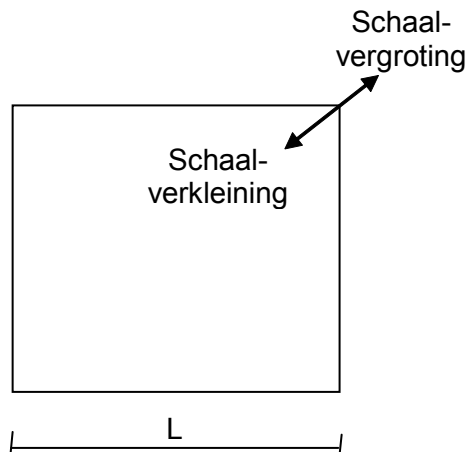
- Op basis van de huidige schattingen voor economische groei en ontwikkeling van kosten voor waterkeringen wordt niet verwacht dat er de komende twee eeuwen een omslagpunt te vinden zal zijn. De kosten voor waterkeren blijven naar verwachting betaalbaar.
- De kostenontwikkeling en daarmee betaalbaarheid wordt zeer sterk bepaald door de snelheid van de zeespiegelstijging (en de snelheid van veranderen van andere maatgevende omstandigheden). Op basis van huidige inzichten en groeiverwachtingen wordt verwacht dat zelfs bij zeer snelle zeespiegelstijging (2m/eeuw) de kosten betaalbaar blijven. Verdere analyse van de kostenontwikkeling voor andere klimaatscenario's wordt aanbevolen.
- Zeer langdurige economische krimp of schoksgewijze instorting van de economie (oorlog, mega-overstroming) kunnen invloed hebben op het BBP en daarmee op de betaalbaarheid van de kosten voor waterkeren.

## 2.5 Verandering van de grootte van dijkringen

In deze paragraaf staat de verandering van de grootte van dijkringen centraal. Hierbij kan het gaan om schaalvergroting (samenvoegen van dijkringen) of schaalverkleining (opsplitsen van dijkringen d.m.v. compartimentering). Er wordt besproken of verandering van de grootte van dijkringen tot een meer effectieve of maatschappelijk gewenste beschermingswijze leidt. We werken dit eerst uit voor een schematische dijkring en beschouwen vervolgens de meer praktische aspecten van dit onderwerp.

### 2.5.1 Schematische dijkring

We beschouwen de effecten van schaalverandering aan de hand van een schematische dijkring met een vierkante vorm; zie Figuur 2-21 en een meer uitgebreide uitwerking in Appendix B.



Figuur 2-21: Schematische dijkring.

De kosten voor waterkeren worden bepaald door de omtrek van de dijkring, die evenredig is met de lengte  $L$ . Uitgaande van een homogeen verdeelde economische waarde is de schade evenredig met het oppervlak en dus met  $L^2$ . Bij het groter worden van de dijkring neemt de schade dus sneller toe dan de benodigde investeringen voor bescherming<sup>13</sup>. De bescherming met behulp van waterkeringen wordt relatief goedkoper. In dat geval volgt uit de economische optimalisatie voor een steeds groter wordende dijkring, dat een steeds betere bescherming geboden kan worden. Op basis van een theoretische beschouwing is er dus geen optimale dijkringgrootte vast te stellen (deze is oneindig groot). Uitgaande van een constante waarde per eenheid van oppervlak geldt dat een grotere dijkring een meer voordelige bescherming biedt dan een kleinere. Andersom neemt door schaalverkleining de potentiële schade bij een overstroming af, maar de bescherming met behulp van waterkeringen wordt relatief duurder. Tabel 2-6 vat de effecten van schaalverandering samen.

|                   | Schade                  | Kosten waterkeren t.o.v. waarde | Economisch optimale bescherming |
|-------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Schaalverkleining | Kleiner                 | Relatief duurder                | Mindere bescherming             |
| Schaalvergroting  | Groter (met bovengrens) | Relatief goedkoper              | Betere bescherming              |

Tabel 2-6: Effect van schaalverandering op de kosten van waterkeringen en de economische schade.

Deze resultaten zijn vastgesteld op basis van een schematische dijkring onder bepaalde aannames en geven inzicht in algemene trends. In de praktijk kunnen verschillende (andere) factoren de kosten voor waterkeren en de schade in relatie tot de grootte van dijkringen beïnvloeden:

- De mogelijkheden voor schaalverandering zullen sterk bepaald worden door de aanwezigheid van fysische grenzen. De huidige begrenzing van de dijkringen in Nederland is in veel gevallen bepaald door de aanwezigheid van rivieren, kanalen, hoge gronden en andere landschappelijke elementen. Dit zal met name bepalend zijn bij schaalvergroting van dijkringen.
- Ook de kosten van waterkeringen zullen sterk afhangen van de betreffende waterkeringstypen, de specifiek benodigde maatregelen en aanvullende kosten, bijvoorbeeld voor het omgaan met versterking van keringen in bebouwde gebieden.
- In bepaalde gebieden kan de aanleg van binnendijken (schaalverkleining) relatief goedkoop zijn doordat al bestaande lijnelementen in het gebied aanwezig zijn die tegen relatief weinig kosten als binnendijk

<sup>13</sup> De schade neemt kwadratisch toe en de omtrek lineair.

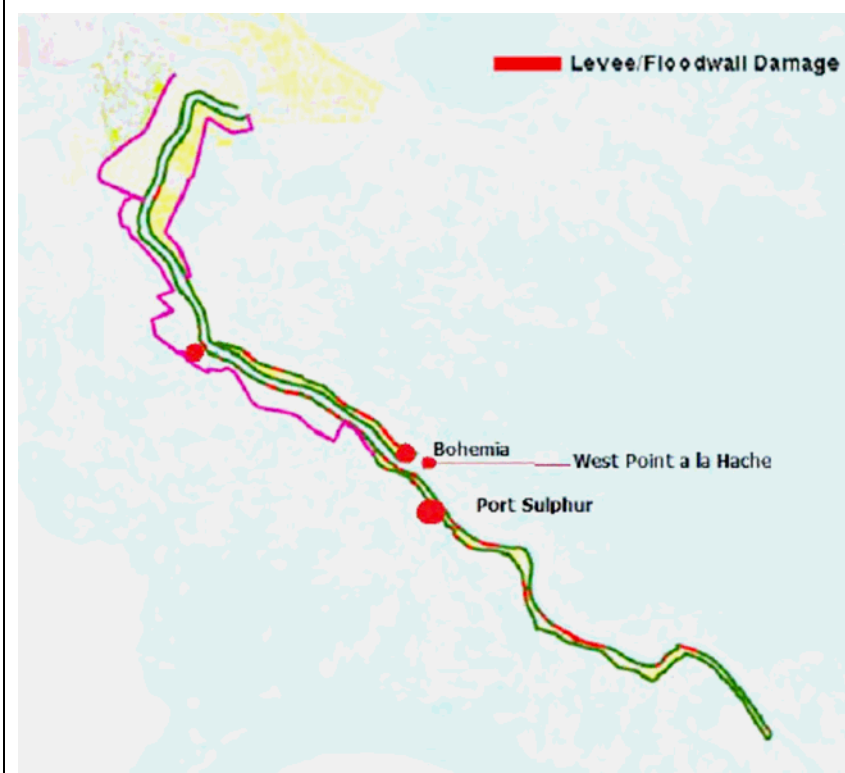
kunnen worden gebruikt. In andere gebieden kan aanleg van extra binnendijken juist extra duur zijn omdat bijvoorbeeld nieuwe dijken in bebouwd gebied aangelegd moeten worden.

- Er zijn praktische / fysische grenzen aan de economische schade die in een gebied kan optreden, met name door de fysische beperking van de hoeveelheid ingestroomd water. Dit is het geval door de beperkte duur van de hoogwaterstanden op zee of op een rivier. Hierdoor zullen grotere dijkringen niet helemaal kunnen overstromen. Dit bleek bijvoorbeeld in recente analyses voor Zuid Holland in het project Veiligheid Nederland in Kaart. In de bestudeerde overstromingsscenario's overstromde slechts een deel van de dijkring, variërend van 0,1% tot 24% van het oppervlak [VNK, 2006]. Zelfs in het meest ernstigste scenario overstromde "maar" 24% van de dijkring. In deze gevallen zal het groter worden van de dijkring niet leiden tot een toename van de economische schade.

Met betrekking tot schaalverkleining wordt nog opgemerkt dat er een economische grens kan zijn aan het kleiner maken van de dijkringen. Op een gegeven moment zullen de kosten niet meer opwegen tegen de beschermde waarde. Dit is ook het geval voor dijkringen die een ongunstige vorm hebben en waarbij relatief veel waterkering nodig is om een beperkte waarde te beschermen. Hoewel dit niet direct het geval is in Nederland is een interessant voorbeeld van een dergelijke situatie te vinden in de delta van de Mississippi, zie volgend kader.

*Kader: Bescherming van 'dijkkringen' langs de Mississippi*

Er zijn situaties mogelijk waarin dijkkringen met een grote lengte waterkeringen een beperkte beschermde waarde kennen. In dat geval wordt het optimale beschermingsniveau relatief laag. In een extreem geval kan het zelfs te duur worden om de polder te beschermen. Hoewel dit in Nederland op dit moment een minder realistische situatie is, zou deze in de toekomst mogelijk kunnen voorkomen, met name bij een extreme stijging van de kosten van de waterkeringen of een drastische afname van de te beschermen waarden (zie ook paragraaf 2.4.2). Een voorbeeld van een dijkkring waarbij bescherming relatief te duur is geworden is te vinden in de Mississippi delta nabij New Orleans. Ten zuidoosten van New Orleans zijn langgerekte dijkkringen langs de Mississippi aangelegd. De te beschermen waarden betreffen voornamelijk landbouwgrond, een aantal chemische installaties en wat kleinere dorpen / steden. In de besluitvorming over de verbetering van een waterkeringsysteem na orkaan Katrina lijkt het erop dat voor deze gebieden de dijkkringen worden opgegeven en dat men meer lokaal bescherming wil gaan bieden door kleinere dijkkringen en/of terpen.



Bij besluitvorming over schaalveranderingen van bestaande dijkkringen spelen niet alleen de resultaten van de economische optimalisatie een rol. Naast de economische schade kan ook het aantal slachtoffers een rol spelen in de besluitvorming over schaalverandering van dijkkringen. Door het kleiner maken van dijkkringen door compartimentering kunnen de gevolgen in termen van schade en slachtoffers beperkt worden doordat er minder gebied overstroomt. Hierbij past een belangrijke kanttekening, namelijk dat kleinere compartimenten sneller vol kunnen lopen waardoor er in het gebied dat nog overstroomt meer ernstige gevolgen kunnen optreden.

Op hoofdlijnen volgt uit de economische optimalisatie dat grotere dijkkringen tegen steeds lagere relatieve kosten beschermd kunnen worden. Echter, ook de gevolgen van de overstroming kunnen toenemen. In dit kader kan ook de risico-aversie tegen grote gevolgen een rol spelen in de besluitvorming over schaalverandering van dijkkringen. Het begrip risico-aversie geeft aan dat men grotere gevolgen met een relatief kleinere kans accepteert. Dit komt bijvoorbeeld terug bij

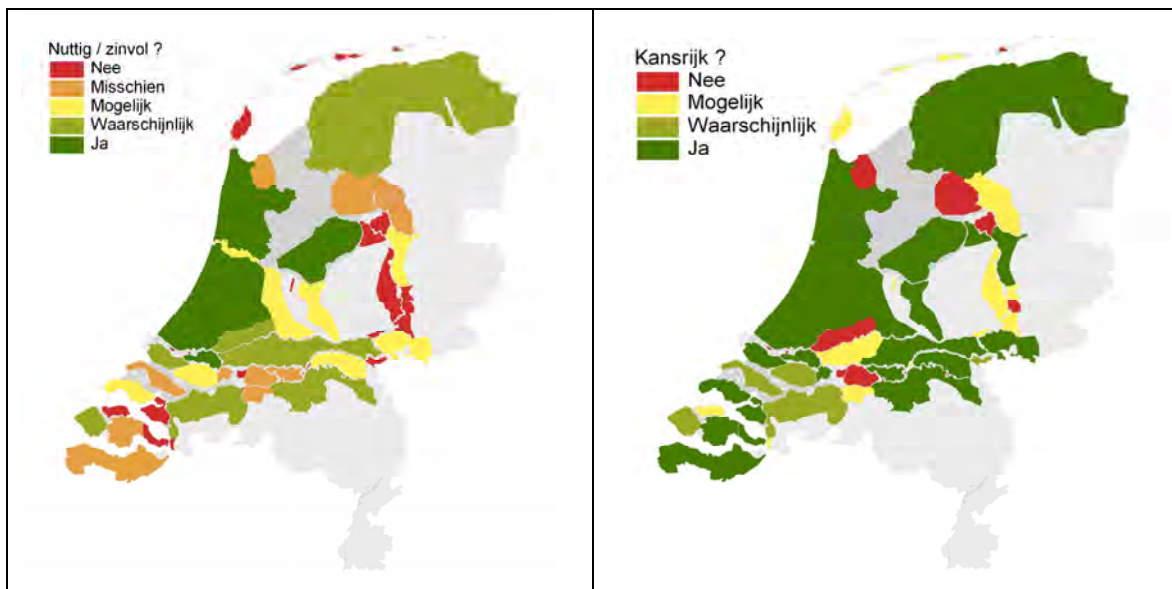
risico-aversie bij kansspelen met zeer grote inleg (€ 1 miljoen verliezen in één keer is erger dan 1 miljoen keer € 1,- verliezen) of in de normen die gebruikt worden voor het limiteren van de risico's van gevaarlijke installaties in Nederland. In deze zogenaamde groepsrisiconorm wordt een ongeval met meer slachtoffers met een relatief kleinere kans geaccepteerd. Toepassing van het begrip risico-aversie kan betekenen dat schaalvergroting ondanks relatief lagere beschermingskosten als ongewenst wordt gezien. In dat geval kan men kiezen om de huidige situatie te handhaven of om op bepaalde locaties zelfs tot schaalverkleining (compartimentering) over te gaan. Uiteindelijk gaat het dus bij besluiten over schaalverandering om een maatschappelijke afweging en een politieke keuze.

## 2.5.2 Kansen voor schaalverandering van dijkringen in Nederland

Een volledige analyse van mogelijkheden voor schaalverandering van dijkringen valt buiten de scope van deze studie. Wel is op basis van beschikbare informatie en een globale analyse van de dijkringenkaart een indicatie te geven van mogelijke (en voor de hand liggende) denkrichtingen voor Nederland.

Een eerste indicatie van mogelijkheden voor compartimentering en dus schaalverkleining is gegeven in een verkenning door Deltares.

“In de landelijke compartimenteringstudie is verkend hoe nuttig en kansrijk compartimenteren zou kunnen zijn binnen de verschillende dijkringen van Nederland. Bij de beoordeling van het mogelijk nut van compartimenteren is gekeken naar de omvang van de dijkkring, het verwachte overstromingsverloop en de mogelijk gevolgen (schade en slachtoffers) van een overstroming. De beoordeling van de kansrijkheid is gebaseerd op een aantal andere aspecten: de vorm van de dijkkring, de verdeling van het landgebruik binnen de dijkkring en de aanwezigheid van lijnstructuren binnen het gebied, waarop een compartimenteringsdijk zou kunnen aansluiten. Het resultaat van deze globale verkenning is gepresenteerd in onderstaande figuur<sup>14</sup>.”



Figuur 2-22: Overzicht van mogelijkheden voor compartimentering (bron: Deltares, Onderzoek Compartimentering, 2008).

<sup>14</sup> Deze paragraaf en bijbehorende figuur zijn met toestemming overgenomen uit een notitie van Herman van der Most van Deltares (14 februari 2008).

### *Schaalvergroting*


De bovenstaande analyse richt zich met name op compartimentering en dus op schaalverkleining. Daarnaast zijn er in Nederland wellicht mogelijkheden voor schaalvergroting van dijkringen, d.w.z. het samenvoegen van meerdere dijkringen. Hierdoor daalt de totale lengte waterkeringen en zal beheer, onderhoud en versterking van de waterkeringen goedkoper worden. Naar verwachting is deze kostenbesparing relatief beperkt omdat het gaat om bestaande keringen. Daarbij komt dat het waterhuishoudingssysteem (kanalen, boezems etc.) gekoppeld is aan de vorm van de dijkkring. Schaalvergroting kan ook via deze weg extra kosten met zich meebrengen. Er zijn geen studies beschikbaar die een systematisch beeld geven van de mogelijkheden voor schaalvergroting. Een regelmatig gehoorde discussie heeft betrekking op de aanwezigheid van de Diefdijk tussen de Betuwe (dijkkring 43) en dijkkring 16 (Alblasserwaard en Vijfheerenlanden), waardoor dit mogelijk een dijkkring zou kunnen worden. Meer grootschalige en futuristische ideeën betreffen het samenvoegen van Noord en Zuid-Holland of zelfs heel Nederland als een dijkkring. In het laatste geval zullen de rivieren binnen de dijkkring liggen en niet meer vrij kunnen uitstromen. Dan zijn bijvoorbeeld megagemalen nodig voor deze afvoer. Dit is een van de mogelijke voorbeelden en verder onderzoek is nodig om tot een meer volledig overzicht van kansrijke maatregelen te komen.

## **2.6 Andere strategieën om het overstromingsrisico te beperken**

De voorgaande hoofdstukken en paragrafen zijn vooral ingegaan op het versterken van dijken. Daarnaast zijn er verschillende andere typen maatregelen die het overstromingsrisico kunnen beperken. De vraag kan nu gesteld worden of deze andere strategieën een meer efficiënte bijdrage leveren aan de reductie van het overstromingsrisico dan dijkversterking.


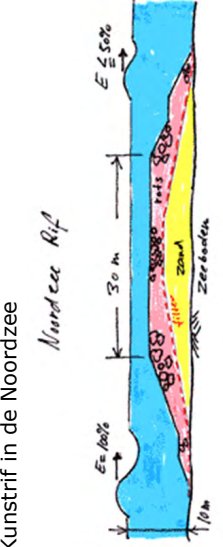
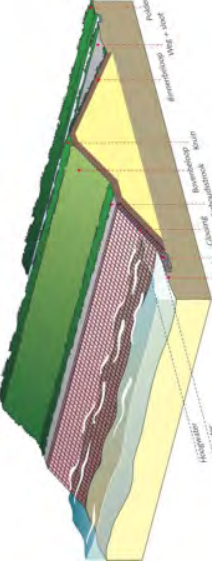
In deze paragraaf is een overzicht gegeven van de verschillende typen maatregelen. Daarbij is ook een globale indicatie gegeven van de kosten en baten van deze maatregelen en hun mogelijke bijdrage aan de reductie van het overstromingsrisico. Vanwege de reikwijdte van dit rapport is gekozen voor een uitwerking op hoofdlijnen en een (semi-) kwantitatieve schatting van de orde van grootte van kosten en baten. De globale en indicatieve kosten schattingen zijn gebaseerd op toepassing voor een grootschalige dijkkring zoals Zuid-Holland. De analyse is gebaseerd op de notitie 'Waterveiligheid en ruimtelijke ontwikkeling in de provincie Flevoland' die is gemaakt in opdracht van de provincie Flevoland (Jonkman *et al.*, 2008).

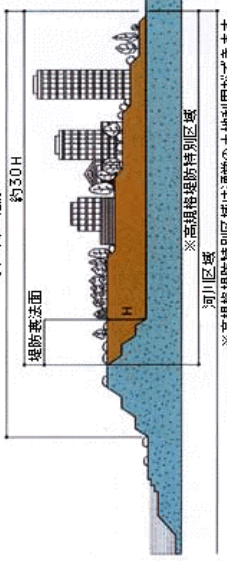
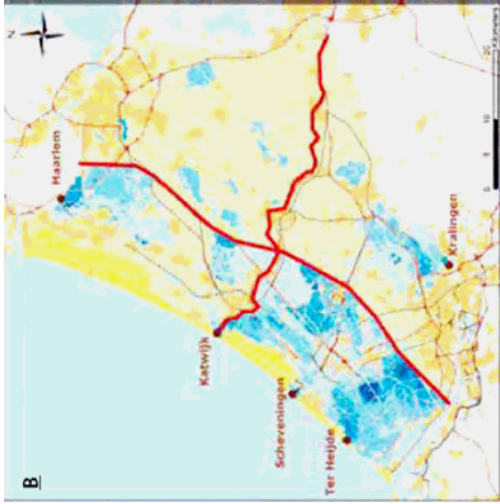
Het risico kan worden beperkt door of de kansen of de gevolgen te reduceren. Beide typen maatregelen zijn beschouwd. In deze verkenning zijn oplossingsrichtingen en maatregelen uit verschillende invalshoeken meegenomen. Het betreft maatregelen op technisch, organisatorisch en ruimtelijk vlak. Tabel 2-7 geeft een overzicht van de verschillende typen maatregelen en hun belangrijkste kenmerken. Bij het beschrijven en categoriseren van maatregelen is mede gebruik gemaakt van twee recente rapporten van het Ruimtelijk Planbureau (2007) en Twijnstra Guddé (2007). Op basis van ervaringsgetallen is ook een indicatieve schatting gegeven van de orde van grootte van de kosten van de maatregelen. Dit is gedaan uitgaande van toepassing van deze maatregelen voor een gebied als Zuid-Holland.


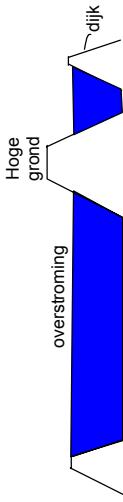
| Oplossingsrichting  | Voorbeelden en visualisaties   | Kosten (orde van grootte in Euro's) <sup>15</sup> | Reductie overstromingsrisico | Opmerking |
|---|--|---|------------------------------|-----------|
| <i>Beperking van overstromingskans</i>                    |  |   |                              |           |
| Extra voorliggende kerinen ('buitendijks compartimenten') | <p>Eilanden in zee, Afsluitdijk</p>  | miljarden (eilanden in zee)                       | Beperking overstromingskans  |           |

<sup>15</sup> Hierbij gaat het om een grove inschatting. Gaat het om 1, 10 of 100 miljoen euro, 1 miljard of 10 miljard.

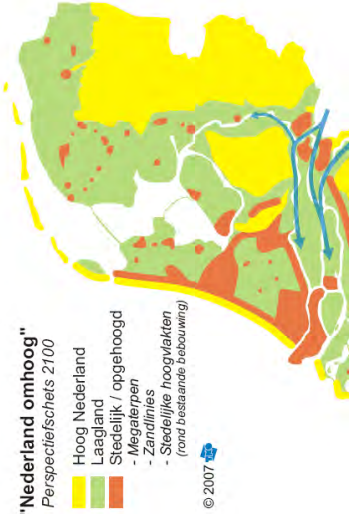




| Oplossingsrichting   | Voorbeelden en visualisaties   | Kosten (orde van grootte in Euro's) <sup>15</sup> | Reductie overstromingsrisico       | Opmerking   |
|--|--|---|------------------------------------|---|
| <p>Verminderen van golfbelastingen door voorland of kunststrif.</p>  |  <p>Voorlanden zoals voorgesteld in Comcoast</p>  <p>Kunststrif in de Noordzee</p> | <p>Tientallen tot honderden miljoenen</p>         | <p>Beperking overstromingskans</p> | <p>Voorlanden kunnen gebruikt worden voor andere functies</p>                                     |
| <p>Dijkaanpassing</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dijkversterking / verhoging</li> <li>• Overslagbestendige dijken</li> </ul> | <p>Klassieke dijkversterking: betekent verhoging en verbreding</p>  <p>Overslagbestendige dijk: dijkverhoging en verbreding is niet nodig</p>                       | <p>Tientallen tot honderden miljoenen</p>         | <p>Beperking overstromingskans</p> | <p>Een dijkverhoging van een meter reduceert de overstromingskans met ongeveer een factor 10.</p> |

| Oplossingsrichting                          | Voorbeelden en visualisaties  | Kosten (orde van grootte in Euro's) <sup>15</sup> | Reductie overstromingsrisico                                      | Opmerking  |
|---|---|---|---|--|
| <p>Doorbraakvrije dijken / super levees</p> | <p>Japans concept waarbij op een zeer brede en stevige dijk ook bebouwing is toegestaan</p>  | <p>Honderden miljoenen</p>                        | <p>Zeer sterke beperking overstromingskans, reductie gevolgen</p> | <p>Groot ruimtebeslag, mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik. Concept moet nog verder ontwikkeld worden.</p> |
| <p><i>Beperking van de gevolgen</i></p>     |   |   |   |  |
| <p>Extra compartimentering</p>              |   | <p>Honderden miljoenen</p>                        | <p>Beperking schade (≈maximaal halvering)</p>                     | <p>Gevolgen in (wel) overstromd gebied kunnen toenemen</p>   |

| Oplossingsrichting  | Voorbeelden en visualisaties  | Kosten (orde van grootte in Euro's) <sup>16</sup> | Reductie overstromingsrisico                     | Opmerking   |
|---|---|---|--|---|
| Ophogen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Megaterpen</li> </ul>     | Grootschalig ophogen van nieuwe ontwikkelingen in Nederland (TNO)              | Miljard(en)                                       | reductie schade in nieuw te ontwikkelen gebieden | Beperkt alleen gevolgen voor nieuw te ontwikkelen gebieden (ophoging van bestaande gebieden lijkt onwaarschijnlijk) |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoogwatervluchtplaatsen</li> </ul> | Lokale ophoging om vluchtplaats (shelter) te bieden tijdens een overstroming  | Tientallen miljoenen                              | Met name beperking slachtoffers                  |   |

<sup>16</sup> Hierbij gaat het om een grove inschatting. Gaat het om 1, 10 of 100 miljoen euro, 1 miljard of 10 miljard.

| Oplossingsrichting  | Voorbeelden en visualisaties  | Kosten (orde van grootte in Euro's) <sup>16</sup> | Reductie overstromingsrisico                                 | Opmerking   |
|---|---|---|--|---|
| Ophogen: <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="368 1861 395 2040">Megaterpen</li> </ul> | Grootschalig ophogen van nieuwe ontwikkelingen in Nederland (TNO)<br>  | Miljard(en)                                       | reductie schade in nieuw te ontwikkelen gebieden             | Beperkt alleen gevolgen voor nieuw te ontwikkelen gebieden (ophoging van bestaande gebieden lijkt onwaarschijnlijk) |
| Aanpassing bebouwing  | Adaptief bouwen (zie bijv. het rapport van RPB)<br>   | honderden miljoenen op grote schaal               | Beperking schade   |   |
| Rampenplannen / evacuatie   | Betreft de rampenbestrijding bij een overstroming en dit wordt nu ook verder onderzocht en uitgewerkt in het kader van de Taskforce Management Overstromingen (TMO). In veel kustgebieden is volledige evacuatie onmogelijk | Enkele miljoenen per jaar                         | Beperking gevolgen, m.n. slachtoffers                        | Beperkt alleen aantal slachtoffers, niet de schade  |
| Schadevergoeding of verzekering   | Mogelijkheden voor private overstromingsverzekering worden op dit moment door de Nederlandse overheid onderzocht.   | Enkele miljoenen per jaar                         | Compensatie achteraf, beperkt niet de daadwerkelijke schade. | Het leed van de slachtoffers blijft onveranderd.  |
| Ruimtelijke ontwikkeling elders / terugtrekken uit westelijk  | Deze vergaande oplossingsrichting betreft het geleidelijk opgeven van de overstrombare delen  | ?   | ?  |   |

| Oplossingsrichting  | Voorbeelden en visualisaties  | Kosten (orde van grootte in Euro's) <sup>16</sup> | Reductie overstromingsrisico                     | Opmerking   |
|---|---|---|--|---|
| Ophogen: <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="368 1861 395 2040">• Megaterpen</li> </ul> | Grootschalig ophogen van nieuwe ontwikkelingen in Nederland (TNO)  | Miljard(en)                                       | reductie schade in nieuw te ontwikkelen gebieden | Beperkt alleen gevolgen voor nieuw te ontwikkelen gebieden (ophoging van bestaande gebieden lijkt onwaarschijnlijk) |
| Nederland   | van Nederland. Dit betekent een verplaatsing van bevolking naar hogere delen van het land en mogelijk naar andere landen.                             |   |  |   |

Tabel 2-7: *Overzichtstabel met verschillende typen maatregelen en hun belangrijkste kenmerken.*

*Discussie: vergelijking tussen oplossingsrichtingen.*

Op basis van de bovenstaande informatie is een eerste vergelijking te maken tussen de bijdrage van verschillende oplossingsrichtingen aan de reductie van het risico. In de vergelijking van de maatregelen is de (kosten) effectiviteit een belangrijk element<sup>17</sup>.

Een eerste vraag is of andere strategieën op een meer kosten effectieve wijze dan dijkversterking kunnen bijdragen aan de beperking van overstromingsrisico's. Hierbij is het dus de vraag of andere strategieën in plaats kunnen komen van dijkversterking. Op grond van de beschikbare gegevens lijkt dat voor de meeste strategieën niet het geval te zijn. Een mogelijke uitzondering betreft de ontwikkeling van overslagbestendige dijken, aangezien de kosten van het overslagbestendig maken van een dijk lager kunnen zijn dan het integraal versterken. Andere typen kansbeperkende maatregelen bieden tegen hogere kosten dezelfde veiligheid. Hierbij wordt opgemerkt dat maatregelen als voorlanden, eilanden in zee en 'super levees' mogelijkheden bieden om aanvullende waarden en baten te creëren, bijv. door ontwikkeling van woningen en recreatieve functies in nieuw te ontwikkelen waterkeringszones.

Over het algemeen geldt dat gevolgbeperkende maatregelen minder goed scoren op kosten-effectiviteit dan kansbeperkende maatregelen. Het lijkt daarom niet verstandig om over op te gaan op gevolgbeperkende maatregelen in plaats van beperking van de overstromingskansen. Wel lijken gevolgbeperkende maatregelen interessant als aanvulling op kansbeperkende maatregelen. Een combinatie van kansbeperkende en gevolgbeperkende maatregelen is interessant, omdat zo beide kanten van het risico (kans en gevolg) worden gereduceerd. Door het sturen van nieuwe ruimtelijke ontwikkeling kan de toename van de schade beperkt worden. In dit kader wordt ook een opmerking gemaakt bij de extreme exponent van deze strategie, namelijk het wegtrekken uit laaggelegen delen van Nederland. Gegeven de waarden en belangen in westelijk Nederland lijkt dit op dit moment geen realistische optie. Het verdient ook aanbeveling om te kijken naar maatregelen die kunnen bijdragen aan een beperking van het aantal slachtoffers, bijv. door goede evacuatie- en rampenbestrijdingsplannen te ontwikkelen waarbij ook rekening wordt gehouden met opvang van mensen in het gebied.

Bij het combineren van kansbeperkende en gevolgbeperkende maatregelen is het van belang om te benadrukken dat het beschikbare budget voor uitgaven aan veiligheid beperkt is. Dit betekent dat de veiligheidseuro bij voorkeur ingezet dient te worden voor die maatregel die het meeste bijdraagt aan de reductie van het overstromingsrisico. Als het budget voor veiligheidsmaatregelen beperkt is (en dat is het in de praktijk) zal de inzet van middelen voor duurdere beschermingsmaatregelen dus leiden tot minder risico reductie dan in theorie mogelijk was geweest.

De uiteindelijke besluitvorming m.b.t. maatregelen dient uiteindelijk in een Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA) te worden bepaald. In een dergelijke afweging worden alle kosten en baten van verschillende strategieën / oplossingsrichtingen in beeld gebracht. Ook kunnen combinaties van oplossingen worden beschouwd.

Uiteindelijk betreft de keuze voor strategieën voor de beveiliging van ons land een politieke en maatschappelijke afweging waarin veel verschillende elementen een rol spelen. In de afweging

---

<sup>17</sup> De kosteneffectiviteit betreft de verhouding tussen de mate van reductie van het overstromingsrisico en de kosten van de maatregel. Met name maatregelen die tegen relatief geringe kosten resulteren in een relatief sterke daling van het overstromingsrisico, hetzij door reductie van overstromingskansen, hetzij door reductie van de gevolgen, zijn als kansrijk beoordeeld.

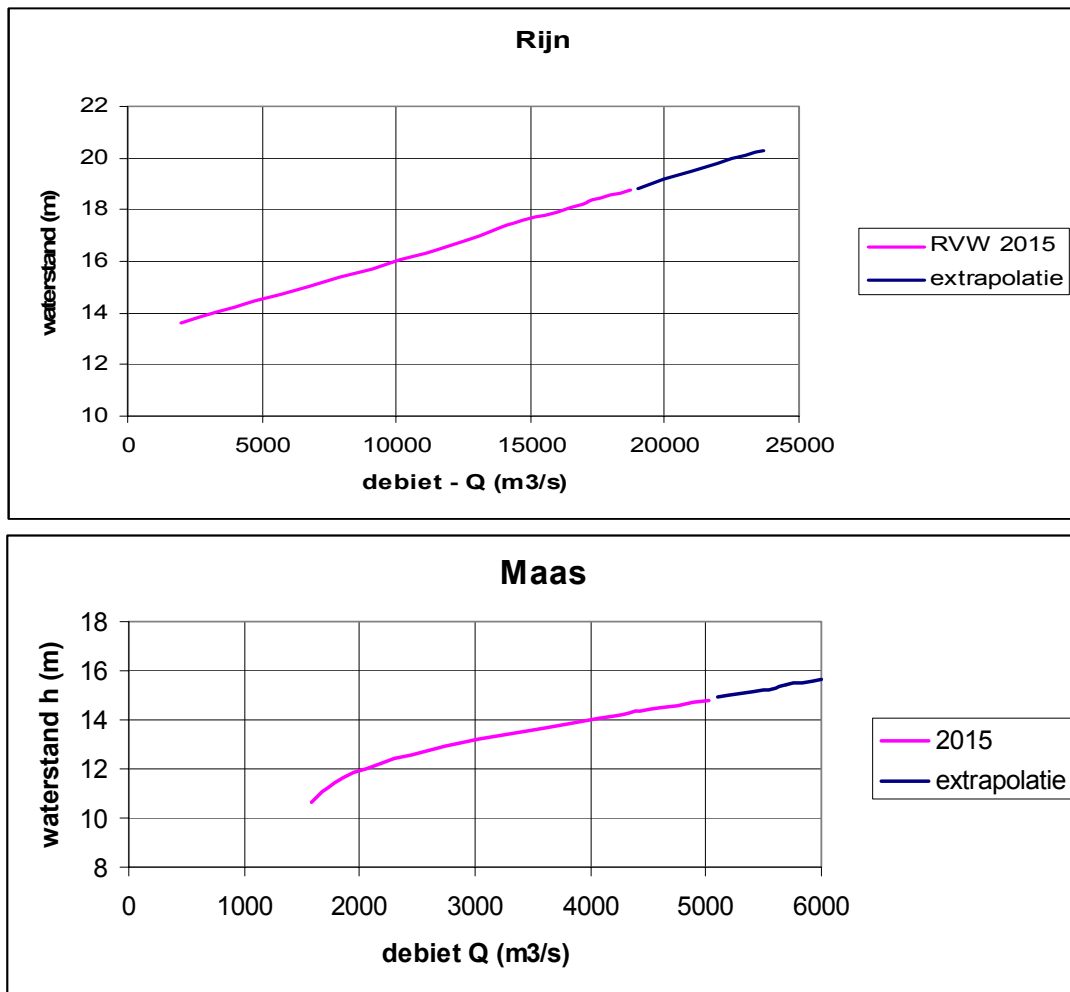
zal naar verwachting de (kosten) effectiviteit van oplossingsrichtingen een belangrijke rol spelen en het is van belang om de effectiviteit van verschillende maatregelen helder in beeld te brengen en onderling te vergelijken. In deze analyse is dit op een zeer algemeen niveau gedaan. Verdere concrete uitwerking voor een specifiek gebied en concrete maatregelen wordt aanbevolen.





## Appendix A Q(h) relaties bovenloop Rijn en Maas

In onderstaande figuren is als voorbeeld de zogenaamde Q(h) relatie weergegeven. Dit is de relatie tussen debiet en waterstand. Er wordt opgemerkt dat dit voorbeelden zijn en dat de relatie locatie afhankelijk zal zijn.



Figuur A-1: Aanname: lineaire extrapolatie van de Q(h)-relatie, geen rekening gehouden met fysisch maximum.



## Appendix B Uitwerking van het effect van schaalverandering voor een schematische dijkkring

### *Opdelen of samenvoegen van bestaande dijkringen*

Om te kijken wat het effect is van verandering van de schaalgrootte van dijkringen wordt een schematisch geval beschouwd. Hierbij gaat het om twee aaneengesloten vierkanten dijkringen met een dijk ertussen (zie Figuur B-1). In dit geval is de totale dijk lengte  $7L$  en de totale schade  $2D$ . We nemen aan dat de schade bij overstroming groot is ten opzichte van de kosten van waterkeringen. Hierdoor zijn investeringen in waterkeringen kosten effectief, maar de mate van effectiviteit verschilt per geval en dit wordt hieronder uitgewerkt.

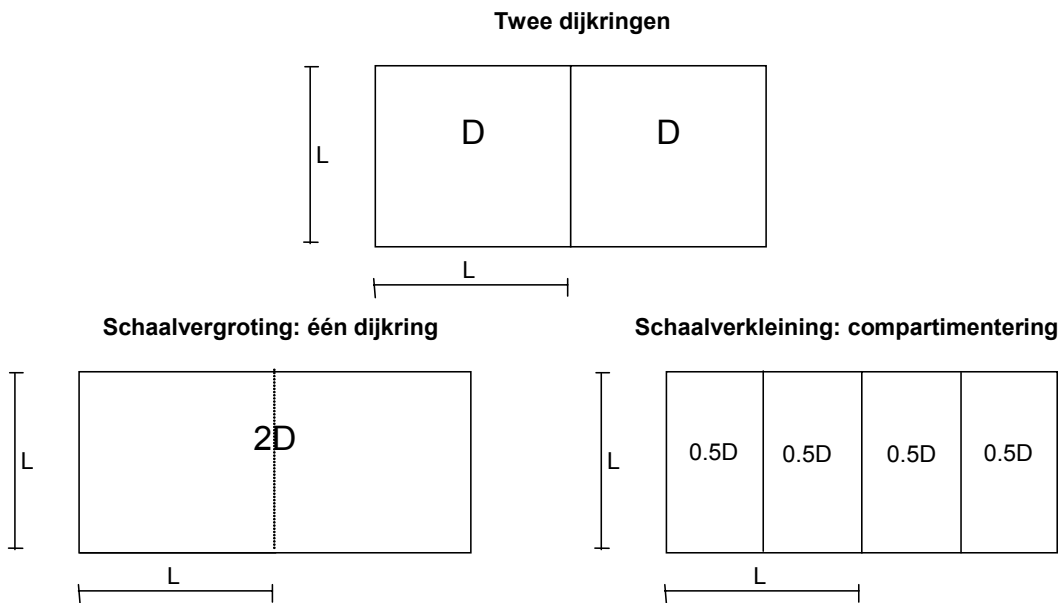
Het effect van schaalvergroting van dijkringen kan worden bestudeerd door aan te nemen dat de tussendijk verwijderd wordt. In dat geval daalt de omtrek van de grote dijkkring tot  $6L$  en blijft de schade  $2D$ . Bij dezelfde te beschermen waarde daalt de omtrek dus ongeveer 15%. Hiermee nemen de relatieve kosten voor bescherming dus af.

Het effect van schaalverkleining wordt bepaald door aan te nemen dat in iedere dijkkring een compartimenteringsdijk wordt aangelegd. In dat geval ontstaan er vier dijkringen. De totale beschermde waarde blijft gelijk ( $2D$ ) en de totale lengte van de waterkeringen wordt  $9L$ . Bij dezelfde te beschermen waarde neemt de totale lengte waterkeringen 28% toe.

### *Kanttekening*

Het bouwen van binnendijk hoeft niet altijd een beperking van het risico te betekenen. Met name in kustgebieden, waar hoge buitenwaterstanden optreden kunnen meerdere compartimenten overstromen. Theoretisch gezien daalt door de aanleg van binnendijken de beveiliging die de buitendijken moeten bieden. De veiligheidseuro wordt immers elders geïnvesteerd. Voor de meeste praktisch voorkomende gevallen is versterking van de buitenring effectiever dan aanleg van binnendijken. Er zijn echter gevallen denkbaar (dijkringen met aparte vorm, lokale concentratie van waarde) waar compartimentering als kosten effectieve maatregel kan worden opgevat.

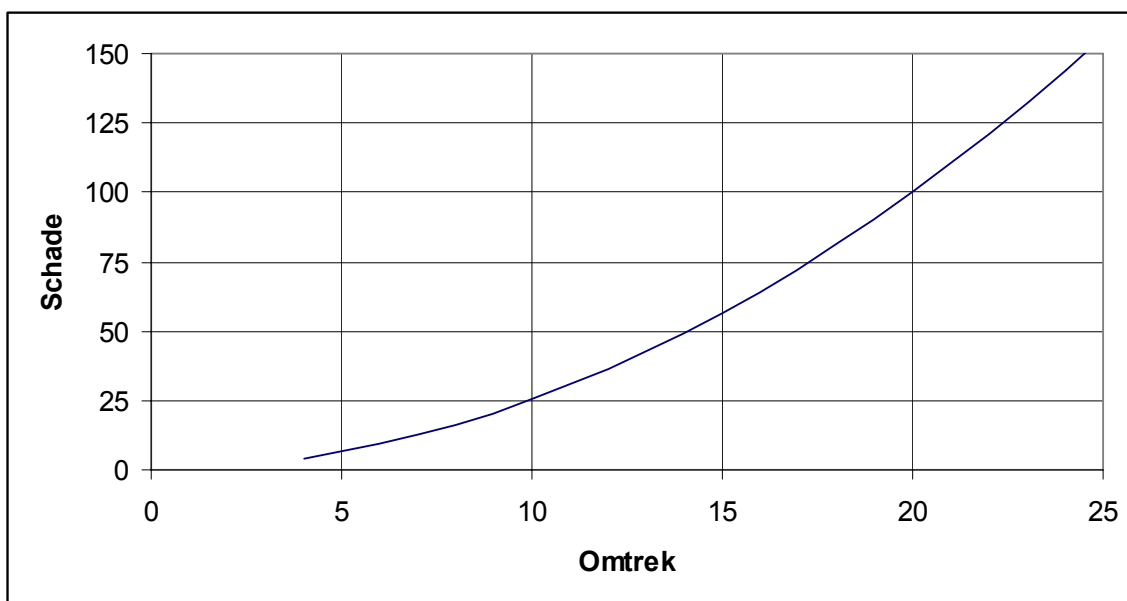
Tot slot wordt opgemerkt dat de economische schade bij overstroming verschilt tussen de gevallen. Voor de kleinere gecompartmenteerde dijkkring is de schade bij overstroming kleiner.



Figuur B-1: Schaalvergroting en verkleining bij bestaande dijkringen.

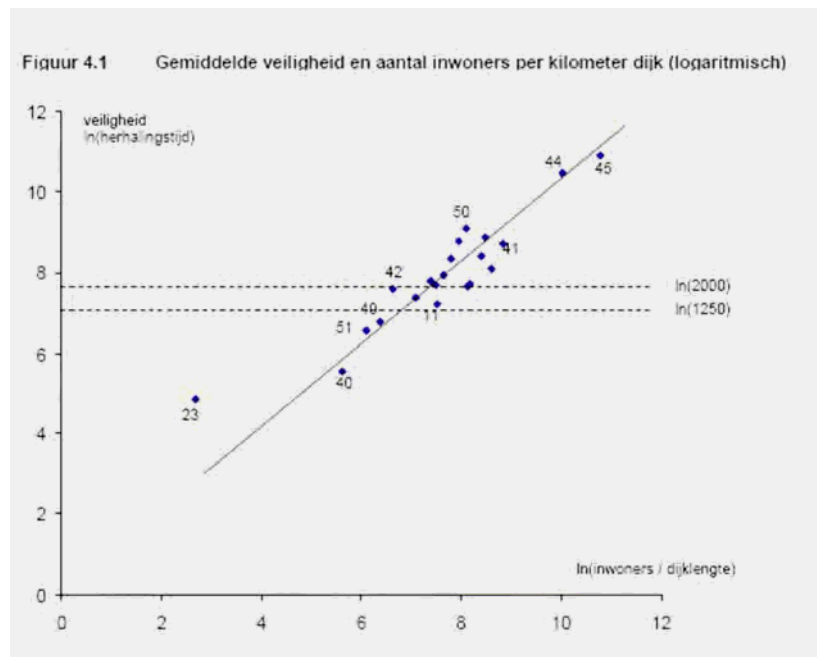
*Verandering van de grootte van een bestaande dijkring*

We beschouwen nu een nog meer theoretisch geval waarbij we de grootte van een bestaande dijkring aanpassen. Via hetzelfde schematische model kunnen we beredeneren wat er gebeurt als we een bestaande dijkring vergroten. We nemen de vierkanten dijkring met zijde L en omtrek  $4L$ . Het oppervlak is dan gelijk aan  $L^2$ . Als we aannemen dat de schade (d.w.z. de economische waarde) per eenheid oppervlak constant blijft dan kunnen we kijken wat er gebeurt als de dijkring groter wordt. Als  $L=1$  is de omtrek gelijk aan 4 en de schade 1. Als  $L=2$  is de omtrek gelijk aan 8 en de schade gelijk aan 4; Als  $L=10$  is de omtrek 40 en de schade 100. De schade neemt bij een groter wordende polder dus sneller toe dan lengte van de waterkering, zie ook Figuur B-2 als voorbeeld. De schade neemt kwadratisch toe met de lengte, de omtrek lineair.



Figuur B-2: Relatie tussen dijkring omtrek en schade

De hoeveelheid beschermde waarde per lengte waterkering wordt dus steeds groter. Hierdoor geldt dat het steeds relatief goedkoper wordt om waarde te beschermen. Dit is ook de reden waarom grotere en meer waardevolle dijkringen een relatief grotere optimale veiligheid kennen. Dit blijkt ook uit de recente analyses van Centraal Planbureau waarin de berekende optimale veiligheid (verticale as) is uitgezet tegen de verhouding tussen het aantal inwoners per lengte waterkering, zie Figuur B-3. We nemen aan dat de potentiële schade in een dijkkring samenhangt met het aantal inwoners, want een dijkkring met veel inwoners heeft ook een relatief grote schade<sup>18</sup>. Hieruit blijkt dat dijkringen met een relatief hoge verhouding tussen inwoners en lengte een grote veiligheid kennen.



Figuur B-3: Relatie tussen optimale overstromingskans (verticale as) en inwoners per lengte dijkkring (horizontaal). Bron: (Eijgenraam, 2005).

Hieruit blijkt dus dat niet perse de economische waarde bepalend is voor de optimale veiligheid, maar meer de verhouding tussen de schade en de waterkeringslengte<sup>19</sup>. Deze verhouding representeert eigenlijk de verhouding tussen schade enerzijds en investerings- en onderhoudskosten anderzijds, omdat een langere dijkkring duurder is om te versterken en onderhouden<sup>20</sup>.

Een andere variant van het probleem betreft een dijkkring met een vaste omvang maar een variabele schade. In dit geval zal bij een toenemende economische waarden (en gelijkblijvende investeringskosten) de optimale veiligheid toenemen. Dit volgt het principe dat dijkringen met de grootste waarde hoogste veiligheid krijgen.

<sup>18</sup> Dit lijkt een goede aanname te zijn, zie bijlage 9.II in (Jonkman, 2007).

<sup>19</sup> Dit komt ook uit versimpelde formules voor het economisch optimum.

<sup>20</sup> In deze versimpelde beschouwing laten we het effect van stormvloedkeringen buiten beschouwing. Deze kunnen de lengte van direct waterkerende elementen reduceren.

## Samenvattend

Op basis van het schematische geval zijn de bevindingen als volgt samen te vatten:

- Door schaalverkleining neemt de potentiële schade bij een overstroming af, maar de bescherming met behulp van waterkeringen wordt relatief duurder.
- Door schaalvergroting neemt de potentiële schade bij een overstroming toe, maar de bescherming met behulp van waterkeringen wordt relatief goedkoper.
- Op basis van een theoretische beschouwing is er geen optimale dijkringgrootte vast te stellen. Uitgaande van een constante waarde per eenheid oppervlak geldt dat een grotere dijkring een meer voordelige bescherming biedt dan een kleinere.

## Referenties

[Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen, 2006]

*Tussensprint naar 2015 – advies over de financiering van de primaire waterkeringen voor de bescherming van Nederland tegen overstroming*, 2006.

[CPB, 2006]

*Ageing and the sustainability of Dutch public finances*. Centraal Plan Bureau, CPB report, March 2006.

[Eijgenraam, 2006]

*Optimal safety standards for dike-ring areas*. Eijgenraam, C.J.J., CPB discussion paper no 62, March 2006.

[Kok en Jonkman, 2006]

Overstromingsrisico's in Nederland. Kok M., Jonkman B., notitie Ondersteuning Commissie Financiering primaire waterkeringen. HKV PR1173.13.

[Jonkman *et al.*, 2008]

Waterveiligheid en ruimtelijke ontwikkeling in de provincie Flevoland. Jonkman B., de Vuyst S., Versteeg W., Notitie voor de provincie Flevoland.

[RIVM, 2004]

*Risico's in bedijkte termen, Dutch dikes, and risk hikes – a thematic policy evaluation of risks of flooding in the Netherlands* (summary in English, report in Dutch), National institute for public health and environment, RIVM report 500799002.

[Rijkswaterstaat, 2006]

*Decimeringshoogten meren, bovenrivieren, benedenrivieren, Vecht en IJsseldelta* (concept). Rijkswaterstaat RIZA Werkdocument 2006.085x.

[Ruimtelijk Planbureau, 2007]

*Overstromingsrisico als ruimtelijke opgave*. Nai uitgevers, 2 mei 2007.

[Sprong, 2008]

*Achtergronddocument case business as usual – kostenschattingen*. Sprong, T., Project aandacht voor Veiligheid, versie 4 maart 2008, met bijdragen van J. Kind.

[Twijnstra Gudde, 2007]

Quick scan alternatieve veiligheidsmaatregelen, 2 april 2007.

[Van Danzig, 1956]

*Economic decision problems for flood prevention*, Van Danzig D., *Econometrica* Vol. 24 pp. 276-287.

[VNK, 2006]

*Veiligheid Nederland in Kaart – risicocase dijkring 14, Zuid-Holland*, berekening van het overstromingsrisico.

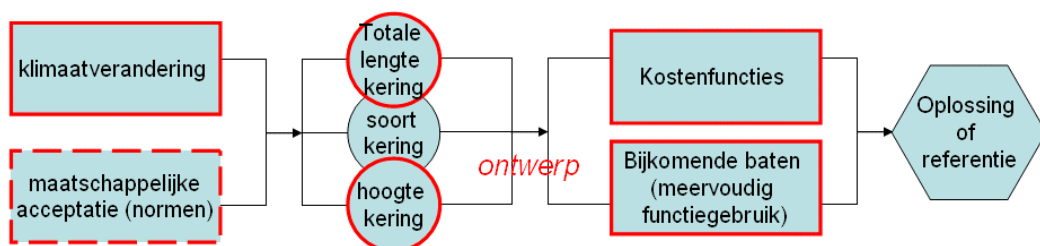




## Bijlage 3 Benedenrivieren: 'case Rotterdam'

### 3.1 Relatie tussen overstromingsrisico en 'waterfront development'

Het benedenrivierengebied kent drie soorten dreigingen, die met de klimaatverandering steeds prangender worden. Extreme stormvloed op zee, extreme afvoer van de grote rivieren, en als derde een combinatie van een hoge vloed op zee met een verhoogde (maar niet extreme) afvoer op de rivier. Met de klimaatverandering wordt de kans op hoge waterstanden in het gebied groter. De buitendijkse gebieden lijden dan schade en een kering kan bezwijken. Momenteel gaat men er van uit dat op korte termijn de primaire keringen in het benedenrivierengebied voldoen aan de Wet op de Waterkering. Op lange termijn is het mogelijk dat door klimaatverandering de maatgevende waterstanden behorende bij de huidige wet zullen veranderen, dat de wet strenger zal worden, of allebei. Met verhoogde dijken zouden we dan weer aan de wet voldoen, maar dat zou voor grote kosten en weerstand zorgen in het sterk verstedelijkte benedenrivierengebied.

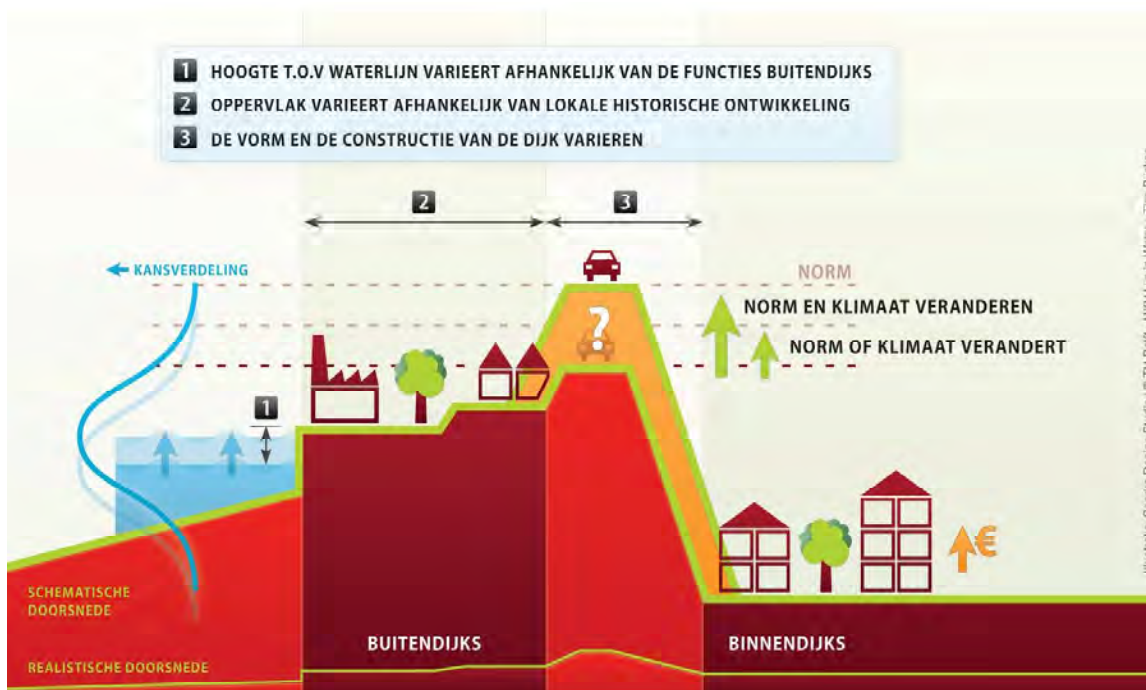


Figuur 3.1: De case 'Benedenrivieren' (Rotterdam en omgeving, Rijn-Maasmond) illustreert hoe het mogelijk is om met strategische keringen de totale lengte op te hoge dijken te reduceren.

Op korte termijn speelt het buitendijks gebied van de benedenrivieren een steeds grotere rol in het waterveiligheidsdenken. Oude buitendijkse gebieden liggen lager dan de hoogte van de dijken en zijn dus gevoeliger voor overstromingen. Jonge buitendijkse gebieden liggen hoger dan de oude, maar doorgaans nog wel lager dan de dijkhoogte. Momenteel gelden voor buitendijkse gebieden bouwrichtlijnen ten aanzien van hoogwaterbescherming die complicerend en kostenverhogend zijn voor ontwikkelaars.



Figuur 3.2: Huidige situatie in het Benedenriviereengebied: bij combinaties van hoge waterstand op zee en de rivieren lopen de buitendijkse gebieden langzaam onder, en neemt de kans op een dijkdoorbraak toe (tekening TU-Delft/HKV LJN IN WATER).



Figuur 3.3: Om het binnendijkse gebied beter te beschermen (bij veranderende normen of waterstanden) moeten wellicht de dijken worden verhoogd. De bescherming van het buitendijkse gebied blijft gelijk (tekening TU-Delft/HKV LJN IN WATER).

Desalniettemin is de druk op de 'waterfronts' hoog. Dit is een algemene stedenbouwkundige trend: naarmate de welvaart toeneemt vestigen hoogwaardige woon- en werkfuncties zich graag aan de randen van steeds schaarser open gebied. De druk leidt tot herbestemming van buitendijkse industriegebieden en landbouwgrond naar woningbouw, kantorenbouw en andere bestemmingen die gevoelig zijn voor overstromingen.

*In het benedenrivierengebied zou het verstandig zijn hoogwater te leiden naar gebieden waar dijkverhoging minder problematisch is en waar de druk op de buitendijkse gebieden geringer is.*

Dit zal steeds meer opgaan naarmate enerzijds de klimaatverandering doorzet en anderzijds de druk op de waterfronts toeneemt.



*Figuur 3.4a: Waterfront aan 'getemd' water (foto's T. Rijcken).*





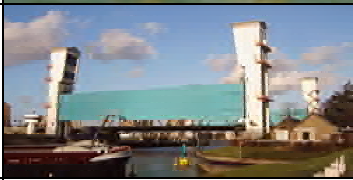


*Figuur 3.4b: Waterfront aan 'wild' water (foto's T. Rijcken).*

## 3.2 Beweegbare keringen om water om te leiden

Nederland heeft een lange geschiedenis van het plaatsen van dammen en het graven van kanalen om water in een gewenste richting te leiden en daarmee af te zien van dijkverhoging, daar waar dat lastig of kostbaar is. De Afsluitdijk is de grootste dam, de Nieuwe Merwede het breedste kanaal. Ook zijn er verschillende redenen om juist niet te kiezen voor het plaatsen van dammen of het graven van kanalen: het is te duur (dijkverhoging of het accepteren van schade is gunstiger), een dam verstoort scheepvaart of mariene ecologie, een kanaal verstoort bebouwing of infrastructuur.

Met het voortschrijden van technologie en welvaart ontwikkelde zich in de tweede helft van de 20ste eeuw daarom de beweegbare kering, die de voordelen van een dam benut en de nadelen beperkt. In een normale dam zit doorgaans een sluis die water, scheepvaart en vissen doorlaat, maar beweegbare keringen doen dit in een ongekeerde mate: de Maeslantkering bijvoorbeeld versmalt de Nieuwe Waterweg nauwelijks en biedt daarom volledig ongestoorde doorgang aan

schepen, water en waterfauna. De volgende tabel toont kosten en formaat van de belangrijkste beweegbare keringen in Nederland.

| Kering   | Besluit-voltooiing | Kosten                                   | Totale breedte opening   | Sluitings-frequentie                                     | Totale lengte dijkverhoging ontzien              |   |
|--|--------------------|--|--------------------------|--|--|---|
| <b>Maeslant (Nieuwe Waterweg)</b>              | 1991***-1997       | 450 M€                                   | 360 m                    | 1 maal in 10 jaar<br>Verwachting: 1 a 2 keer per 10 jaar | 250-350 km (samen met Hartel) (snelle schatting) |    |
| <b>Hartel (Hartelkanaal)</b>                   | 1991***-1997       | 209 M€ *                                 | 50+100+20 (sluis) =170 m | 1 maal in 10 jaar<br>Verwachting: 1 a 2 keer per 10 jaar | 250-350 km (samen met Hartel) (snelle schatting) |    |
| <b>Hollandsche IJssel (Hollandsche IJssel)</b> | 1954-1958          | 18 M€                                    | 80+20 (sluis) =100 m     | 5 a 6 keer per jaar                                      | 30 km  |    |
| <b>Kromme Nol (Heusdensch Kanaal)**</b>        | 1995-2001**        | 60 M€ (incl. Andelse Wilhelmina-sluis)** | 50 m **                  | Verwachting: 1 a 2 keer per 10 jaar **                   | 30 km  |   |
| <b>Ramspol ***</b>                             | 1991-2002***       | 155 M€ ****                              | 3 x 70 = 210 m           | Verwachting: 1 keer per jaar                             | 50-100 km (snelle schatting)                     |  |

Tabel 3-1: Beweegbare keringen (Bronnen: [www.wikipedia.nl](http://www.wikipedia.nl), [Google Earth](http://www.google.com/earth), [\\*nieuwsbladtransport.nl](http://nieuwsbladtransport.nl), [\\*\\*www.hetkontakt.nl](http://www.hetkontakt.nl), [\\*\\*\\*www.netwerkstormvloedkeringen.nl](http://www.netwerkstormvloedkeringen.nl), [\\*\\*\\*\\*www.waterbodernl](http://www.waterbodernl))

Nieuwe kanalen graven we nauwelijks meer. De technieken zijn verbeterd maar de verstoring van bestaande ruimtelijke functies is juist veel nijpender geworden. Bovendien is de capaciteit van de scheepvaartroutes nog voldoende, door de opkomst van het wegtransport nadat het grootste deel van het kanalennetwerk gegraven was.

Het buitendijks landelijk gebied is echter ideaal voor de groeiende behoefte aan waterrecreatie en natuur. Zij kunnen wellicht ooit weer het graven van een nieuwe rivier rechtvaardigen.

*Rotterdam, de Europoort en de Drechtsteden kunnen worden vrijgesteld van extreem hoog water vanuit de Waal, de Lek en de Maas met beweegbare keringen en een nieuwe rivier.*

De plaats, de vorm en de kosten van de keringen en de nieuwe rivier hangen onder andere af van de ontwikkeling van de scheepvaart, de mogelijkheden voor dijkverhoging, druk op de waterfronts en behoefte aan recreatie en natuur in het oosten en zuiden van het benedenrivierengebied.

### 3.3 Plaats en sluitingsfrequentie van de keringen

De figuur op de volgende pagina schetst een van de vele combinaties van een viertal keringen en een nieuwe rivier langs de A27.

De voorgestelde beweegbare keringen zullen de waterstand in het buitendijks gebied van de Waal, de Biesbosch, de Noordwaard, het Hollandsch Diep/Haringvliet en de Zeeuwse wateren iets sneller doen stijgen ten tijde van een hoogwater over de rivier. Daarmee komt de noodzaak tot dijkverhoging in deze gebieden iets dichterbij. De waterstanden "achter" de keringen, worden met deze keringen echter juist beheersbaar. Hoe vaker de keringen dicht gaan, des te lager het hoogste waterpeil en des te dichterbij het bebouwde waterfront bij het water kan komen. Een extreme variant zou zijn om het hele gebied permanent af te dammen (het 'Polder'concept van Rijkswaterstaat). De bezwaren van deze variant voor de scheepvaart zouden onacceptabel zijn.

Het zou zinvol zijn de voor- en nadelen van beweegbare keringen tegen elkaar af te wegen, als functie van verschillende locaties van de kering (een ontwerp vraag) en vooral de frequentie van sluiting (een onderzoeksvraag).

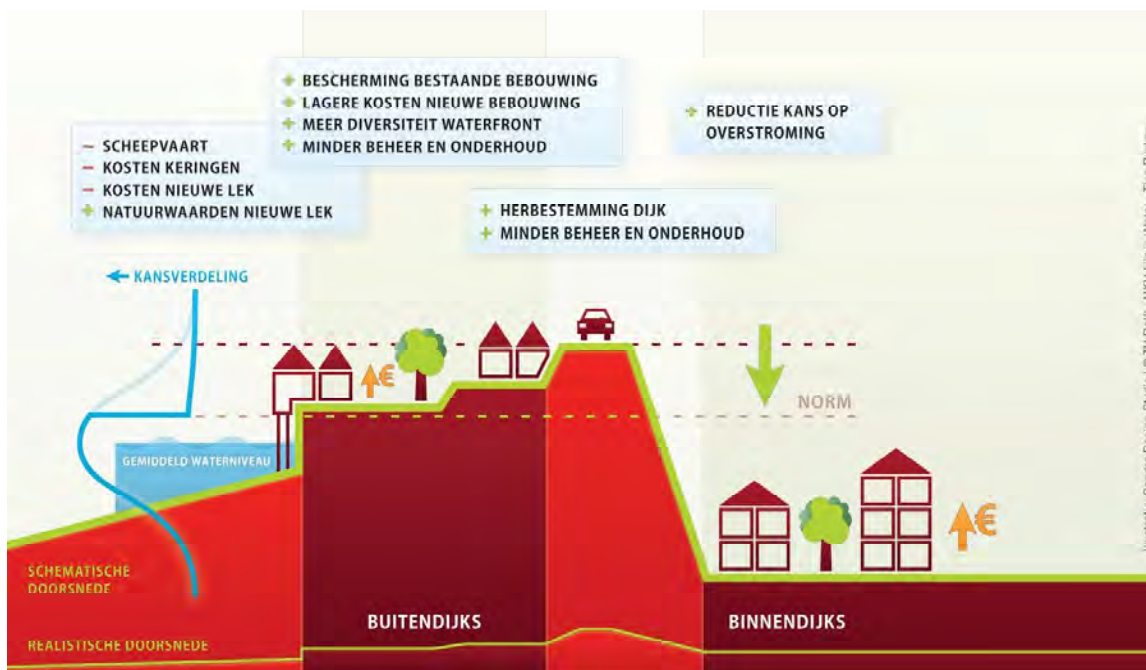
In eerste instantie zal de scheepvaart weinig hinder ondervinden omdat de sluitfrequentie ongeveer gelijk zal zijn aan die van de Maeslantkering, gemiddeld één maal per 12 jaar. Zouden de keringen vaker sluiten, dan is dat gunstig voor de waterfrontontwikkeling maar ongunstig voor de scheepvaart. Met de klimaatverandering zullen ze steeds vaker genoodzaakt zijn te sluiten, maar concurrenten Hamburg en Antwerpen komen waarschijnlijk in gelijke mate in de problemen.

*Los van de klimaatverandering bepaalt de verhouding tussen hinder voor de scheepvaart versus de overstromingskansreductie en opbrengsten van waterfront development de frequentie van sluiting*

Als de klimaatverandering doorzet en het waterfront beschermd moet blijven, zullen de keringen vaker genoodzaakt zijn te sluiten. Maar wie weet zijn we dan zo ver in de toekomst beland dat alle havenactiviteiten inmiddels in zee liggen en de binnenvaartschepen door een open Haringvliet ongehinderd naar Duitsland kunnen varen.



Figuur 3.6: De beweegbare keringen gaan alleen bij hoog water omlaag en beschermen daarmee steden als Rotterdam en Dordrecht, niet alleen binnendijks maar ook de buitendijkse gebieden. NB: voor Zeeland is aangenomen dat de Grevelingen en het Volkerrak rivierwater bufferen maar zonder extra dijkverhoging (tekening TU-Delft/HKV [LJUN IN WATER](#)).



Figuur 3.7: De frequentie van sluiten van de keringen en daarmee de ligging van het maximum waterpeil moet volgen uit een analyse naar de inspanning en verstoringen versus de opbrengsten van de ingreep (tekening TU-Delft/HKV [LJUN IN WATER](#)).

### 3.4 Voorzichtige schatting van inspanning en opbrengsten

Het ontwerp geschetst in de figuur verslaat in een kostenschatting met gemak de optie van dijkverhoging in het gehele gebied, zoals dat ook voor de Maeslantkering opging. De keringen

en de nieuwe rivier zullen samen zo'n 2 miljard € kosten, maar ontzien ruim 300 kilometer dijkverhoging (waarvan de helft stedelijk), en dit zou op 7 tot 10 miljard € uitkomen. Het ontwerp valt in twee delen uiteen: de 'Nieuwe Lek' en de vier beweegbare keringen. Eventueel benodigde extra dijkverhogingen rond de zuidelijke wateren worden niet mee genomen, omdat het verlies aan berging door de keringen gering is ten opzichte van de gehele berging in de zuidwestelijke delta.

De Nieuwe Lek (zie de tabel voor een ruwe kostenschatting) zou deels gedekt kunnen worden vanuit de ontwikkeling van recreatie en natuur. De kosten van de vier beweegbare keringen zijn af te leiden uit bestaande keringen en bedragen naar schatting tezamen een kleine miljard euro (zie de tabel).

| <b>Onderdelen 'Nieuwe Lek'</b>            |          |                  |                      |
|---|----------|------------------|----------------------|
| Oostelijke basisdijk (langs A27)          | 16 km    | € 15.000.000 /km | € 240.000.000        |
| Westelijke eco-dijk                       | 24 km    | € 20.000.000 /km | € 480.000.000        |
| Landbouwgrond (prijs Alblasserwaard 2007) | 1200 ha  | € 4000 /ha       | € 48.000.000         |
| Woningen en boerderijen                   | 50 stuks | € 700.000        | € 35.000.000         |
| Kleine tunnels of bruggen                 | 5        | € 2.000.000      | € 10.000.000         |
| Tunnel provinciale weg                    | 1        | € 30.000.000     | € 30.000.000         |
| Knooppunt Betuwelijn/A15                  | 1        | € 60.000.000     | € 60.000.000         |
| <b>totaal 'Nieuwe Lek'</b>                |          |                  | <b>€ 903.000.000</b> |

Tabel 3-2: Nieuwe rivier: voorzichtige kostenschatting.

|                                      | Lengte opening (m) | M euro's |
|--------------------------------------|--------------------|----------|
| <b>Bestaande beweegbare keringen</b> |                    |          |
| Hartel                               | 170                | 209      |
| Maeslant                             | 360                | 450      |
| Hollandsche IJssel                   | 100                | 18       |
| Kromme Nol                           | 50                 | 45       |
| Ramspol                              | 210                | 155      |

Tabel 3-3: Bestaande keringen.

| Nieuwe beweegbare keringen |     |     |
|----------------------------|-----|-----|
| Lexmond                    | 170 | 200 |
| Merwede                    | 200 | 300 |
| Drecht                     | 250 | 350 |
| Spui                       | 100 | 50  |

Tabel 3-4: Nieuwe keringen: kosten afgeleid van de bestaande keringen als functie van met name de breedte van de resulterende opening (de vaarweg).

Dijkverhoging kan noodzakelijk zijn door consequenties van klimaatverandering of verscherpte normen (de twee basisstrategieën van dit rapport). De haalbaarheid van beweegbare keringen

als alternatief voor dijkverhoging volgt dus uit de normen die de overheid stelt in de Wet op de Waterkering en de gemeten klimaatverandering, en uit een vergelijking met dijkverhoging. Als de normen niet verscherpt worden, zijn er twee analyses die de bouw van de keringen en de nieuwe rivier zouden rechtvaardigen. Ten eerste kunnen de maatgevende waterstanden door de klimaatverandering wijzigen, en zouden er bij gelijk blijvende normen steeds meer dijken afgekeurd worden. De vraag is nu, wanneer dat in de toekomst het geval zou zijn, gegeven de prognoses van de klimaatverandering. Op basis van de aannames in dit rapport zou dat ergens tussen 2025 en 2050 zijn.

Ten tweede kunnen de baten van nieuwe waterfront development en bestaande buitendijkse bescherming opwegen tegen de kosten van de keringen en de nieuwe rivier. Als dit zo is, geldt: hoe eerder hoe beter. Immers, er zijn al veel waterfrontontwikkelingen in het gebied gaande die worstelen met de kans op hoogwater, en elk jaar lopen de buitendijkse gebieden risico. De waardecreatie door de extra bescherming is moeilijk in te schatten. Voorlopige benaderingen tonen bij een gemiddelde waardesprong van enkele procenten in het buitendijks gebied, na de afschrijftermijn van de keringen een totale toegevoegde waarde van tientallen miljarden.

*De uitdaging is om te bepalen op welk moment in de toekomst de investering de baten rechtvaardigt. Het is mogelijk dat dat op korte termijn al het geval is, door de waardestijging van het buitendijks gebied en de gunstigere waterfrontontwikkeling.*

Voor de private sector en de regionale overheden hebben op korte termijn baat bij de keringen; het gehele land op lange termijn.

### 3.5 Samenvattend

Als een 300 km lang waterfront met een breedte van gemiddeld 100 meter een waardesprong zou maken van enkele procenten door de verlaging van het maximum waterpeil voor de nieuwe waterfrontontwikkelingen en het verminderde overstromingsrisico voor de bestaande buitendijkse functies, is er (zelfs zonder klimaatverandering) na enkele decennia voor miljarden euro's toegevoegde waarde ontstaan – tezamen met de waardecreatie van de natuurontwikkeling zou dat in een brede beschouwing de keringen en de nieuwe rivier rechtvaardigen. Extra binnendijkse overstromingsveiligheid in het benedenrivierengebied in de 21ste eeuw krijgt men dan 'op de koop toe'.

Uiteraard bevatten de voorgaande analyses vele aannames, zoals de kosten van het herontwerpen van het infrastructurele knooppunt westelijk van Gorinchem en uiteraard de buitendijkse waardestijging. Beschouw tevens het volgende:

- De bouw van een beweegbare kering kan gecombineerd worden met een brug en daarmee bijkomende baten creëren;
- Wanneer we beweegbare keringen als een volledig alternatief voor dijkverhoging zouden beschouwen, moet de faalkans evenzo groot zijn als die van de dijken. Dit kan de keringen duurder maken of zelfs een tweede Maeslantkering vereisen (de huidige Maeslantkering heeft een faalkans van 1/100 – tezamen met de andere keringen langs de Nieuwe Waterweg ligt het totale risico op een aanvaardbaar niveau).
- De voorgestelde plaatsing van de keringen en de rivier is één van de mogelijke opties; het is goed mogelijk dat andere combinaties en locaties beter zijn.



- Wellicht is de nieuwe rivier niet nodig en kan overtollig rivierwater op een andere manier afgevoerd worden (bijv bovenstreams) dit hangt onder andere af van de kans op kritische zee+rivierwaterstand-combinaties en de daarbij behorende rivierwaterhoogtes.
- Wellicht zijn de keringen tevens in te zetten om in droge tijden de zouttong terug te dringen en rivieren op peil te houden (wellicht in paren van twee als 'megasluis').

De volgende grote ontwikkelingen in het benedenrivierengebied zouden kunnen leiden tot nieuwe keringen en een nieuwe rivier.

Korte termijn:

- Potentiële schade bij een dijkdoorbraak neemt toe;
- Druk vanuit wonen en werken op de stedelijke buitendijkse gebieden neemt toe;
- Behoeftte aan natuurontwikkeling en recreatie (uitstekend in buitendijks landelijk gebied) buiten het stedelijk gebied neemt toe;
- Beweegbare keringen worden betaalbaarder door de voortschrijdende techniek en het groeiende bruto nationaal product;

Lange termijn:

- Dijkverhoging langs de benedenrivieren wordt ooit noodzakelijk;
- Havenactiviteiten en industrie verplaatsen richting zee;
- De Zeeuwse wateren worden zouter en de mogelijkheid van een open verbinding met de zee is niet uitgesloten.

Dit alles leidt tot de simpele gedachte om het gevaar van het water buiten het stedelijk gebied te houden. Dit kan zonder op korte termijn de scheepvaart te verstoren met behulp van beweegbare keringen en omleidingen van het rivierwater door het landelijk gebied. Uitgangspunt van de omgang met het water in Nederland is altijd geweest om de waterbeheersingsinspanning in balans te brengen met de wensen en de opbrengsten van de ruimtegebruikers. Maar waterbeheersing is moeilijk te fragmenteren – zo kan men niet in elk willekeurig dorp het water de vrije loop laten gaan of juist volledig beheersen: water verbindt. De kunst is, om dominante wensen in verschillende geografische gebieden te onderscheiden en de mate van waterbeheersing daarop af te stemmen. Een eindbeeld van de Zuidwestelijke Delta zou kunnen zijn dat we waterfluctuaties in de verstedelijkte Zuidvleugel beperken, in het recreatieve Zeeland het water vrijer laten, en we de scheepvaart daar ongestoord tussendoor laten varen.