

# DE INVESTERINGSPAD-ANALYSE, DE WAARDE VAN FLEXIBILITEIT IN EEN CASUS VAN KUSTVERDEDIGING

Een voorbeeld van een flexibele maatregel tegen zeespiegelstijging is de versterking van strand en duinen. Het onderscheidende kenmerk tussen flexibele en niet-flexibele maatregelen is de verhouding tussen vaste en variabele kosten. Niet-flexibele maatregelen hebben verhoudingsgewijs hoge vaste kosten, flexibele maatregelen hebben verhoudingsgewijs hoge jaarlijkse kosten.



## Hoe kunnen de juiste investeringsbeslissingen genomen worden onder onzekerheid?

Door Teun Morselt en Berry Gersonius

### Samenvatting

In deze essay wordt aan de hand van een fictieve maar realistische casus duidelijk gemaakt dat onzekerheid omtrent onder meer klimaatverandering ondergewaardeerd wordt in de praktijk van economische analyses. Het gevolg is dat flexibele maatregelen, dat zijn maatregelen met lage initiële kosten, ondergewaardeerd worden ten opzichte van kapitaalinvesteringen, dat zijn ingrepen met hoge initiële kosten. Zou men de onzekerheid wel

waarden, dan komt men dikwijls tot een andere investeringsselectie. In dit essay wordt stil gestaan bij de huidige praktijk van investeringsanalyse van publieke projecten en de tekortkomingen hiervan. Vervolgens wordt kwalitatief en kwantitatief inzicht gegeven in de optiewaardemethode, die rekening houdt met onzekerheid, en een economische waardering van flexibele maatregelen en adaptief waterbeheer mogelijk maakt. Tot slot wordt de gevoeligheid van investeringsselectie getest.

### Inleiding

In deze essay gaan we na op welke wijze momenteel in de praktijk van het Nederlandse waterbeheer economische evaluatie plaats vindt. Hiervoor wordt doorgaans een maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA) uitgevoerd. Aan de hand van een fictieve maar realistische casus van een

kustverdedigingsproject, wordt nagelopen tot welke conclusies men zou komen als men de huidige praktijk van MKBA toepast. Vervolgens wordt besproken welke tekortkomingen de huidige praktijk kent en welke oplossingen hiervoor gevonden kunnen worden.

**Introductie casus**

Allereerst zal enige achtergrond worden gegeven bij de casus. Uitgegaan is van een willekeurige plaats langs de Nederlandse kust waar over een lengte van 10 km. de kust versterkt moet worden, op basis van geometrie en randvoorwaarden zoals die voorkomen langs dijkvakken langs de Hollandse en Zeeuwse kust [van Nieuwenhuizen, 2010]. Op deze plaats ligt momenteel een dijk. De keuze bestaat eruit de bestaande dijk landinwaarts te verhogen en te verbreden versus de vooroever te suppleren met zand.

**Zeespiegelstijging en bodemdaling**

We gaan uit van de hoogste en laagste van de vier meest waarschijnlijke klimaatscenario's van het KNMI (2006). De vier scenario's hebben tezamen een waarschijnlijkheid van ongeveer 80 %, zo is hier aangenomen. Het KNMI schat de zeespiegelstijging in 2100 tussen de 35 cm. en 85 cm. in ten opzichte van 1990. Het gaat hier om een absolute stijging van de zeespiegel. Rekening houdend met de bodemdaling moet er voor een eeuw nog zo'n 10 cm. opgeteld worden, dan wordt het respectievelijk 45 cm. en 95 cm. De genoemde veranderingen zijn echter ten opzichte van 1990. De zeespiegelstijging is momenteel ca. 20 cm. per eeuw, dus in de periode 1990-2010 zo'n 4 cm. Er resteert dan een stijging van 41 cm. en 91 cm. respectievelijk tussen 2010 en 2100.

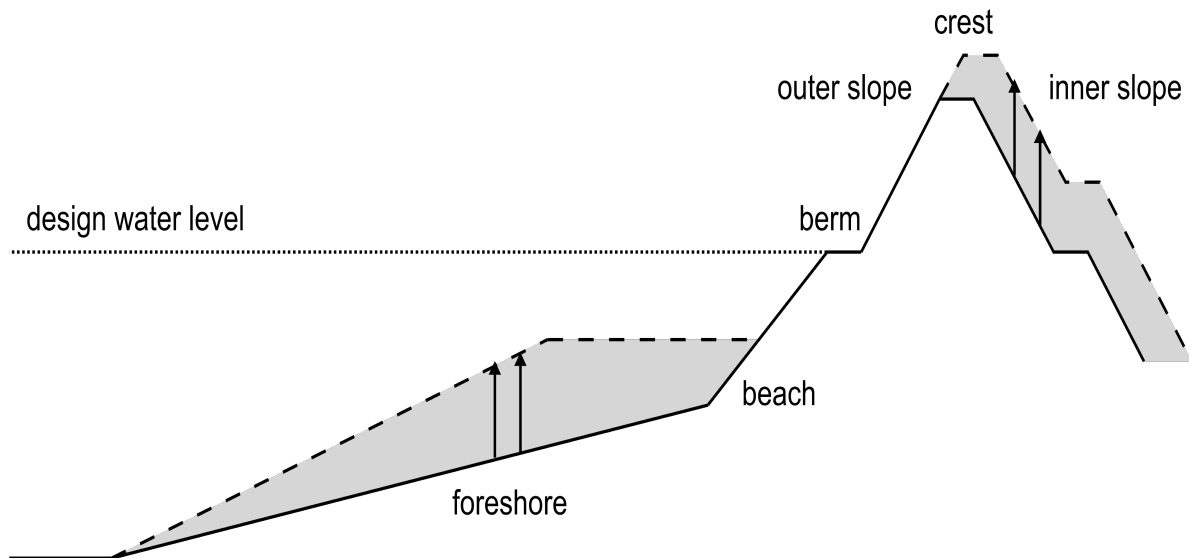
**Dijkverhoging**

De eerste variant betreft de dijkverhoging waarbij is uitgegaan van een dijkprofiel van een typische zeedijk met een benedenloop in basalt orde 1:4, een berm op NAP+5m (niveau van de maatgevende waterstand) en een bovenloop in asfalt 1:3 tot de huidige kruin op NAP +12m. De kruin is 3 m breed, het binnenbeloop heeft een taludhelling 1:3, eindigend in een binnenberm met onderhoudsweg en berm-sloot. Dit profiel is vergelijkbaar met bijvoorbeeld de Helderse, de Pettemer, de Hondsbossche of Westkappelsche zeekering en het Flaauwe werk. Bij grote verhogingen ligt een landwaartse verbredening van het profiel voor de hand (60 cm. verbredening voor 10 cm. verhoging bij een helling van 1:3). Aangenomen is dat de marginale onderhoudskosten (extra ten opzichte van het huidige onderhoud) van de dijk nihil zijn.

In figuur 1 is een dwarsprofiel van de zeedijk opgenomen.

In tabel 1 zijn de investeringen in de dijkverhoging opgenomen. [Kosten bepaald op basis van hoeveelheden inclusief opslagen en onvoorzien etc., excl. BTW.]

Figuur 1: dwarsprofiel van de zeedijk



Tabel 1: Uitgangspunten Dijkverhoging

Waterstandsverhoging	Kruinhoogte (m + NAP)	Kruinverhoging (m)	Investeringskosten (mln. Euro)
0,5 m (5,5 i.p.v. 5,0)	12,66	0,66	38
1,0 m (6,0 i.p.v. 5,0)	13,35	1,35	46
1,5 m. (6,5 i.p.. 5,0)	14,04	2,04	55
bron: [van Nieuwenhuizen 2010], teamanalyse Blueconomy/UNESCO-IHE			

### Zandsuppletie

Het tweede projectalternatief betreft het opspuiten van de vooroever en het strand met zand. De vooroever dient een lengte te hebben van ongeveer een golfengte ( $L_{0p} = 115m$ ). De bovenkant van het voorland wordt op circa  $0,5 \cdot H_s$  onder de waterspiegel gelegd (in de basissituatie: NAP +3,25m). Opgemerkt wordt dat het voorland op deze hoogte zelden onderwater komt (eens per jaar of minder vaak). Aangenomen is verder dat het zand op zee wordt gewonnen, op ca. 15-20 km. afstand van de bestemming. De kosten van de maatregelen zijn berekend op basis van hoeveelheden. Als strand wordt beschouwd de zone boven gemiddeld laagwater (ca. NAP -2m). In tabel 2 zijn de initiële investeringskosten van deze maatregel opgenomen. Als gevolg van zeespiegelstijging zal elke vijftien jaar opnieuw geïnvesteerd worden.

De onderhoudskosten voor vooroeversuppletie worden beschouwd zijnde onderdeel van BKL-suppleties en worden daarom verder buiten beschouwing gelaten. Voor het onderhoud wordt uitgegaan van ordegrrootte 10% per jaar over het gehele zandpakket.

Aangenomen is een gemiddelde kostprijs voor baggeren van € 6,-/m<sup>3</sup> voor strandsuppletie en € 3,-/m<sup>3</sup> voor vooroeversuppletie. [Morselt, 2009], [Koningsveld, 2004]. Zie tabel 2.

Bij zowel dijkverhoging als zandsuppletie is gerekend met bedragen exclusief BTW. Een BTW-betaling wordt namelijk gezien als een overdracht van de belastingbetaler naar de overheid. Op nationaal niveau is het welvaartseffect van een overdracht netto-nul.

Tabel 2: Uitgangspunten Zandsuppletie

Waterstands-verhoging	Kruinhoogte (m + NAP)	Kruin-verhoging (m)	Vooroeversuppletie (m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup> )	Strandsuppletie (m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup> )	Investeringskosten (mln. Euro)
0,5 m (5,5 i.p.v. 5,0)	12,66	0,66	245	168	19,1
1,0 m (6,0 i.p.v. 5,0)	13,35	1,35	245	235	23,8
1,5 m. (6,5 i.p.. 5,0)	14,04	2,04	245	302	28,5

bron: [van Nieuwenhuizen 2010], [Morselt 2009], teamanalyse Blueconomy/UNESCO-IHE

## MKBA zonder fasering

(gebruik van de netto contante waarde methode in de huidige praktijk)

### De huidige praktijk van kosten-baten analyse

Hoe wordt er in de huidige praktijk in Nederland over het algemeen in kosten-baten analyses afgewogen tussen projectalternatieven? Als voorbeeld hebben we een drietal projecten genomen die onlangs geëvalueerd zijn (ex ante): de Hondsbossche en Pettemerzeewering, de duinen van Noord-Holland en Den Oever [Arcadis]. De genoemde projecten zijn representatief voor MKBA's met betrekking tot waterveiligheidsprojecten en zijn gebaseerd op de OEI systematiek [OEI]. Conform deze richtlijnen worden projectalternatieven ten opzichte van elkaar afgewogen door alle effecten in beeld te brengen en deze zoveel mogelijk te kwantificeren en te monetariseren. Vervolgens worden alle kosten en baten met behulp van een disconteringsvoet teruggerekend naar vandaag tot een netto contante waarde. Het projectalternatief met de hoogste baten/kosten verhouding verdient uit economische perspectief de voorkeur.

### Het gebruik van klimaatscenario's

In de drie MKBA's die wij bekeken hebben is een middenscenario van het KNMI uit 2002 aangehouden\*. De

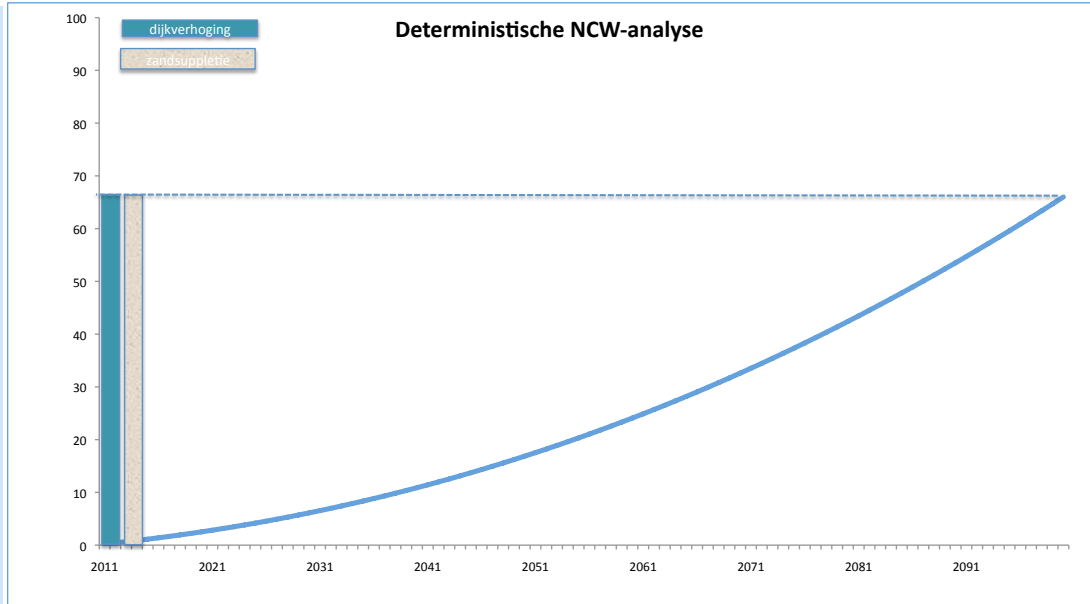
essentie in het kader van dit essay is, dat men dus uitgaat van een gemiddelde of middenscenario. Toegepast op onze casus zou dit betekenen dat het midden van het lage scenario (41 cm.) en het hoge scenario (91 cm.) wordt aangehouden, oftewel een zeespiegelstijging in combinatie met bodemdaling van in totaal 66 cm. in 2100 ten opzichte van 2010. De wijze waarop met robuustheid wordt omgegaan is in deze drie MKBA's kwalitatief. Men beoordeelt alternatieven met plussen (meer geschikt) en minnen (minder geschikt) voor wat betreft hun mogelijkheden om te gaan met hogere of lagere zeespiegelstijging/bodemdaling.

### De huidige praktijk toegepast op de casus

In de huidige praktijk van MKBA gaat men doorgaans als volgt te werk. Men vergelijkt de dijkverhogingsvariant en de zandsuppletie variant met elkaar op basis van een (1) klimaatscenario. Daarbij wordt vaak aangenomen dat beide maatregelen ineens en volledig worden uitgevoerd. Dus ook in zandsuppletievariant wordt aangenomen dat ineens 66 cm. wordt gesuppleerd. De reden waarom deze aanname wordt gedaan is dat daarmee geen extra veiligheidsbaten

\* In de werkwijzer OEI bij SNIP wordt gesteld dat uit gegaan moet worden van het zogenaamde middenscenario van het KNMI uit 2002. Tegenwoordig hanteert het KNMI geen middenscenario's meer. In deze essay is aangesloten bij de vigerende praktijk, daarbij is de meeste gevallen (nog) uitgegaan van deze middenscenario's. Tegenwoordig zou men waarschijnlijk 1 of 2 van de KNMI-scenario's gebruiken die niet extreem laag of extreem hoog zijn.

**Figuur 2**  
Schematische weergave van een vergelijking van twee varianten in de huidige MKBA-praktijk



van de dijkverhogingsvariant ten opzichte van de zandsuppletie variant hoeven te worden uitgerekend. Dit is in de praktijk namelijk niet altijd even eenvoudig.

In figuur 2 is schematisch weergegeven hoe deze vergelijking er uit ziet.

**Resultaten**

In tabel 3 zijn de resultaten weergegeven op basis van netto contante waarde. Daarbij is gerekend met een discontovoet van 5,5 % [Financiën, 2009]. Voor de duidelijkheid wordt opgemerkt dat in deze casus overige baten, zoals recreatie en toerisme, buiten beschouwing zijn gelaten. Deze baten kunnen substantieel en zelfs doorslaggevend zijn, en spelen vooral bij natuurlijke varianten zoals zandsuppletie. Echter, voor het betoog in dit artikel doet dit niet ter zake.

Uit tabel 3 blijkt dat de dijkverhogingsvariant de voorkeur geniet. De netto contante waarde van zandsuppletie is 34% hoger dan van dijkverhoging.

**Tekortkomingen van de MKBA in de huidige praktijk**

Bovenstaande vergelijking staat ver af staat van de praktijk van uitvoering van maatregelen. Het is moeilijk voor te stellen dat men zou besluiten om nu 66 cm. ineens te suppleren! Zelfs in een deterministisch pad gebaseerd op het middenscenario zou men waarschijnlijk elke vijf tot vijftien jaar suppleren. Evenals bij suppleren speelt ook bij de dijkverhogingvariant de vraag of het optimaal is om ineens de dijk te verhogen voor 90 jaar of in twee of meer keren, met andere woorden: de optimale dijkhoogte.

Tabel 3: Resultaten MKBA	Dijkverhoging	Zandsuppletie	Verschil
NCW, d=5,5 %			
Saldo kosten	€ 40,4 mln.	€ 54,0 mln.	+ € 13,6 mln.
Meerkosten zandsuppletie t.o.v. dijkverhoging (%)			+ 34 %
bron: teamanalyse Blueconomy UNESCO-IHE			

## MKBA met fasering

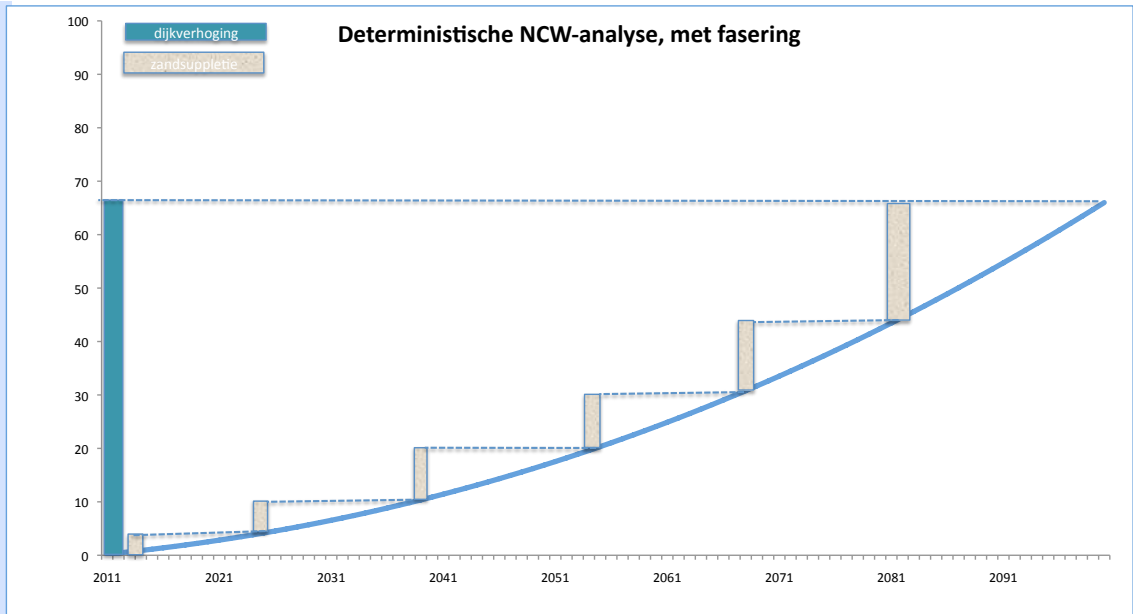
(gebruik van deterministische netto contante waarde methode)

**Een vergelijking maken die beter aansluit bij het werkelijke investeringspad**

Zou men dus een investeringspad volgen dat dichterbij de realiteit ligt dan zouden de investeringen in de tijd gespreid worden. Om dit te illustreren is de casus uitgewerkt met een zandsuppletievariant die zich in zes stappen voltrekt

(elke 15 jaar). Daarnaast is nagegaan of het aantrekkelijk is om de dijkverhogingsvariant in twee stappen van 45 jaar uit te voeren maar als gevolg van de hoge initiële kosten blijkt het aantrekkelijker om dit ineens voor 90 jaar te doen. In figuur 3 zijn de twee varianten schematisch weergegeven.

**Figuur 3**  
Vergelijking van twee varianten in een deterministische NCW-berekening waarbij rekening wordt gehouden met de fasering van maatregelen.



**Bespreking veiligheidsbaten versus uitstel van uitgaven**

Een aspect wat ontbreekt in deze grafiek, en in feite de reden is waarom men in de praktijk dikwijls terugvalt op een MKBA zonder fasering, is de waardering van het veiligheidsoverschot dat de dijkverhogingsvariant heeft ten opzichte van de zandsuppletievariant. Echter, men dient zich te realiseren dat de extra veiligheidsbaten doorgaans zeer gering zijn als gevolg van de hoge veiligheidsniveaus waarop deze varianten zich bevinden. Zo bedragen de veiligheidsbaten van de projectalternatieven ten opzichte van de referentiealternatieven bij de Hondsbosche en Pettemerzeeweringen bijvoorbeeld slechts ca. € 6 mln. (contante waarde, 50 jaar). Dit is in vergelijking tot de investeringen in een range van ca. € 140 mln. tot ca. € 200

mln. bijzonder laag. Bij dergelijke investeringsbedragen is de waarde van uitgestelde uitgaven (fasering) hoger dan de waarde van de overhoogte/veiligheidsbaten. De waarde van de overhoogte is in het kader van dit artikel niet verder uitgewerkt omdat het een forse uitbreiding van de casus zou betekenen terwijl dit slechts een tussenstap is dit betoog.

**Resultaten**

In tabel 4 zijn de resultaten van deze vergelijking te zien. Het blijkt dat de netto contante waarden van beide varianten nu dichterbij elkaar liggen, uitsluitend als gevolg van een daling van de netto contante waarde van de zandsuppletievariant door het faseren van maatregelen. Nog steeds gaat de voorkeur uit naar dijkverhoging,

Tabel 4: MKBA met fasering	Dijkverhoging	Zandsuppletie	Vershil
NCW, d=5,5 %			
Saldo kosten	€ 40,4 mln.	€ 42,9 mln.	+ € 1,1 mln.
bron: teamanalyse Blueconomy UNESCO-IHE			+ 6,2%

**Tekortkomingen van de MKBA met fasering**

Hoewel de hierboven geschetste MKBA een verbetering is ten opzichte van de huidige manier van werken, schiet deze nog steeds te kort. Het knelpunt is dat er nog steeds wordt uitgegaan van een “zekere” wereld die zich zal voltrekken

volgens een (1) scenario (middenscenario). Er wordt niet kwantitatief rekening gehouden met de mogelijkheid dat de zeespiegel sneller of langzamer stijgt.

# MKBA rekening houdend met onzekerheid

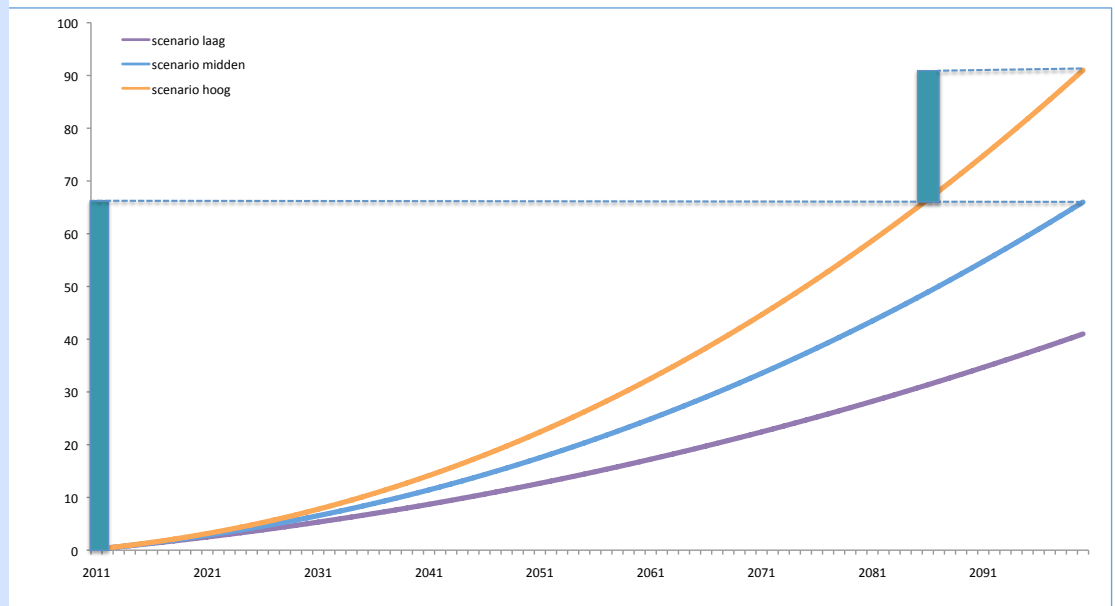
## (het gebruik van scenario-analyse in de MKBA)

Tot nu toe werd aangenomen dat het klimaat zich ontwikkeld volgens een bepaald scenario. Met onzekerheid werd alleen rekening gehouden door middel van het gebruik van een disconteringsvoet. In de OEI-richtlijnen wordt aanbevolen om met scenario's en gevoeligheidsanalyse te werken om beter inzicht te krijgen in de onzekerheden.

Een scenario-analyse toegepast op onze casus zou er als volgt uit kunnen zien. Stel dat men aanneemt dat het hoge scenario leidt tot 91 cm. zeespiegelstijging (in combinatie met bodemdaling), en het lage tot 41 cm. Dan zien deze scenario's er in een assenstelsel uitgezet uit zoals in figuur 4.

Voor het onderdeel dijkverhoging kan bijvoorbeeld nagegaan worden in hoeverre de gekozen maatregel robuust is voor alle scenario's. Het is duidelijk dat de maatregel voldoet voor het lage en het gemiddelde scenario. Maar in het hoge scenario moet rond 2085 een additionele maatregel worden genomen. Scenario-analyse geeft hierin dus inzicht. De suppletievariant is flexibel en kan meer of minder zeespiegelstijging het hoofd bieden. Voor onze casus is onderzocht en gebleken dat in alle scenario's voor de zeespiegelstijging de kust met zandsuppletie kan worden versterkt.

Figuur 4  
Scenario-  
analyse in de  
MKBA



### Resultaten

Scenario-analyse leidt niet tot een nieuwe tabel met waarden omdat in de scenario-analyse geen waardering wordt gedaan. De reden is dat er geen kansverdeling bekend is van de (in dit geval drie) scenario's. Scenario-analyse is dus vooral een What-if analyse die helpt bij het doordenken van de wereld in de verschillende "states of nature" maar hieraan geen waardering hangt. Het is voor

de besluitvormer daarom niet gemakkelijk om tot een evenwichtig besluit te komen. Immers, hoe moet men een alternatief beoordelen dat in één van de drie scenario's niet toekomstvast blijkt te zijn, maar waarvan de kans op dit scenario niet bekend is?



# MKBA rekening houdend met optiewaarde

(stochastische onzekerheidsanalyse in combinatie met de netto contante waarde methode)

## Optiewaarde methode

Met behulp van de optiewaardetheorie kan deze waardering wél worden gedaan. De optiewaardetheorie, ook wel Real Options genoemd, komt voort uit de waardering van financiële opties op de beurs. De essentie van opties is dat je de mogelijkheid hebt (een aandeel) te kopen, maar niet de verplichting. Toegepast op kustverdediging betekent dit de mogelijkheid om te investeren in een werk maar niet de verplichting. Nog concreter: je hebt de optie af te zien van investeren als de zeespiegelstijging minder snel gaat dan gedacht. Dit speelt uiteraard vooral bij maatregelen met lage initiële of vaste kosten, dus bijvoorbeeld zandsuppletie. Hoe ziet dit er uit toegepast op de casus?

## Flexibiliteit waarderen!

We houden rekening met de onzekerheid rondom de toekomstige zeespiegel. Alleen de huidige zeespiegel is bekend. De onzekerheid kan gevat worden door een stochastisch proces. De Geometrische Brownse Beweging (GBB) is een van de meest gebruikte stochastische processen en vormt de basis van de optiewaarde theorie. In principe is de GBB niets meer dan een random walk voorgesteld in de tijd.

## Dijkverhoging

De optiewaardebenadering is zowel op de situatie van dijkverhoging als die van zandsuppletie toegepast. Echter, al eerder bleek dat het bij dijkverhoging aantrekkelijker is om dit ineens voor 90 jaar uit te voeren, in plaats van in stapjes, als gevolg van de hoge initiële kosten. In feite betreft het hier een vraagstuk van de optimale dijkverhoging.

## Zandsuppletie

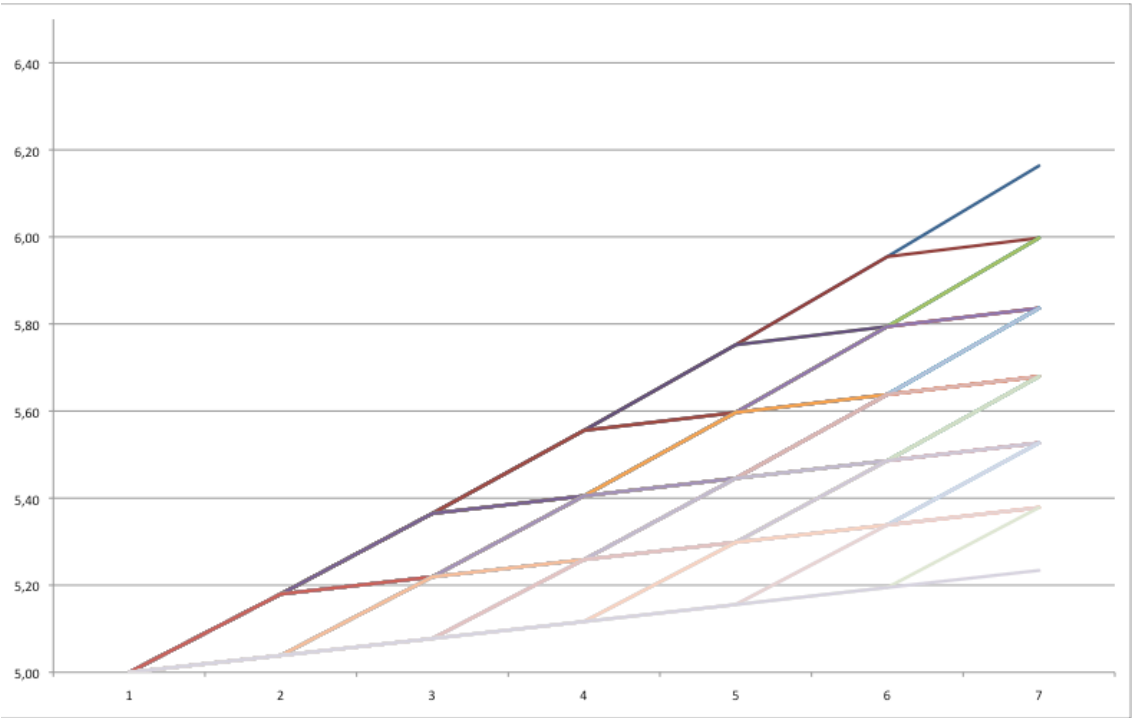
Zandsuppletie is een veel flexibelere maatregel dan dijkverhoging. Men kan immers monitoren wat de

zeespiegel daadwerkelijk doet en vervolgens op basis van deze informatie beslissen. Wij zijn uitgegaan van zandsuppleties elke 15 jaar omdat een kortere periode te kort is om een betrouwbare tijdreeks te hebben over het verloop en de ontwikkeling van de zeespiegelstijging.

Om het stochastisch proces te versimpelen gebruiken we een zes-staps binomiale boom. Dit is een discrete benadering van de verandering van de zeespiegel over zes tijdstappen. Over elke tijdstap kan de zeespiegel 'toenemen' of 'afnemen'. We gebruiken de Jarrow-Rudd (JR) methode om de binomiale boom op te zetten; de JR boom heeft de eigenschap dat de kansen voor een 'toename' en 'afname' gelijk zijn aan 50%. De binomiale boom beschrijft dus de mogelijke paden die de zeespiegel kan volgen. Elk knooppunt in de boom geeft een mogelijke zeespiegel op één van de beslismomenten weer.

In figuur 5 is de binomiale boom behorende bij de optiewaardebenadering grafisch weergegeven. Men kan deze als volgt lezen. De zeespiegel bedraagt in 2010 5,00 m boven NAP. Na één neergaande beweging is de zeespiegel in 2025 met 4 cm. toegenomen, na één opgaande beweging is deze met 18 cm toegenomen. Bevinden wij ons op het onderste knooppunt, dan kan van daaruit wederom een snellere of langzamere stijging plaats vinden. Evenzo geldt dit voor het hogere knooppunt. Men past de hoeveelheid te suppleren zand dus aan, aan de gemonitorde zeespiegelstijging. Uiteindelijk wordt een berekening gemaakt van het aantal verschillende mogelijke paden vermenigvuldigd met de bijbehorende hoeveelheid zand en bijbehorende kosten. De verwachtingswaarde is het gemiddelde van alle uitkomsten, omdat de kans op elk pad gelijk is.

**Figuur 5**  
De knooppunten in de optiewaardebenadering van de zandsuppletie



**Disconteringsvoet**

In de optiewaardebenadering wordt dezelfde disconteringsvoet gehanteerd als bij de klassieke kosten-baten analyse.

**Resultaten**

In tabel 5 zijn de resultaten van de optiewaardebenadering gezet. Het blijkt dat de netto contante waarde van het

projectalternatief waar gesuppleerd wordt lager is dan die van de dijkverhoging. Dit is opmerkelijk omdat uit de eerdere (deterministische) analyses nog de omgekeerde conclusie werd getrokken. Met andere woorden, door rekening te houden met de onzekerheid komt men tot een ander investeringsbesluit.

Tabel 5: Resultaten optiewaardebenadering	Dijkverhoging	Zandsuppletie	Verskil
NCW, d=5,5 %			
Saldo kosten	€ 47,7 mln.	€ 44,9 mln.	€ - 2,8 mln.
bron: teamanalyse Blueconomy UNESCO-IHE			- 5,8 %

**Opmerking bij de optiewaardebenadering**

De aandachtige lezer zal mogelijk zijn opgevallen dat de NCW berekeningen met behulp van de optiewaardebenadering hoger zijn dan die zonder stochastische benadering. De reden hiervan is dat een waardering wordt gegeven aan investeringspaden in verschillende scenario's, waarbij sommige investeringspaden in staat moeten zijn om met hoge klimaatscenario's om te gaan. Dat betekent additionele maatregelen. Met vergelijkt dus een investeringspad dat

(uitsluitend) in staat is om om te gaan met een zeespiegelstijging in combinatie met bodemdaling van 66 cm. met een investeringspad dat in staat is om te gaan met een zeespiegelstijging in combinatie met bodemdaling variërend van 24 cm. tot en met 118 cm. Men kan dus niet zonder meer de tabellen 2, 3 en 4 met elkaar vergelijken maar alleen per tabel de alternatieven onderling vergelijken.



# Gevoeligheidsanalyse

We hebben een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd langs een tweetal lijnen: de mate van onzekerheid en de disconteringsvoet. De mate van onzekerheid wordt uitgedrukt in de variantie of volatility (%) per jaar. Deze is in het voorbeeld 0,3%. Op de y-as staan de verschillende discontovoeten, waarbij in deze casus 5,5% is gehanteerd. Vervolgens zijn de volgende definities aangehouden als het gaat om de gebieden waarin de investeringsbeslissing zich kan bevinden (zie figuur 6).

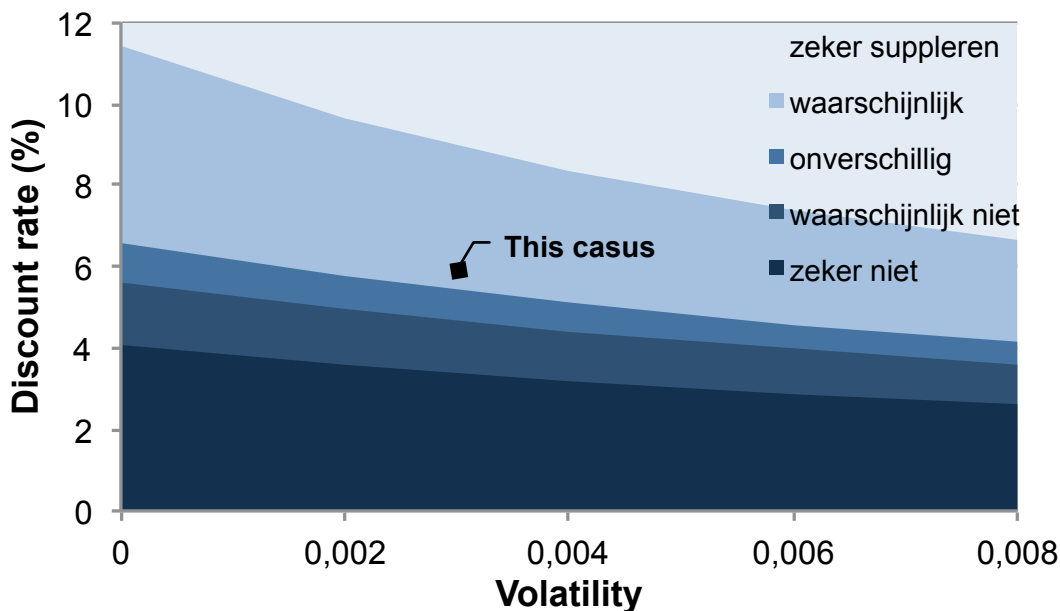
- Zeker suppleren: suppleren is meer dan 30% goedkoper dan dijkverhoging;
- Waarschijnlijk suppleren: suppleren is 5% tot 30% goedkoper dan dijkverhoging;
- Onverschillig: de kosten van suppleren wijken niet meer dan 5% af van de kosten van dijkverhoging;
- Waarschijnlijk niet suppleren: De kosten van suppleren zijn tussen de 5% en 30% hoger dan van dijkverhoging;
- Zeker niet suppleren: de kosten van suppleren zijn meer dan 30% hoger dan van dijkverhoging.

In de figuur is de huidige casus geplot. Te zien is dat deze in het gebied ligt van “waarschijnlijk suppleren”. De keuze voor suppleren blijkt dus tamelijk solide.

De eerste vraag die gesteld kan worden is wat er gebeurt als de onzekerheid groter of kleiner is. Te zien is dat als de variabiliteit bijvoorbeeld twee keer zo groot is (0,6% i.p.v. 0,3%), de casus “steviger” in het gebied “waarschijnlijk suppleren” terecht zou komen. Een verlaging van de onzekerheid naar bijv. 0,01 % leidt er toe dat de casus in het gebied “waarschijnlijk niet” terecht komt. Het is goed verklaarbaar dat naar mate de onzekerheid kleiner wordt, de waarde van flexibele maatregelen eveneens geringer wordt.

Een tweede vraag die gestel kan worden is wat er verandert ten aanzien van de soliditeit van de investeringskeuze voor suppleren als men een andere disconteringsvoet zou gebruiken. Bij een lagere disconteringsvoet komt de voorkeur voor suppleren al snel op losse schroeven te staan. Dit is goed verklaarbaar als men zich realiseert dat bij een flexibele variant de kosten naar de toekomst verschoven zijn, en dat door het contant maken met een lagere disconteringsvoet, deze kosten vandaag de dag hoger worden, en daarmee het flexibele alternatief minder aantrekkelijk wordt.

Figuur 6  
Gevoeligheid van de uitkomsten schematisch uitgezet



# Besluit

In dit essay is aan de hand van een casus duidelijk gemaakt dat de besluitvorming over investeringen in het waterbeheer momenteel tekortkomingen kent, die er toe kunnen leiden dat niet-optimale investeringsbeslissingen worden genomen. De oorzaak hiervan is gelegen in het onvoldoende onderkennen én waarderen van onzekerheid. Aangetoond is dat indien men wel rekening houdt met deze onzekerheid, flexibele en adaptieve maatregelen positiever gewaardeerd worden ten opzichte van maatregelen met hoge initiële kosten.

## Discussiepunten voor vervolgonderzoek

Opgemerkt wordt dat in dit essay alleen de onzekerheid omtrent de zeespiegelstijging is meegenomen. In werkelijkheid zijn de onzekerheden op de lange termijn vele malen groter, vooral als gevolg van onzekerheid rondom de

sociaal-economische ontwikkelingen. De waarde van flexibele oplossingen is in werkelijkheid naar verwachting daarom groter dan de hier gevonden waarden. In toekomstig onderzoek zou men zich kunnen richten op onzekerheid rondom de overschrijdingskansen van waterkeringen, welke voortvloeien uit de combinatie van onzekerheid rondom klimaatverandering en sociaal-economische ontwikkeling.

Ten behoeve van deze essay zijn een aantal uitgangspunten gekozen en aannames gedaan. Een verandering in de uitgangspunten of aannames kan tot andere resultaten leiden. De belangrijkste discussiepunten voor toekomstige analyses zijn het profiel van de kust, de benodigde hoeveelheid suppletiezand en de kengetallen voor dijkverhoging en zandsuppletie.

**Blueconomy**

## Geraadpleegde bronnen

Arcadis, “Maatschappelijke kosten baten analyse hoogwaterkering Den Oever”, in opdracht van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 1 juli 2010.

Arcadis, “MKBA zwakke schakel Hondsbossche zeekering en Pettemer zeekering”, in opdracht van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 2 september 2010.

Arcadis, “Duinen Kop van Noord-Holland, Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse”, in opdracht van de Provincie Noord-Holland, 2 maart 2010.

Hillen M, Jonkman S.N., e.a., Coastal defence cost estimates, TU Delft/Royal Haskoning, april 2010.

OEI-Leidraad, Evaluatie van grote infrastructuurprojecten, Leidraad voor kosten-baten analyse, 2004.

Koningsveld en van Nieuwenhuijzen 2004; WLDelft/Royal Haskoning; Planstudie veiligheid, fase 2. In opdracht van de Provincie Noord-Holland, 14 december 2004.

Kok M. et al. “Toekomst voor het Nederlandse polderconcept, technische en financiële houdbaarheid: i.o.v. de Deltacommissie, juli 2008.

OEI bij SNIP werkwijzer, “integrale afweging van SNIP-projecten op basis van de Overzicht Effecten Infrastructuur (OEI)-systematiek: effectentabel en toepassingsbereik”, RWS RIZA rapport 2001.010, 2007.

Morselt T.T. 2009; “Economische en milieukundige effecten van de zandwinstrategie”, rapport Blueconomy, P09014.

Morselt T.T. 2010; “het deltaprogramma bezien als investeringsvraagstuk – rekening houdend met de kenmerken: onzekerheid, samenhang, consistentie, flexibiliteit en integraliteit, rapport Blueconomy P10004. van Nieuwenhuijzen, 2010; Royal Haskoning; achtergrondberekeningen voor een fictieve en reële casus langs de Nederlandse kust.

Financiën, 2009a; Kamerbrief inzake lange termijn discontovoet, kenmerk: IRF-2009-1171, d.d. 11-09-2009.

Financiën, 2009b; bijlage bij de Kamerbrief; Advies Werkgroep Lange Termijn Discontovoet, 2 september 2009.