



Deltaprogramma | Waddengebied

Innovatieve dijken als strategie voor een veilig en aantrekkelijk Waddengebied

Samenvatting onderzoek naar innovatieve dijken



Innovatieve dijken als strategie voor een veilig en aantrekkelijk Waddengebied

Samenvatting van het Deltaprogramma Waddengebied onderzoek naar innovatieve dijken

Jantsje M. van Loon-Steensma (Wageningen UR)

Harry A. Schelfhout (Deltares)

Tim van Hattum (Alterra)

Alfons Smale (Deltares)

Ismail Gözüberk (DLG)

Met medewerking van Martin van Dijken (DLG): illustraties dijkprofielen en kaarten

Alterra-rapport 2535

Wageningen, juli 2014

Dit project is begeleid door de Klankbordgroep Innovatieve Dijken Waddengebied. Leden van de Klankbordgroep: Harrie Groen (Deltaprogramma Waddengebied en Waterschap Noorderzijlvest), Hans Gerritsen (Deltaprogramma Waddengebied en Rijkswaterstaat WL), Tim van Hattum (Alterra), Ismail Gözüberk (Dienst Landelijk Gebied), Alfons Smale (Deltares), Femke Schasfoort (Deltares en Expertise Centrum Kosten-Baten), Jantsje van Loon (Wageningen UR).

In opdracht van het Deltaprogramma Waddengebied zijn diverse studies uitgevoerd naar de kansen voor innovatieve dijkconcepten in het Waddengebied. Daarbij is de toepasbaarheid en effectiviteit voor de waterveiligheid verkend en is de meerwaarde voor natuur, landschap en recreatie van innovatieve dijkconcepten in het Waddengebied in beeld gebracht. In dit rapport worden de belangrijkste bevindingen uit deze studies samengevat met als doel de state of the art kennis en inzichten rond innovatieve dijkconcepten in het Waddengebied te schetsen. Dit rapport geeft belangrijke bouwstenen voor het trechteren van mogelijke naar kansrijke dijkconcepten en vormt een stap in het verkennen van geschikte waterveiligheidsstrategieën in het Waddengebied die zich naast waterveiligheid richten op doelstellingen voor natuur en ruimtelijke kwaliteit.

Trefwoorden: waterveiligheid, innovatieve dijken, deltadijk, kwelders, klimaatverandering, eco-engineering.

Dit rapport is gereviewd door Prof. Pier Vellinga (Wageningen University)

De foto's op de omslag en in het rapport zijn gemaakt door Jantsje M. van Loon-Steensma.
Figuur 1 is gemaakt door Harry A. Schelfhout.

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het Deltaprogramma Deelprogramma Waddengebied.
Projectnummer: BO-11-015-044 (Gebiedsgericht Deltaprogramma)

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Innovatieve dijkconcepten	7
3	Kansrijke dijkconcepten voor het Waddengebied	15
4	Innovatieve dijken en faalmechanismen	17
5	Doelbereik waterveiligheid	21
6	Rol Kwelders	27
7	Kosten	31
8	Baten Innovatieve Dijken	35
9	Synthese en aanbevelingen	41
	Bijlage	43
	Overzichtskaarten Innovatieve Dijken Waddengebied	



1 Inleiding

Het Deltaprogramma Waddengebied heeft als doel om een aanpak te ontwikkelen om de waterveiligheid in het Waddengebied op de lange termijn te verzekeren. Het is daarbij de insteek om waterveiligheid te integreren met de functies natuur en recreatie en met duurzame economische activiteiten. Innovatieve dijken vormen één van de onderzochte waterveiligheidsstrategieën. Innovatieve dijkconcepten hebben een ander ontwerpprofiel of waterkeringsprincipe dan traditionele dijkconcepten (die qua hoogte, taludhelling en bekleding zijn ontworpen om zo efficiënt mogelijk aan de waterveiligheidseisen te voldoen). Ze kunnen beter passen in het landschap, nieuwe kansen bieden voor het Waddengebied, beter tegemoet komen aan de internationale status van de Waddenzee als belangrijk natuurgebied en ook robuuster zijn en daarmee beter beschermen tegen de effecten van klimaatverandering. Maar er is nog weinig ervaring met de toepassing van innovatieve dijken en er zijn nog diverse vragen, onder meer rond ontwerp- en toetsregels. Om zicht te krijgen op de toepasbaarheid en effectiviteit voor waterveiligheid, de kosten en de natuurlijke, landschappelijke en recreatieve meerwaarde van innovatieve dijkconcepten langs de Waddenkust heeft het Deltaprogramma Waddengebied vanaf 2011 diverse studies laten uitvoeren. In de voorliggende rapportage worden de belangrijkste bevindingen uit deze studies samengevat bedoeld om de *state of art* kennis en inzichten rond innovatieve dijkconcepten in het Waddengebied te schetsen. Dit geeft belangrijke bouwstenen voor het trechteren van mogelijke naar kansrijke dijkconcepten. Op deze manier draagt het Deltaprogramma Waddengebied bij aan de ontwikkeling van een toekomstgerichte veiligheidsstrategie voor het Waddengebied en aan het behoud en de versterking van de belangrijke natuur- en landschappelijke kwaliteiten in 's werelds grootste getijdengebied.

Identificeren van kansrijke innovatieve dijkconcepten langs de Waddenzeekust

Om zicht te krijgen op de meest kansrijke dijkconcepten langs de Waddenzeekust (alle kusten grenzend aan de Waddenzee) zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Beschrijven van alle mogelijke dijkconcepten in een 'longlist'.
2. Gevoeligheidsanalyse. Op basis van expert-judgement is aan de hand van de criteria uit de Vergelijkingsystematiek van het Deltaprogramma nagegaan welke innovatieve dijkconcepten in het Waddengebied het meest kansrijk zijn voor de diverse dijktrajecten. Dit heeft geresulteerd in een 'shortlist' van (innovatieve) dijkconcepten.
3. Doelbereik innovatieve dijkconcepten. De effectiviteit voor de waterveiligheid is bepaald via het modelleren van de benodigde dijkverhoging van elk innovatief dijkconcept (ten opzichte van een traditionele versterking) voor diverse klimaatscenario's en voor twee zichtjaren. Aanvullend is nagegaan hoeveel zand en klei nodig zijn om de innovatieve dijkconcepten te realiseren en wat het extra ruimtebeslag is. Binnen dit onderzoek is specifiek gekeken naar het effect van kwelders voor de dijk door de benodigde kruinverhoging met en zonder autonome kwelderontwikkeling te modelleren.
4. Kosten. Zowel voor de traditionele dijkversterking als voor de innovatieve dijkconcepten zijn de kosten berekend op basis van de benodigde volumes zand en klei.
5. Baten. Om inzicht te krijgen in hoeverre innovatieve dijkconcepten waterveiligheid met andere beleidsdoelstellingen of opgaven kunnen combineren zijn naast de kosten ook de baten voor met name natuur en recreatie in beeld gebracht.

De stappen zijn beschreven in diverse deelstudies en zijn in dit rapport samengevat.



2 Innovatieve dijkconcepten

Het Waddengebied wordt tegen overstroming vanuit de Waddenzee beschermd door gronddijken (een zandlichaam met daarop een laag klei) met aan de zeewaartse kant een bekleding van eerst stortsteen bij de buitenteen, daarboven een ondertalud van asfalt of steenbekleding en een boventalud met een grasbekleding. Op de kruin en aan de landwaartse kant is meestal een kleilaag met grasbekleding aanwezig en er is soms ook een berm. Naast deze traditionele zeedijken zijn er vooral in de havensteden ook kaden en harde waterkerende constructies die de bewoners en hun eigendommen beschermen tegen overstroming. De dijken langs de Groninger kust, de Friese kust en langs Wieringen en op het eiland Texel moeten het achterland beschermen tegen extreme hoogwaterstanden die eens per 4.000 jaar voorkomen. De dijken op de Waddeneilanden Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling en Vlieland moeten bestand zijn tegen waterstanden die eens per 2.000 jaar voorkomen en de dijken van Noord-Holland tegen waterstanden die eens per 10.000 jaar voorkomen. Uit de laatste veiligheidstoetsing is gebleken dat vooral door problemen met de dijkbekleding grote dijktrajecten in het Waddengebied niet meer voldoen aan de veiligheidsnorm.

Innovatieve dijkconcepten hebben een ander ontwerp-profiel of waterkeringsprincipe (bijvoorbeeld een flauwer buitentalud, ruwere bekleding, voorland, hogere overslagbestendigheid) dan traditionele dijkconcepten waardoor ze:

- i) veiliger kunnen zijn (door over-dimensionering),
- ii) positieve effecten of kansen kunnen bieden voor het regionale bedrijfsleven, de ruimtelijke kwaliteit, recreatie en toerisme, natuur, voor energie en grondstoffen, of het combineren van natuur en landschappelijke kwaliteit met sociaal-economische opgaven,
- iii) qua uitvoerbaarheid kansen bieden voor het mee koppelen met geplande ontwikkelingen en programma's en beter aanpasbaar zijn, of
- iv) er minder investeringskosten zijn en mogelijkheden voor medefinanciering.

Dit maakt innovatieve dijkconcepten interessant als klimaatadaptatie maatregel.

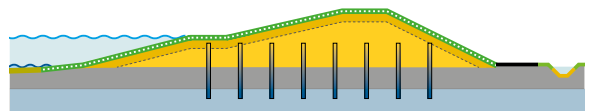
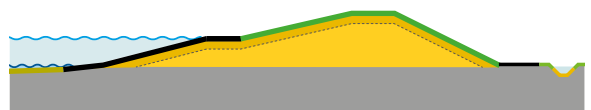
Longlist van dijkconcepten

Er is onderzocht welke dijkconcepten mogelijk zijn in het Waddengebied (Van Loon-Steensma et al., 2012; Van Loon-Steensma en Schelfhout, 2013). Het resultaat daarvan is een longlist van dijkconcepten:

Traditionele dijkconcepten

Traditionele zeedijken

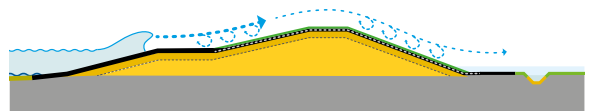
- *Traditionele zeedijken*
De zeedijken in het Waddengebied betreffen in het algemeen een gronddijk (een zandlichaam met daarop een laag klei) met aan de zeezijde een ondertalud van (voor het hele Waddengebied gemiddeld) 1 : 4 met een asfalt- of steenbekleding en een boventalud van 1 : 5 met een grasbekleding.
- *Traditionele zeedijk met nieuwe technieken*
Zeedijk met toepassing van bestaande of nieuwe technieken (waarbij het ontwerpprofiel en het waterkeringsprincipe gelijk blijft).
- *Rijke Dijk*
Toepassen van natuurvriendelijke bekleding (zoals steenbekleding die meer aanhechtingsmogelijkheden biedt voor organismen). Het ontwerpprofiel en het waterkeringsprincipe blijven gelijk.



Innovatieve dijkconcepten

Overslagbestendige/overstroombare dijk

- *Overslagbestendige/overstroombare dijk*
De dijkbekleding op de kruin en het binnentalud is bestand tegen een vooraf bepaald toelaatbaar overslagdebiet (steen en asfaltbekledingen laten een hoger overslagdebiet toe dan gras, maar dragen niet bij aan de ruimtelijke kwaliteit) of tegen gecontroleerde overstroming (vooral relevant voor rivieren). Bij extreme omstandigheden kan dus water over de dijk komen zonder dat de dijk doorbreekt. Het is wel nodig om in het achterliggende gebied maatregelen te nemen om het water af te voeren, tegen te houden (bijvoorbeeld in een tussendijks gebied), of schade te voorkomen (via bijvoorbeeld het aanleggen van verhogingen om te wonen of als vluchtplaats voor dieren). Bij overslag of overstroming is er waarschijnlijk wel sprake van overlast en schade (mede afhankelijk van grondgebruik), maar niet van een ramp (zoals bij een doorbraak of ongecontroleerde grootschalige overstroming). Meestal is het overstroomd met zout water vooral in gebieden met reguliere akkerbouw schadelijk. Als een tussendijks gebied juist voor zilte landbouw wordt



gebruikt, is overstrooming of overslag niet schadelijk (of zelfs wenselijk). Overstroming of overslag is ook niet schadelijk (of zelfs wenselijk) als er in het tussendijkse gebied zilte natuur voorkomt.

Robuuste oplossingen

Een robuuste dijk die zo hoog, breed of sterk is dat de kans op een ongecontroleerde overstrooming vrijwel nihil is.

- *Deltadijk*

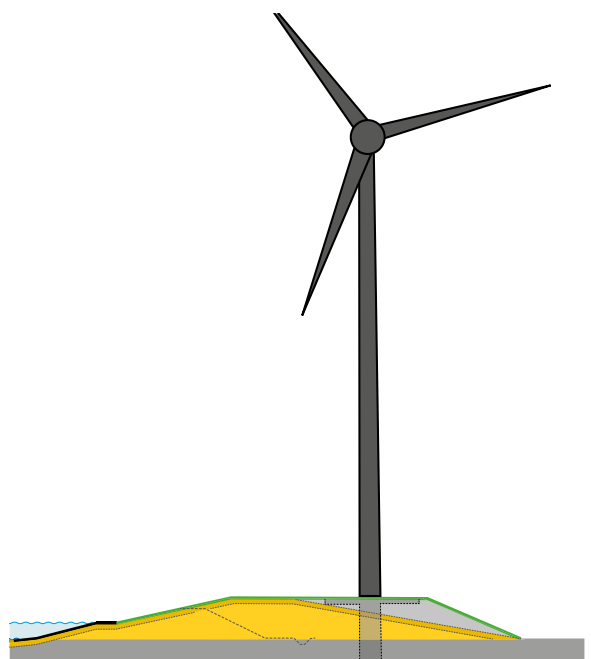
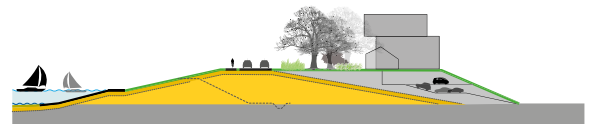
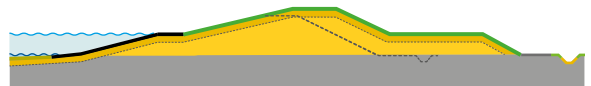
Een dijk, die door hoogte en stabiliteit tien maal veiliger is (al dan niet in combinatie met bijzondere waterkerende constructies) dan een traditionele dijk en die is ontworpen volgens de daarvoor geldende leidraden en technische rapporten.

Een deltdijk kan doorbraakbestendig worden gemaakt door de kruin zodanig te verbreden dat de kans op doorbraak van de dijk en daarmee de kans op schade in het achterliggende dijkkringgebied wordt beperkt. Bij een deltdijk met een extra brede kruin kan meer golfoverslag worden toegestaan en zal overstrooming in eerste instantie tot een tijdelijk probleem van wateroverlast leiden en niet tot een doorbraak.

De uitwerking van de deltdijk kan op verschillende manieren worden ingevuld. Duurzaamheid en benodigde energie hangen van de locatie-specifieke invulling af.

- *Multifunctionele dijk*

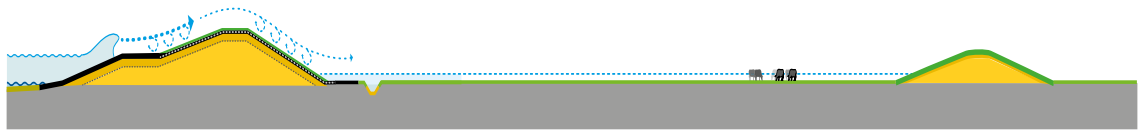
Als andere functies op de dijk worden toegestaan (zoals bebouwing), dan moet verder vooruit worden gekeken (de levensduur van een gebouw is soms langer dan de planperiode van een dijk). Dit leidt tot een zekere overdimensionering (ten opzichte van een deltdijk) om aanpassingen op korte termijn te voorkomen. Door de andere functies kan dit concept heel goed of juist minder in het landschap passen. Dit hangt van de functies af. Zo past een dijk met natuurfuncties goed in het Waddenlandschap, maar een dijk met windmolens juist minder. Specifiek aandachtspunt is dat niet-waterkerende objecten geen negatieve effecten op de waterkerende functie en op het beheer en onderhoud van de waterkering mogen hebben.



Parallele dijken

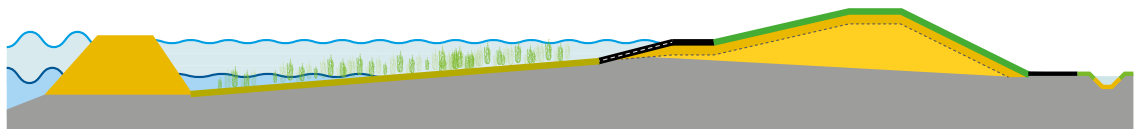
- *Bestaande dijk met achterlandkering*

Bij een dubbele kering leveren beide dijken een bijdrage aan de veiligheid van het achterliggende gebied. Daarbij kan één van beide keringen als primaire kering worden beschouwd. In het tussendijkse gebied kan schade optreden. Tenzij er juist zilte natuur is of zilte teelt plaatsvindt in het tussendijks gebied. In het Waddengebied zijn nog vele oude dijken aanwezig.



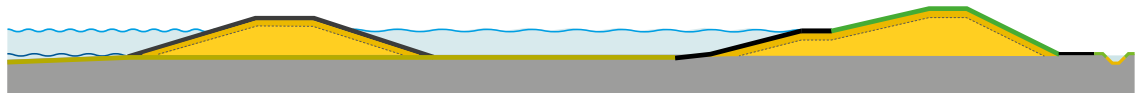
- *Voorlandkering/golfbreker voor de bestaande dijk*

Een voorliggende kering die de golfaanval op de primaire waterkering reduceert.



- *Schermdijk voor de bestaande dijk*

Dijk voor de dijk, havendam, soms volledig in het water, maar soms vast aan de oever.



Hybride keringen

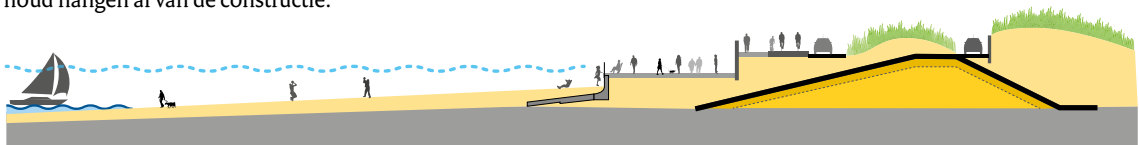
Zij bestaan uit een combinatie van harde en zachte waterkerende onderdelen. Door een zachte vooroever voor de waterkering neemt de golfbelasting op de harde kering af en kan worden volstaan met een lagere kruinhoogte.

- *Dijk-in-duin*

Bestaat uit een traditionele dijk, die geheel is voorzien van een harde steenbekleding waarover een zandaanvulling in de vorm van een duin is aangebracht (aan de Waddenkust zijn echter van nature geen duinen).

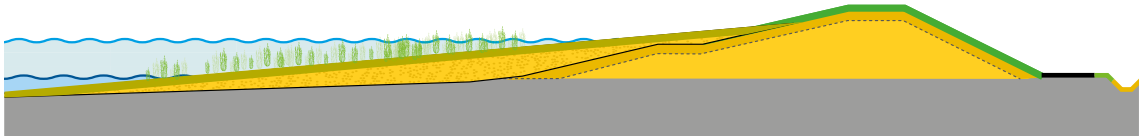
- *Dijk-in-boulevard*

Bestaat uit een traditionele dijk met een harde bekleding, waarover een boulevard is aangelegd en een extra hoeveelheid zand is aangebracht. De ruimtelijke kwaliteit hangt af van de locatie. De kosten van beheer en onderhoud hangen af van de constructie.



- *Oeverdijk*

Traditionele dijk met zand of klei ervoor. Door deze aangelegde vooroever voor de waterkering neemt de golfbelasting op de kering af en kan worden volstaan met een lagere kruinhoogte.

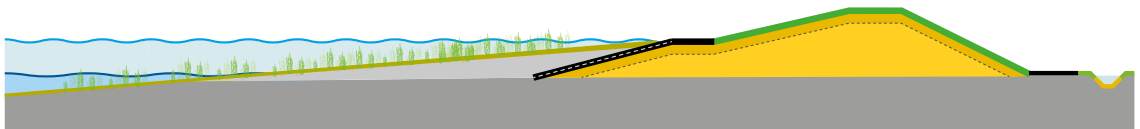


Eco-engineering

Hierbij wordt bewust gebruik gemaakt van natuurlijke processen.

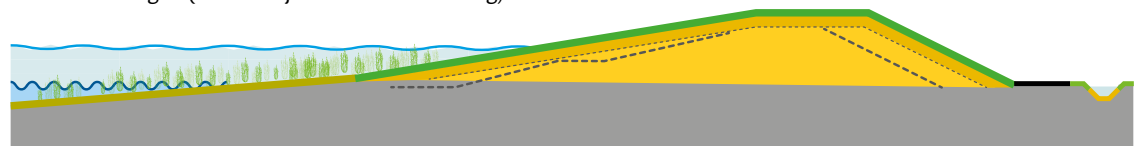
- *Dijk met kwelder*

Traditionele dijk met een voorland van kwelders. Deze kwelders voor de dijk dempen de golven en kunnen (als er genoeg sediment is) via natuurlijk aanwas de zeespiegelstijging bijhouden. De geulen en prielen kunnen door vissen als paaiplaats worden gebruikt.



- *Brede groene dijk*

Een dijk met een flauw buitentalud en grasbekleding. Voorland in de vorm van kwelders hoort bij dit concept. Onder normale omstandigheden breken de golven op het voorland. Alleen onder stormomstandigheden bereiken de golven de dijk, en breken dan op het flauwe talud en het terugstromende water. Natuurlijke aanwas van klei in de kwelder kan voor materiaal zorgen voor aanleg van de brede dijk (= duurzaam en flexibel). Het aanspoelen van plantenresten vanuit het voorland (veek) kan voor extra onderhoud zorgen (afhankelijk van de windrichting).



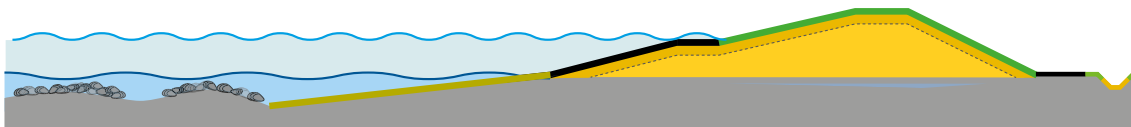
- *Dijk met kwelderwal*

Er is een kunstmatige verhoging gemaakt daar waar de kwelder de dijk raakt om eventuele erosie op te vangen. De kwelder (die bijdraagt aan golfreductie) groeit mee met de zeespiegel via natuurlijke aanwas. De geulen en prielen kunnen door vissen als paaiplaats worden gebruikt.

- *Oesterbank*

Een bank of rif van oesters (of mossels) voor de dijk die golven kunnen dempen en sediment kunnen invangen en vastleggen en zo bijdragen aan de vorming van het

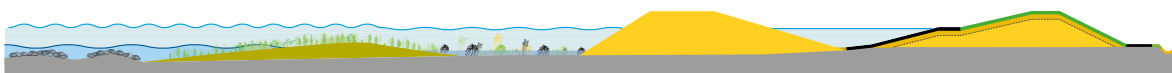
kustfundament. Er zijn experimenten om de groei van deze zogenaamde biobouwers via korven te stimuleren op gewenste plaatsen voor de dijk.



Dynamisch stabiel

Hierbij wordt de kustlijn gehandhaafd door zandsuppletie op de onderwateroever waarna stroming en wind zorgt voor verspreiding van het gesuppleerde zand.

- *Zand/bagger-suppleties*
Tot nu toe alleen toegepast bij de Noordzeekust. Door de flexibiliteit kan dit gunstig zijn voor de natuur en ruimtelijke kwaliteit. Procedureel zal deze oplossing in het Waddengebied wel moeilijk zijn.
- *Zand motor*
Dit is een grootschalig zandsuppletie. Zand komt van nature niet voor langs de Waddenkust (en daarom is deze maatregel procedureel minder geschikt). Wel kan zo'n grootschalige zandsuppletie (tijdelijk) gunstig zijn voor recreatie. Het is een relatief dure maatregel omdat waarschijnlijk meer zand moet worden aangelegd dan nodig is voor regelmatig suppleren (dus niet per definitie duurzaam hoewel er gebruik wordt gemaakt van natuurlijke dynamische processen om het op de gewenste plek te krijgen).
- *Slib motor*
Nieuw idee en nog niet verkend op voor- en nadelen.
- *Nieuwe duinen*
Die ook inzetbaar zijn voor recreatie. Waarschijnlijk procedureel lastig langs de Waddenkust omdat duinen van nature niet aan de Waddenkust voor komen (wel langs de Noordzeekust).



Pilot project Prins Hendrik dijk (dijk met nieuw duin en vloedhaak)

Verzameling van harde waterkerende constructies (beton, staal, etc.)

Deze constructies komen het meest tot hun recht in bebouwde gebieden.

- *Integratie met bebouwing*
Kan extra impuls voor ruimtelijke kwaliteit geven.
- *Functie scheidende schermen*
- *Demontabele kering*
- *Standaard dijk met innovatieve technieken*
(zoals bijvoorbeeld Mixed-In-Place, waarbij de bestaande grond wordt gemengd met cement ter verbetering van de stabiliteit).

Buitendelta's, Waddeneilanden en wadplaten

Hoewel de buitendelta's (samen met de Waddeneilanden en de wadplaten) de golfaanval op de vastelandskust verminderen en luwte bieden, wordt in de studie Innovatieve Dijken in het Waddengebied het suppleren van de buitendelta's niet als een apart dijk/beschermingsconcept voor het Waddengebied meegenomen.

Deltaprogramma Waddengebied studies

van Loon-Steensma, J.M., H.A. Schelfhout, N.M.L. Eernink en M.P.C.P. Paulissen, 2012. Verkenning Innovatieve Dijken in het Waddengebied; Een verkenning naar mogelijkheden voor innovatieve dijken in het Waddengebied (Alterra rapport 2294).

van Loon-Steensma, J.M. en H.A. Schelfhout, 2013. Gevoeligheidsanalyse Innovatieve Dijken Waddengebied; Een verkenning naar de meest kansrijke dijkconcepten voor de Waddenkust (Alterra rapport 2483).





3 Kansrijke dijkconcepten voor het Waddengebied

Samen met de Noordelijke waterschappen is in de studie 'Gevoeligheidsanalyse Innovatieve Dijken Waddengebied; een verkenning naar de meest kansrijke dijkconcepten voor de Waddenkust' (van Loon-Steensma en Schelfhout, 2013) nagegaan hoe alle innovatieve dijkconcepten op basis van hun belangrijkste kenmerken en hun effecten op de omgeving scoren op de criteria in de vergelijkingsystematiek van het Deltaprogramma. Voor het Waddengebied zijn i) veiligheid, ii) effecten en kansen voor andere functies en waarden, iii) uitvoerbaarheid, en iv) financiering de relevante hoofdcriteria (waarbinnen subcriteria worden onderscheiden). Een traditionele versterking van de zeedijk vormde de referentie voor de kwalitatieve score (van -- tot ++) op deze criteria. Naar voren kwam dat het hoofdcriterium 'veiligheid' onderscheidend is: een robuuste dijk (deltadijk of multifunctionele dijk) vermindert de kans op overstroming meer dan de andere innovatieve dijkconcepten. De robuuste concepten nemen echter meer ruimte in en zijn duurder (omdat er meer zand en klei nodig is). Ook kan implementatie procedureel lastig zijn omdat meer wordt gedaan dan wettelijk nodig is. Multifunctionele dijken bieden kansen op medefinanciering (maar dit is sterk locatie-specifiek). Daarnaast is het hoofdcriterium 'effecten en kansen voor functies en waarden' onderscheidend. Afhankelijk van de toegepaste functies scoort een multifunctionele dijk hoog. Ook de eco-engineering-concepten scoren hoog op dit criterium. Eco-engineering concepten zijn (in tegenstelling tot een multifunctionele dijk) gemakkelijk aan te passen (dus flexibel). Wel zullen sommige eco-engineering oplossingen in het Waddengebied moeilijk te implementeren zijn omdat Natura 2000 wetgeving zeewaartse oplossingen bemoeilijkt. Concepten die overslag of overstroming toelaten kunnen op weerstand stuiten vanuit de bewoners. Concepten die aansluiten bij de lokale omstandigheden (historische dijken in het landschap) of natuurlijke processen (zoals kweldervorming) scoren het gunstigst op ruimtelijke kwaliteit. Veel innovatieve concepten bieden kansen voor het meekoppelen met ander beleid, ruimtelijke ontwikkelingen of strategieën. Bovendien zijn veel innovatieve concepten gunstiger voor recreatie en toerisme en voor natuur dan de traditionele kering.

Een concept dat op verschillende criteria goed scoort, is niet erg gevoelig voor veranderingen in het gewicht dat aan de criteria wordt toegekend, en is daarmee kansrijk. De score is echter afhankelijk van de functies en de locatie. Een kering die de functie waterveiligheid combineert met natuur heeft een ander effect op de omgeving dan een kering die waterveiligheid combineert met windmolens of industriële bebouwing. Voor de stap van mogelijke naar kansrijke concepten zijn een toelichting en motivatie erg belangrijk. Daarom is het belangrijk om lokale stakeholders te betrekken in het proces.

Uit de analyse kwam naar voren dat het voor de Waddenkust vooral interessant is om de potentie te verkennen van:

- Traditionele dijk (nul-alternatief)
 - Rijke dijk
- Overslagbestendige dijk
- Robuust:
 - Deltadijk
 - Multifunctionele kering (met windmolens)
- Parallele kering
 - Extra dijk landwaarts
 - Voorlandkering
- Eco-engineering
 - Dijk met kwelder
 - Brede groene Dijk

Voor specifieke dijktrajecten zijn ook andere oplossingen mogelijk.

Voor alle dijktrajecten langs de Waddenkust is nagegaan welke dijkconcepten het meest kansrijk zijn (zie de overzichtskaarten in de bijlage). Er is daarbij vooral rekeningen gehouden met de abiotische en ruimtelijke kenmerken. Voor nader inzicht in de 'effecten en kansen voor functies en waarden' is locatie-specifiek onderzoek nodig, onder meer naar het daadwerkelijk ruimtebeslag van het innovatieve dijkconcept en naar de opgaven en wensen voor het gebied.



4 Innovatieve dijken en faalmechanismen

Faalmechanismen

Alle dijken in het Waddengebied moeten voldoen aan de wettelijke veiligheidsnormen. Dit geldt voor zowel traditionele dijken als voor innovatieve dijken. Het betekent dat Innovatieve dijken zo moeten worden ontworpen (qua hoogte, breedte of bekleding) dat ze voldoen aan alle criteria en bestand zijn tegen falen.

Dijken kunnen falen of bezwijken door de volgende mechanismen:

- Zetting
- Overloop
- Golfoverslag
- Piping
- Macro-instabiliteit (buitenwaarts en binnenwaarts)
- Micro-instabiliteit
- Falen sterkte/stabiliteit bekledingen
- Afschuiving voorland
- Zettingsvloeiing

Voor het vergelijken van traditionele en innovatieve dijkconcepten zijn met name de kruinhoogte en het ruimtebeslag van belang. Vooral de faalmechanismen golfoverslag, piping en macrostabiliteit zijn bepalend voor de benodigde kruinhoogte en ruimtebeslag. Daarom worden deze mechanismen hier kort toegelicht.

Golfoverslag

Golfoverslag is het verschijnsel dat er water over de kruin van de dijk het achterland inloopt door het opzweepen van water door wind- of scheepsgolven (maar waarbij de waterstand lager is dan de kruin). De toegestane hoeveelheid golfoverslag is afhankelijk van de erosiebestendigheid van de bekleding op de kruin en op het binnentalud. Voor een grasbekleding wordt 1 liter/seconde per strekkende meter dijk als criterium voor het toelaatbare gemiddelde overslagdebiet aangehouden.

Piping (of zandmeevoerende wellen)

Als gevolg van een waterstandsverschil tussen de buitenzijde en de binnenzijde van de dijk is het mogelijk dat er in watervoerende lagen onder de dijk doorgaande kanaaltjes ontstaan. Via deze kanaaltjes kunnen gronddeeltjes vanuit de dijk met het kwelwater worden meegevoerd. Dit kan de kerende hoogte of de stabiliteit van de dijk aantasten, en zelfs tot het volledig bezwijken van de dijk leiden. Dit faalmechanisme wordt 'piping' of 'zandmeevoerende wellen' genoemd. De eerste aanwijzingen voor piping zijn het ontstaan van wellen bij de teen aan de binnenkant van de dijk. Er komt dan kwelwater aan de binnenkant van de dijk omhoog.

Macro-instabiliteit

De waterkerende functie van een dijk hangt samen met de stabiliteit van een dijk. De dijk moet belastingen als hoogwaterstanden en golven weerstaan zonder te vervormen. De weerstand tegen vervorming van de dijk wordt bepaald door de geometrie, de grondeigenschappen (zoals samenhang en doorlatendheid) en het gewicht van de dijk. Daarbij zijn ook de grondwaterstanden en grondwaterspanningen in en onder de dijk van belang. Als de sterkte van en/of de belasting tegen de dijk verandert kan dat leiden tot het afschuiven van een deel van de dijk.

Op dit moment voldoet de bekleding van diverse dijktrajecten langs de Waddenkust niet aan de eisen. Veel steenbekleding is verouderd of te licht en is niet bestand tegen de golfbelasting tijdens extreme omstandigheden. Ook is op sommige trajecten de steenbekleding niet hoog genoeg, en de gras- en kleibekleding op het boventalud niet voldoende erosiebestendig. Het verschuiven of losraken van bekleding kan tot erosie van het buitentalud zorgen. Voor 2015 moet de bekleding zijn aangepast. Normaliter wordt de bestaande steenbekleding vervangen door zwaardere of andere type stenen, overgoten met asfalt of vervangen door asfalt.

Innovatieve dijken en faalmechanismen

Zeedijk met technische innovatieve elementen

Soms worden technisch innovatieve elementen toegepast om de 'performance' van een dijk op een bepaald faalmechanisme te verbeteren. Zo is in het kader van het Water-Innovatie (WINN) project INSIDE (INnovations on Stability Improvements enabling Dike Elevations) gezocht naar innovatieve oplossingen om de macrostabiliteit te verbeteren. Er is daarbij gekeken naar technieken als Mixed-In-Place, Dijkdeuvels en Dijkvernageling. Een hogere macrostabiliteit kan de noodzaak voor grondbermen beperken, en daarmee het ruimtebeslag van de dijk verminderen.

Rijke dijk

In principe kan de waterdichtheid van een dijk door de ontwikkeling van habitats op het dijktalud (door het

toepassen van natuurvriendelijke elementen) toenemen. Hierdoor zal de freatische lijn in de dijk minder stijgen, wat gunstig is voor de macro-stabiliteit van het binnentalud. Het toepassen van natuurvriendelijke elementen kan ook tot aangroei van sediment in het voorland of de onderwateroever leiden, waardoor deze meer waterdicht worden. Zo'n waterdichte vooroever vermindert de stijghoogte in het watervoerende pakket onder en achter de dijk bij opdrijven, en is daarmee gunstig voor de macro-stabiliteit van het binnentalud.

Overslagbestendige dijk

Als de dijk door het toepassen van erosiebestendig materiaal op de kruin en binnentalud (wat resulteert in een hoger toelaatbaar overslagdebiet) niet hoeft te worden verhoogd, dan is dit gunstig voor de macro-stabiliteit van het binnentalud. Hierbij moet wel worden opgemerkt, dat de zoneringsmethode voor glijvlakken, die is gebaseerd op een gering overslagdebiet, niet kan worden toegepast.



Deltadijk

Door de bredere bermen is de kans op piping en macrostabiliteit voor een deltdijk aanmerkelijk kleiner dan voor een traditionele dijk. Piping is maatgevend voor het ontwerp van de deltdijk.

Multifunctionele dijk

Dit is een deltdijk met een verbrede kruin. Door de overdimensionering zijn andere functies mogelijk. De overdimensionering resulteert in een betere macrostabiliteit binnenwaarts vanwege het bredere restprofiel na een afschuiving.

Parallele dijken

Hierbij leveren beide dijken een bijdrage aan de veiligheid tegen overstroming. Bij een extra kering landwaarts kan voor de zeewaartse kering een hogere overslag worden

toegestaan. Welke gevolgen dit heeft voor de belastingen op de landwaartse dijk en voor de veiligheidseisen aan de landwaartse kering moet nog nader worden uitgewerkt. Bij een extra zeewaartse kering (zoals een dam voor de dijk) wordt de golfaanval, en daarmee de golfoploop en golfoverslag op de landwaartse dijk gereduceerd. Dit kan resulteren in een lagere vereiste kruinhoogte en mogelijk in een smallere stabiliteitberm.

Hybride keringen en Eco-engineering

Door de golfreducerende werking van de vooroever kan met een lagere kruinhoogte worden volstaan. Dit is gunstig voor de macrostabiliteit. Daarnaast kan een brede en ondoorlaatbare vooroever (zoals bij de oeverdijk, de dijk met kwelder, de dijk met kwelderwal en de brede groene dijk) resulteren in een langere kwelweglengte (en verplaatst het intreepunt voor piping buitenwaarts).





5 Doelbereik waterveiligheid

Kerende hoogte

Om de effectiviteit van innovatieve dijken voor waterveiligheid in beeld te brengen, is in de studie 'Doelbereik innovatieve dijkconcepten DP Wadden' (Calderon en Smale, 2013) voor alle innovatieve dijkconcepten met het model Hydra-K¹ nagegaan in hoeverre de kruinhoogte moet worden aangepast om aan de veiligheidsopgave in een veranderend klimaat te voldoen. Dit wordt doelbereik genoemd. Daarbij is er vanuit gegaan dat de kruinhoogte van elk dijkconcept in het referentiejaar (2017) aan de geldende norm voldoet. De toekomstige veiligheidsopgave wordt onder meer bepaald door veranderingen in de zeespiegel en in de windomstandigheden door klimaatverandering en door autonome veranderingen in het gebied (zoals bodemdaling). Overigens kunnen ook veranderingen in normen of gehanteerde hydraulische randvoorwaarden tot een nieuwe veiligheidsopgave leiden, maar voor het berekenen van het doelbereik is uitgegaan van de huidige veiligheidsnormen en hydraulische randvoorwaarden (WTI2011). Uitzondering daarop zijn de deltdijk en de multifunctionele dijk, waarbij is uitgegaan van een tien maal strengere veiligheidsnorm.

Er is gekeken naar de benodigde dijkverhoging (op basis van overslag) voor twee zichtjaren (2050 en 2100) en twee

klimaatscenario's (matige en snelle klimaatverandering) voor de innovatieve concepten. In tabel 1 zijn de doorgerekende scenario's (ten opzichte van 1990) weergegeven. Zeespiegelstijging vraagt om het aanpassen van de kruinhoogte en/of het aanpassen van de bekleding of het profiel van de dijk. Klimaatverandering beïnvloedt ook het windklimaat en zorgt voor hogere golven en meer golfoverslag bij stormomstandigheden als de wadbodem niet in staat is om via sedimentatie de zeespiegelstijging bij te houden.

Met het probabilistische model Hydra-K is de kans op overbelasting van waterkeringen door golfoverslag berekend via een vertaling van offshore windsnelheid en waterstand naar waterstand, golfhoogte, golfperiode en golfrichting nabij de teen van de dijk. Ook zijn met dit model ontwerpberekeningen uitgevoerd om na te gaan of verandering in ruwheid van het buitentalud of de aanwezigheid (of een verandering in karakteristieken) van voorland een alternatief vormt voor kruinverhoging.

Binnen het Deltaprogramma Waddengebied is bijzondere aandacht voor de rol van kwelders voor waterveiligheid. Kweldervoorlanden kunnen namelijk golven dempen en daarmee de golfaanval op de dijk verminderen, zodat de dijk minder hoeft te worden verhoogd en ook de golfbelasting op de bekleding kleiner zal zijn. Daarnaast vertegenwoordigen kwelders een belangrijke natuurwaarde. Langs grote trajecten van de Waddenkust komen semi-natuurlijke kwelders voor. Daarom is gekeken naar het effect van kwelders op de benodigde kruinhoogte van alle dijkconcepten (zie hoofdstuk 6).

¹ Hydra-K is een model waarmee de waterkeringen langs de kust probabilistisch kunnen worden getoetst op de faalmechanismen golfploop, golfoverslag en instabiliteit van de bekleding. Ook kunnen met dit model combinaties van golfcondities en waterstanden worden gegenereerd om de hydraulische randvoorwaarden voor harde keringen te bepalen.

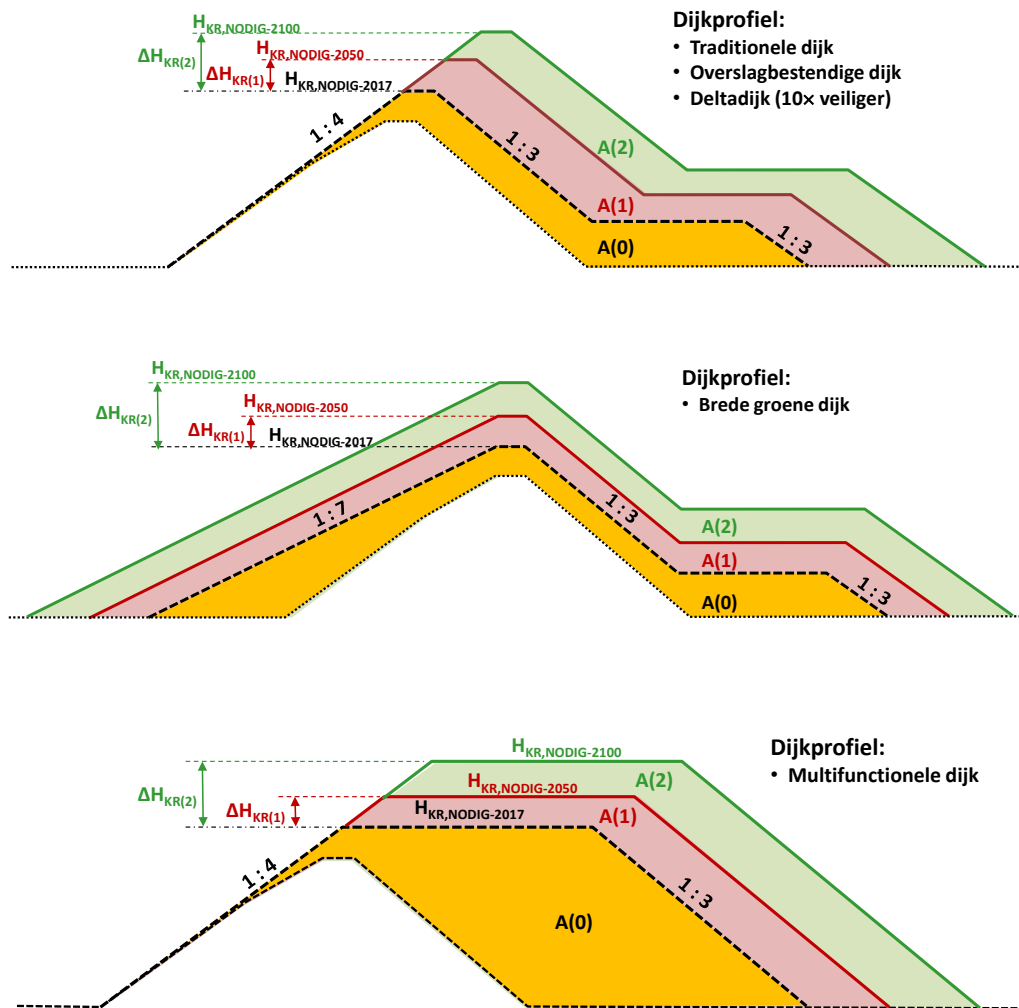
Tabel 1 De scenario's die voor de berekening van het doelbereik innovatieve dijken zijn gebruikt.

Zichtjaar	Klimaatverandering	Zeespiegelstijging (m) t.o.v. 1990
2050	Matig	0,15
	Snel	0,35
2100	Matig	0,35
	Snel	0,85

In figuur 1 is voor de verschillende dijkconcepten schematisch aangegeven welke kruinverhogingen ($H_{KR,NODIG}$) nodig zijn om bij de verschillende klimaatscenario's aan de vereiste kruinhoogte te voldoen (daarbij is er vanuit gegaan dat de dijk in 2017 aan de norm voldoet = $A(0)$). Deze schematische profielen zijn ook gebruikt voor het bepalen van de hoeveelheid zand (en kosten) (zie tabel 2).

Het huidige dijkprofiel ($A(\text{huidig})$ in figuur 1) is een representatief dwarsprofiel, dat is bepaald op basis van de gemiddelde geometrie van de bestaande dijken langs de vastelandskust. Daarbij is de situatie zonder en met

de zeezijde. Er is aangenomen dat de traditionele dijk, overslagbestendige dijk, deltadijk en multifunctionele dijk een buitentalud hebben van 1 : 4 met een ruwheidscoëfficiënt van 1,0 (representatief voor een asfalt- of grasbekleding) en dat een overslagcriterium van 1 l/s per strekkende meter geldt. Voor een overslagbestendige dijk wordt uitgegaan van een maximaal toelaatbaar overslagdebiet van 100 l/s per meter. Voor de brede groene dijk is uitgegaan van een buitentalud van 1 : 7 met een grasbekleding en van een overslagdebiet van 1 l/s per meter. Bij de bepaling van de minimaal vereiste kruinhoogte is geen rekening gehouden met extra overhoogte voor bodemdaling, zetting en klink.



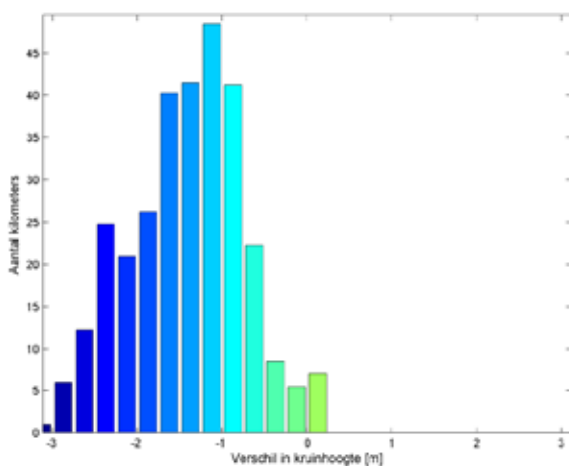
Figuur 1 Schematiseerde dijkprofielen die voor de modelmatige analyse zijn gebruikt.

Tabel 2 Rekenparameters die zijn gebruikt bij het bepalen van de hoeveelheden zand.

Jaar	Kruinhoogte	Relatieve kruinverhoging (m)	Opp. in dwarsprofiel (m ²)	Opp. tov A(huidig)
Nu	8,5 m +NAP		A(huidig)	0
2017	Ho (referentie-hoogte)	0	A(0)	A(0)
2050	Hkr(1)	$\Delta H_{kp(1)}$	A(1)	A(0) + A(1)
2100	Hkr(2)	$\Delta H_{kp(2)}$	A(2)	A(0) + A(1) + A(2)

Met deze dijkprofielen is voor het hele dijktraject langs de Waddenkust de kruinverhoging (ten opzichte van een dijk die in 2017 aan de norm voldoet) in beeld gebracht die nodig is om het Waddengebied te beschermen tegen de effecten van klimaatverandering. Er is daarbij geen rekening gehouden met het eventuele tekort of overschot in kruinhoogte ten opzichte van de huidige dijk. Figuur 2 laat de benodigde kruinverhoging zien voor Overslagbestendige dijken voor het matige klimaatscenario in 2050. In Calderon en Smale (2013) wordt de benodigde kruinverhoging voor alle innovatieve dijkconcepten voor de verschillende zichtjaren en klimaatscenario's in dergelijke histogrammen gepresenteerd.

Uit figuur 2 komt naar voren dat als de dijken in het Waddengebied overslagbestendig worden gemaakt, er maar ongeveer 7 km van alle dijken niet voldoet aan de norm (er vanuitgaande dat ze in 2017 voldoen aan de norm). Voor het overgrote deel van de dijken is er overhoogte (een negatief verschil in kruinhoogte). Deze analyse is gebaseerd



Figuur 2 Histogram van de benodigde kruinhoogte in zichtjaar 2050 (matige klimaatverandering) voor Overslagbestendige dijken t.o.v. een Traditionele dijk die in 2017 aan de norm voldoet (bron: Calderon en Smale, 2013).

op geschematiseerde dijkprofielen. Daarom zijn aanvullende lokatiespecifieke hoogte-, piping en stabiliteitberekeningen nodig om de benodigde kruinverhoging en het ruimtebeslag ten opzichte van het bestaande profiel te bepalen.

Het tekort of overschot aan kruinhoogte varieert omdat in het Waddengebied het effect van zeespiegelstijging niet overal hetzelfde is. Er is rekening gehouden met een bepaalde bodemhoogte (en daarmee met al aanwezige voorlanden) voor de dijk en het effect van een (denkbeeldige strook van 600 m brede) kwelders die de zeespiegelstijging kunnen bijhouden.

Uit de analyse komt naar voren het verschil in benodigde kruinhoogte (t.o.v. een dijk die in 2017 aan de norm voldoet) voor de overslagbestendige dijk (maximaal overslagdebiet 100 l/s per meter) het kleinst is. Ook voor de brede groene dijk, het concept met een verflauwd buitentalud, is het verschil klein.

Uit de modelberekeningen komt ook naar voren dat op veel plaatsen langs de Waddenkust een denkbeeldige 600 m brede strook van met de zeespiegelstijging meegroeiende kwelders, ervoor zorgt dat de dijk minder hoeft te worden verhoogd (t.o.v. een dijk die in 2017 aan de norm voldoet). Kwelderontwikkeling heeft vooral effect op die plaatsen waar nu geen kwelders zijn.

Voor een combinatie van een deltdijk en kwelders blijkt effectief. Bij deze combinatie voldoet de kruinhoogte van het overgrote deel van de dijken zelfs bij snelle zeespiegelstijging in 2100 aan de norm (t.o.v. een dijk die in 2017 aan de norm voldoet).

In vergelijking met een traditionele dijkversterking is het effect van kwelders minder groot bij een overslagbestendige dijk en de dijk met voorlandkering. Dit komt omdat deze dijken net als kwelders vooral het effect van golfaanval beperken. Ook het verhogen van de ruwheid van het buitentalud heeft weinig effect. Een laag lijnelement (zoals een lage stenen dam voor de dijk) in combinatie met een kwelder heeft een vergelijkbaar effect als een traditionele dijk

met een kwelder. Het aanbrengen van zand voor de dijk en kwelders is niet onderzocht, omdat deze combinatie niet voor de hand ligt (kwelders worden immers gekenmerkt door slib).

Uit de ontwerpberekeningen blijkt dat het overslagbestendig maken van de dijken (onder aanname dat die in 2017 aan de normhoogte voldoen) een realistische maatregel vormt voor de zichtjaren 2050 en 2100 bij matige klimaatverandering en voor 2050 bij snelle klimaatverandering. Bijna overal is er in deze scenario's sprake van minder dan 50-100 l/s per meter overslag. Bij snelle klimaatverandering kan er echter in 2100 sprake zijn van 100 l/s per meter en dan zijn mogelijk aanvullende maatregelen nodig. Ook blijkt dat voor zichtjaar 2050 voor veel dijktrajecten een voorlandkering met een hoogte van 3 m +NAP volstaat (als de dijk in 2017 aan de norm voldoet). Bij snelle klimaatverandering is in 2100 echter een voorlandkering nodig van meer dan 3 m +NAP (tot wel 6 m +NAP). Dit heeft veel impact op de ruimtelijke kwaliteit.

Aanvullend is op basis van de benodigde kruinverhoging berekend hoeveel zand en ruimte nodig is om de innovatieve dijkconcepten te realiseren. Voor meer dan de helft van de traditionele dijken langs de Waddenkust is bij snelle zeespiegelstijging in 2100 minstens 170 m³/m nodig. Voor de stabiliteit en/of piping is bijna overal een berm aan de binnendijkse kant van de traditionele dijk nodig van 45 tot 50 m. Bij de uitwerking is piping maatgevend gesteld en de benodigde kwelweglengten zijn bepaald op grond van conservatieve vuistregels. Om per locatie de benodigde kwelweglengten en bermbreedtes te bepalen zijn aanvullende locatie specifieke berekeningen nodig.

Sterkte/stabiliteit

Uit de laatste veiligheidstoetsing (evenals uit het project Veiligheid van Nederland in Kaart, VNK) kwam naar voren dat vooral de dijkbekleding over grote dijktrajecten in het Waddengebied niet meer voldoet aan de veiligheidsnorm. In de studie 'Doelbereik innovatieve dijkconcepten DP Wadden' (Calderon en Smale, 2013) is in beeld gebracht in hoeverre de kruinhoogte moet worden aangepast om aan de veiligheidsopgave in een veranderend klimaat te voldoen. Tabel 3 geeft op basis van expert judgement een indruk van de 'performance' van innovatieve dijken op de relevante landwaartse faalmechanismen (zoals overloop/overslag, macrostabiliteit binnentalud, piping). De traditionele zeedijk vormt de referentie voor de kwalitatieve score (van - tot ++).

Overslagbestendige dijk

Voor een overslagbestendige dijk (maximaal overslagdebiet 100 l/s per meter) is in de toekomst de minste verhoging nodig. Dit is gunstig voor de macrostabiliteit van het binnentalud. Bovendien is er dan een kleinere stabiliteitsberm nodig. De kruin en het binnentalud worden voor dit concept overslagbestendig gemaakt. Dit is gunstig voor het faalmechanisme overloop/overslag.

Deltadijk

Een brede binnenberm is gunstig voor de faalmechanismen overloop/overslag en macro-stabiliteit van het binnentalud. Hetzelfde geldt voor het faalmechanisme piping. Bij het ontwerp van dit dijkconcept wordt met deze faalmechanismen al rekening gehouden.

Multifunctionele dijk

Het toestaan van andere functie vraagt om een zekere overdimensionering (ten opzichte van een deltdiijk). Dit is gunstig voor de faalmechanismen overloop/overslag en macro-stabiliteit van het binnentalud en piping. Niet-waterkerende objecten mogen echter geen negatieve effecten op de waterkerende functie hebben.

Parallele dijk: extra dijk landinwaarts

Uitgangspunt is dat de extra dijk landinwaarts de primaire kering vormt. Vaak is tussen de twee dijken een afsluitend grondpakket aanwezig. Als deze laag voldoende dik en ondoorlatend is, en er geen verstoringen zijn (zoals gaten, strangen en sloten), werkt dit remmend op de grondwaterstroming. Dit effect treedt al op bij breedtes > 100 m. Belangrijk is dat de 'ondoorlatende laag' tijdens maatgevende (storm) omstandigheden aanwezig is en blijft. De verminderde grondwaterstroming in het watervoerend pakket is gunstig voor faalmechanismen als piping en macro-instabiliteit van het binnentalud bij opdrijven. Als opdrijven niet speelt, is er geen positief effect voor macro-stabiliteit van het binnentalud.

Parallele dijk: extra dijk zeewaarts

Uitgangspunt is dat de landwaartse dijk de primaire kering vormt. Als de extra zeewaartse dijk er niet alleen voor zorgt dat de golven worden gedempt, maar dat op de vooroever voor de primaire kering ook sediment wordt invangen en vastgelegd (opslibbing) is dit gunstig voor piping en macrostabiliteit van het binnentalud. Opslibbing heeft echter tijd nodig, zodat dit effect pas na verloop van tijd optreedt.

Tabel 3 Kwalitatieve beoordeling van innovatieve dijken op relevante faalmechanismen die betrekking hebben op landwaartse kant van de dijk.

Dijkconcept	Score per faalmechanisme		
	Macrostabiliteit binnentalud	Piping	Overloop /overslag
Traditionele dijk ¹⁾	0	0	0
Overslagbestendige dijk	0	0	+
Delta dijk	+	++	+
Multifunctionele dijk	++	++	++
Parallele dijk: extra dijk landinwaarts	0/+	+	+
Parallele dijk: extra dijk zeewaarts	0 (0/+ ²⁾	0 (+ ²⁾	+
Dijk met kwelder	0/+	++	+
Brede groene dijk (talud 1:7)	0/+	++	+

¹⁾ De traditionele zeedijk is bij het geven van de scores als referentie aangehouden
²⁾ Als niet alleen de golven worden gedempt, maar ook sediment wordt invangen (opslibbing) en vastgelegd voor de primaire kering
Score -: Dit dijkconcept heeft een negatief effect op het faalmechanisme
Score 0: Dit dijkconcept heeft nauwelijks of geen effect op het faalmechanisme
Score ++ of +: Dit dijkconcept heeft een (zeer) positief effect op het faalmechanisme

Dijk met kwelder

Opslibbing van fijn materiaal in het kweldervoorland resulteert in een ondoorlatende laag voor de dijk. Dit heeft een remmende werking op de grondwaterstroming. Dit effect treedt al op bij breedtes > 100 m. Belangrijk is dat de 'ondoorlatende laag' niet wordt verstoord door gaten, kleiwinputten en strangen en sloten en de laag tijdens maatgevende (storm) omstandigheden aanwezig is en blijft. De remmende werking op de grondwaterstroming is gunstig voor faalmechanismen als piping en macro-instabiliteit bij opdrijven. Als opdrijven niet speelt is er geen positief effect voor macro-stabiliteit van het binnentalud.

Concluderend: de meeste innovatieve dijkconcepten zijn ook gunstig voor faalmechanismen die betrekking hebben op de landwaartse kant van de dijk.

Om per dijktraject meer inzicht te krijgen in de kwantitatieve effecten van innovatieve dijken is het nodig om met de Dijksterkte-Analyse-Module (DAM) een locatiespecifieke analyse uit te voeren (met realistische dwarsprofielen). Dit is ook nodig voor een schatting van de extra kosten of besparingen per dijktraject door toepassing van innovatieve dijken.

Deltaprogramma Waddengebied studies

Calderon, A. en A.J. Smale. *Deltares (2013)*. Doelbereik innovatieve dijkconcepten DP Wadden (Deltares rapport).

Deltares (2012). Klimaatscenario's, autonome ontwikkelingen en menselijke ingrepen in het Waddengebied (Deltares rapport).

Deltares (2012). Rekenen met Zeespiegelstijging met Hydra-K voor de Waddenzee (Deltares rapport).

Hoonhout, B. (2012). Rekenen met toekomstige veranderingen in de Waddenzee in Hydra-K (Deltares rapport).

Hoonhout, B. (2012). Voorstel rekenscenario's ten behoeve van verkenning toekomstige veiligheidsopgave (Deltares rapport).

Smale, A.J. (2012). Kwelders en waterveiligheid (Deltares rapport).

Smale, A.J. en B. Hoonhout (2012). Toekomstige Veiligheidsopgave voor harde keringen in het Waddengebied (Deltares rapport).



6 Rol Kwelders

Binnen het Deltaprogramma Waddengebied is er bijzondere aandacht voor de rol van kwelders voor waterveiligheid (studie 'Een dijk van een kwelder'). Kweldervoorlanden kunnen, afhankelijk van de hoogte, breedte en de ruwheid, de golfhoogte reduceren en hierdoor verminderen kwelders de golfaanval op de dijk. Daarnaast vertegenwoordigen kwelders een belangrijke natuurwaarde. Langs grote trajecten van de Waddenkust komen semi-natuurlijke kwelders voor. Figuur 3 laat zien welke dijktrajecten in de 'Zoekkaart Kwelders en Waterveiligheid Waddengebied' (van Loon-Steensma et al, 2012b) als mogelijk interessant zijn aangemerkt voor het toepassen van kwelders in de waterveiligheidsstrategie op basis van de fysische randvoorwaarden en ecologische omstandigheden.

Er is gekeken naar het effect van kwelders op de benodigde kruinhoogte van alle dijkconcepten. De resultaten zijn beschreven in het rapport 'Doelbereik innovatieve dijkconcepten DP Waddengebied' (Smale en Calderon, 2013). In eerste instantie is gekeken naar het effect op

de benodigde kruinhoogte van kwelders van 600 m breed voor de situatie dat de kwelders door sedimentatie de zeespiegelstijging kunnen bijhouden en voor de situatie dat de kwelders sneller ophogen dan de zeespiegelstijging (zoals in de huidige situatie). Daarnaast is voor de verschillende klimaatscenario's gekeken naar het effect van verschillende breedtes (200, 400, 600, 800, 1000 en 2000 m) voor de situatie dat de kwelders door sedimentatie de zeespiegel kunnen bijhouden of sneller groeien (Smale, 2014).

Uit de modelberekeningen komt naar voren dat op veel plaatsen langs de Waddenkust een denkbeeldige strook van met de zeespiegelstijging meegroeiende kwelders ervoor zorgt dat de kruin van een traditionele dijk minder hoeft te worden verhoogd. Bij zo'n meegroeiende kwelder blijft de waterdiepte voor de dijk gelijk. Als overall voor de Waddenkust kwelders van 600 m breed zouden zijn (wat niet zo is) die met de zeespiegel meegroeien, dan geldt bij het matige klimaatscenario in 2050 dat zo'n 50 km dijk niet



Figuur 3 Mogelijke toepassing kwelders in de waterveiligheidsstrategie op basis van abiotische randvoorwaarden en natuurwaarden (bron: Van Loon-Steensma et al., 2012).

Tabel 4 Overzicht van de toegepaste kwelderafmetingen per klimaatscenario.

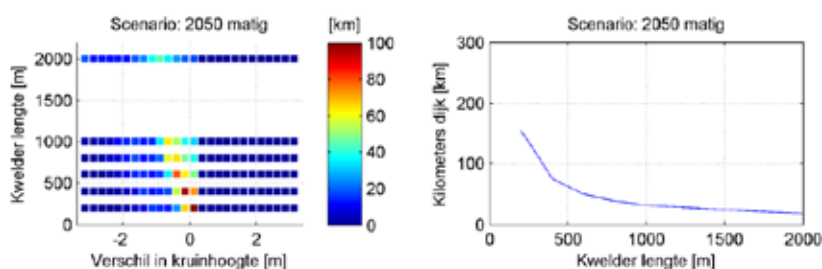
Zichtjaar	Scenario	Kwelder houdt zeespiegel bij		Kwelder groeit sneller dan zeespiegelstijging	
		Hoogte zeewaarts (m +NAP)	Hoogte landwaarts (m +NAP)	Hoogte zeewaarts (m +NAP)	Hoogte landwaarts (m +NAP)
Referentie	-	1,0	1,6	1,0	1,6
2050	Matig	1,15	1,75	1,4	2,0
	Snel	1,35	1,95	1,4	2,0
2100	Matig	1,35	1,95	1,9	2,5
	Snel	1,85	2,45	1,9	2,5

voldoet (onder aanname dat de dijken in 2017 voldoen aan de norm, (zie figuur 4). Daarbij is geen rekening gehouden met de mogelijk aanwezige overhoogte van de bestaande dijken. De breedte van de kwelder is belangrijk voor golfdemping. Een brede kwelder zorgt voor meer golfdemping dan een smalle kwelder (zie figuur 4).

Ook een smalle kwelder kan al tot relatief grote reductie in golfhoogte leiden. Vooral in de eerste meters worden de golven gebroken (dit leidt tot de grootste reductie in golfhoogte), daarna is vooral bodemwrijving belangrijk voor de golfdemping. Bij het matige klimaatscenario in 2050 wordt de golfhoogte vanaf 1000 m niet meer significant beïnvloed door extra breedte.

Golfdemping is sterk afhankelijk van de waterdiepte. Een hoge kwelder zorgt daarom voor meer golfdemping dan een lage kwelder en daarmee voor een kleinere versterkingsopgave. Door het effect op de waterdiepte (en daarmee op de golfhoogte) is de snelheid van opslibbing belangrijk. Als de kwelder sneller groeit dan de zeespiegel stijgt, is er meer golfdemping, en daardoor minder kruinhoogtetekort. Als overal voor de Waddenkust kwelders van 600 m breed zouden zijn (wat niet zo is) die sneller groeien dan de zeespiegel stijgt, dan geldt bij het matige klimaatscenario in 2100 dat zo'n 120 km traditionele dijk niet voldoet (ten opzichte van de dijk die in 2017 aan de norm voldoet).

Bij het hoge klimaatscenario in 2050 doet de kwelderbreedte boven de 1000 m er ook toe. Maar zelfs als er



Figuur 4 Effect van de kwelderlengte (= kwelderbreedte) op de kruinhoogte (links) en op het aantal kilometers dijk waarvan in 2050 de kruin moet worden verhoogd (rechts) bij het matige klimaatscenario (ten opzichte van de dijk die in 2017 aan de norm voldoet) (bron: Smale, 2014).

voor de hele Waddenkust een 1000 m brede kwelder voor de dijk aanwezig zou zijn, geldt bij het hoge klimaatscenario in 2050 dat de kruinhoogte van zo'n 60 km dijk niet voldoet. Op die plaatsen waar de toekomstige veiligheidsopgave minder door golfaanval wordt bepaald (zoals op trajecten die in de luwte liggen) hebben kwelders minder effect. Kwelderontwikkeling heeft vooral effect op die plaatsen waar nu geen kwelders zijn. In werkelijkheid is niet overal langs de Waddenkust kwelderontwikkeling mogelijk (zie figuur 3), omdat dit van een groot aantal variabelen afhangt, waaronder stromingscondities en sedimentaanbod. Op veel plaatsen waar in de huidige situatie geen kwelders liggen, zijn de fysische omstandigheden minder gunstig voor kwelderontwikkeling (en is kwelderontwikkeling moeilijk en duur). Maar er zijn ook locaties waar kwelderontwikkeling wel mogelijk is. Daarom is locatie-specifiek onderzoek belangrijk.

Deltaprogramma Waddengebied studies

- de Groot, A.V., B.K. van Wesenbeeck en J.M. van Loon-Steensma (2012). Stuurbaarheid van kwelders (IMARES rapport).
- Smale, A.J. (2014) Invloed kwelderbreedte op veiligheidsopgave (Deltares memo).
- van Loon-Steensma, J.M., P.A. Slim, J. Vroom, J. Stapel en A.P. Oost (2012). Een Dijk van een Kwelder; Een verkenning naar de golfreducerende werking van kwelders (Alterra rapport 2267).
- van Loon-Steensma, J.M., A.V. de Groot, W.E. van Duin, B.K. van Wesenbeeck en A.J. Smale (2012). Verkenning bijdrage kwelders aan waterveiligheid in het Waddengebied; Een verkenning naar locaties in het Waddengebied waar bestaande kwelders en kwelderontwikkeling mogelijk kunnen bijdragen aan waterveiligheid (Alterra rapport 2391).
- Venema, J.E., H.A. Schelfhout, E. Moerman, L.A. Van Duren (2012). Kwelders en dijkveiligheid in het Waddengebied (Deltares rapport).



7 Kosten

De kosten van innovatieve dijken zijn vergeleken met de kosten van een traditionele dijkversterking op basis van de hoeveelheden zand en klei die nodig zijn voor de vereiste kruinhoogte (ten opzichte van een dijk die in 2017 aan de norm voldoet). De berekeningen zijn met het programma KOSWAT uitgevoerd door het Expertise Centrum Kosten en Baten van het Deltaprogramma en beschreven in de ECK-factsheet 'Kostenschattning Innovatieve dijkconcepten Deelprogramma Waddengebied' (Gözüberk, 2014).

Voor de kostenberekeningen zijn veel aannames gedaan. Daarom zijn het indicatieve kosten die uitsluitend kunnen worden gebruikt voor het onderling vergelijken van kosten voor innovatieve dijkconcepten en traditionele dijkversterking. De kostenberekeningen zijn uitgevoerd voor de situatie met en zonder kwelder voor:

- Traditionele dijkversterking
- Overslagbestendige dijk
- Deltadijk
- Brede groene dijk
- Multifunctionele dijk

Voor de kostenberekeningen gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de kostenfuncties voor een traditionele dijk en de afbakening van de dijkvakken is gebruik gemaakt van het project Waterveiligheid 21^e eeuw (Rapport kosten van Maatregelen, Deltares).
- Er is uitgegaan van het handhaven van de huidige veiligheidsnormen: 1 : 4000 voor de Waddenzeedijken, langs de vastelandskust van Groningen en Friesland en 1 : 2000 voor de dijken op de Waddeneilanden.
- Alle kosten die tot 2100 moeten worden gemaakt zijn meegenomen.
- Het prijspeil van de kostenschattingen is 2013.
- Er is uitgegaan van generiek toepasbare maatregelen. Er is dus niet gekeken naar mogelijkheden voor maatwerk of voor het meekoppelen.
- De kostenberekeningen zijn gebaseerd op basis van de benodigde volumes extra zand en klei.
- Alleen de kosten van extra bekleding (op de kruin of binnentalud van de overslagbestendige dijk, of omdat de bekleding hoger moet worden aangelegd) zijn meegenomen. Dit is gedaan omdat er vanuit is gegaan dat alle bekleding in 2017 voldoet aan de norm

(de afgekeurde bekleding wordt al in HWBP meegenomen).

- De kosten van grondverwerving zijn meegenomen met behulp van het extra ruimtebeslag.
- De investeringskosten zijn inclusief grondkosten (€10/m²).
- De kosten voor beheer en onderhoud zijn meegenomen in de totale projectkosten over 50 jaar.
- Voor de berekening van de kosten van beheer en onderhoud is uitgegaan van een percentage van 0,1% over de investeringskosten en een rentevoet van 2,5 % bij een contante waarde.
- Voor de kosten van de overslagbestendige dijk is uitgegaan van het leveren en aanbrengen van steenbekleding. De hoeveelheden daarvan zijn bepaald door Deltares (Calderon en Smale, 2013).
- De volgende kostenposten zijn niet meegenomen in de kostenschattingen:
 - De kosten voor het verdiepen van de vaargeul en het aanpassen van havens en kades.
 - De kosten voor het beheer van de kwelders, van erosie-beschermende maatregelen en van het stimuleren van kwelderontwikkeling.
 - Markt-effecten.

De kostenberekeningen voor de innovatieve dijkconcepten zijn uitgevoerd met de eerder beschreven klimaatscenario's, zichtjaren en kwelderscenario's. Daarbij zijn de volgende processtappen uitgevoerd:

1. Selectie representatief dijkprofiel

Voor het huidige profiel van de dijken is één gemiddelde (fictieve) doorsnede voor het gehele Waddengebied bepaald op basis van door de waterschappen aangeleverde dwarsprofielen van de dijken langs de Waddenkust.

2. KOSWAT-berekeningen voor representatief dijkprofiel

Voor elk dijkconcept is gekeken naar het profiel van het binnentalud en het buitentalud. Dit bepaalt de hoeveelheid zand en klei die nodig is en het ruimtebeslag. Voor het berekenen van de volumes en het ruimtebeslag is per dijkconcept een functie opgesteld (kosten als functie van de extra benodigde kruinhoogte) waarmee de afmetingen van het binnentalud zijn bepaald. Met KOSWAT zijn indicatieve kosten berekend voor onderstaande dijkverhogingen en zeespiegelstijgingen:

- a. Zeespiegelstijgingen: 8, 28 en 78 cm ten opzichte van 2017.
- b. Dijkverhogingen: 0,25, 1,5 en 2,5 meter ten opzichte van een geschematiseerd profiel dat in 2017 aan de norm voldoet.

3. Aanpassen kostenfunctie

Met deze indicatieve kostenschattingen zijn nieuwe kostenfuncties bepaald als functie van benodigde kruinverhoging ten opzicht van 2017. Hiermee zijn de totale kosten voor het hele Waddengebied geschat voor de verschillende scenario's, met en zonder autonome kwelderontwikkeling.

4. Toepassing kostenfuncties per dijkconcept per klimaatscenario met en zonder kwelder

Als laatste stap zijn per locatie de nieuw afgeleide kostenfuncties toegepast per klimaatscenario (2050: matig en snel; 2100: matig en snel), met en zonder kwelder, gebruik makend van de berekende extra benodigde kruinhoogte per dijkconcept (zie figuur 1).

Voor het schatten van de kosten is voor elk scenario en elk dijkconcept, per dijkvak de gemiddelde benodigde kruinhoogte bepaald. De extra kruinhoogte is ingevuld in de aangepaste kostenfunctie van stap 3. Vervolgens zijn met de gemiddelde extra kruinhoogte en de aangepaste kostenfunctie die in stap 3 is bepaald, de totale kosten (uitgedrukt in miljoen €) berekend. In tabel 5 zijn de totale kosten van de (innovatieve) dijkconcepten voor beide zichtjaren, de verschillende klimaatscenario's, met en zonder kwelder, voor het Waddengebied weergegeven. In de laatste kolom van tabel 5 zijn de kosten van innovatieve dijkconcepten vergeleken met de kosten van traditionele dijkversterking en weergegeven als factor ten opzichte van een traditionele versterking.

Uit de globale kostenberekeningen komt naar voren dat:

- Innovatieve dijkconcepten in het algemeen duurder zijn dan traditionele dijkversterking. Vooral het overslagbestendig maken van dijken is kostbaar vanwege de aanvullende kosten voor het leveren en aanbrengen van steenbekleding. Ook de multifunctionele dijk is een factor 1.5 duurder dan een traditionele dijk.
- De totale kosten voor de deltadijk en de brede groene dijk zijn gemiddeld ca. 10% duurder dan een traditionele dijkversterking (door de kosten vanwege het extra ruimtebeslag en het extra benodigde zand en klei). Als er kansen zijn voor ruimtelijke ontwikkelingen die gekoppeld kunnen worden aan de dijkversterking zijn deze innovatieve dijkconcepten kansrijk.

- Als er kwelders voor de dijk zijn, is er minder kruinverhoging nodig door de golfremmende werking van de kwelders. De aanwezigheid van kwelders of de mogelijkheid om kwelders te creëren biedt een aanzienlijke kostenreductie voor dijkversterking. Vooral bij het matige klimaatscenario kan deze kostenreductie oplopen tot ruim 90%. Bij zichtjaar 2100 en snelle zeespiegelstijging is de kostenreductie door kwelders nog gemiddeld 20%. Er is niet gekeken naar de kosten voor het beheer van de kwelders, van erosie beschermende maatregelen of voor het stimuleren van kwelderontwikkeling.

N.B.

Voor de kostenberekeningen zijn veel aannames gedaan. Daarom zijn het indicatieve kosten die uitsluitend kunnen worden gebruikt voor een globale onderlinge vergelijking van kosten voor innovatieve dijkconcepten ten opzichte van traditionele dijkversterking. De werkelijke kosten van een dijkconcept op een bepaalde locatie kunnen sterk afwijken van de hier berekende getallen (die voor een algemeen geschematiseerd dijkprofiel gelden) omdat dan met de werkelijke aanwezige dijkprofielen, de specifieke berekende dijkdimensies en de lokale omstandigheden rekening wordt gehouden. Zo is bijvoorbeeld in de 'Nadere verkenning Groene Dollard Dijk' (van Loon-Steensma et al., 2014) berekend dat deze goedkoper is dan de traditionele Dijk omdat er geen steenbekleding nodig is. In deze kostenberekening is uitgegaan van werkelijk aanwezige profielen maar beheer en onderhoud en de kosten voor het aankopen van grond zijn niet meegenomen.

Deltaprogramma Waddengebied studies

Gözüberk, I. (2014). Kostenschattning Innovatieve dijkconcepten Deelprogramma Waddengebied (ECK-B rapport). van Loon-Steensma, J.M., H.A. Schelfhout, M.E.A. Broekmeyer, M.P.C.P. Paulissen, W-T. Oostenbrink, C. Smit, E-J. Cornelius en E. Jolink (2014). Nadere verkenning Groene Dollard Dijk; Een civieltechnische, juridische en maatschappelijke verkenning naar de haalbaarheid van een brede groene dijk (Alterra rapport 2522).

Tabel 5 Totale indicatieve kosten alle dijken langs de Waddenkust.

Dijkconcept	Zeespiegelstijging ten opzichte van 2017 (m)	Zichtjaar	Scenario	Kwelder	Totale kosten DP alle dijktrajecten (M€)	Factor ten opzichte van traditioneel
Traditionele dijk	0,08	2050	Matig	Geen	1.592	
	0,28		Snel		1.785	
	0,28	2100	Matig		1.785	
	0,78		Snel		2.328	
	0,08	2050	Matig	Wel	102	
	0,28		Snel		837	
	0,28	2100	Matig		837	
	0,78		Snel		1.695	
Overslag-bestendige dijk	0,08	2050	Matig	Geen	2.908	1.8
	0,28		Snel		3.148	1.8
	0,28	2100	Matig		3.148	1.8
	0,78		Snel		3.772	1.6
	0,08	2050	Matig	Wel	194	1.9
	0,28		Snel		1.509	1.8
	0,28	2100	Matig		1.509	1.8
	0,78		Snel		3.115	1.8
Deltadijk	0,08	2050	Matig	Geen	1.778	1.1
	0,28		Snel		1.887	1.1
	0,28	2100	Matig		1.887	1.1
	0,78		Snel		2.331	1.0
	0,08	2050	Matig	Wel	104	1.0
	0,28		Snel		880	1.1
	0,28	2100	Matig		880	1.1
	0,78		Snel		1.831	1.1
Brede groene dijk	0,08	2050	Matig	Geen	1.690	1.1
	0,28		Snel		1.810	1.0
	0,28	2100	Matig		1.810	1.0
	0,78		Snel		2.208	0.9
	0,08	2050	Matig	Wel	113	1.1
	0,28		Snel		904	1.1
	0,28	2100	Matig		904	1.1
	0,78		Snel		1.738	1.0
Multifunctionele dijk	0,08	2050	Matig	Geen	2.526	1.6
	0,28		Snel		2.768	1.6
	0,28	2100	Matig		2.768	1.6
	0,78		Snel		3.580	1.5
	0,08	2050	Matig	Wel	156	1.5
	0,28		Snel		1.277	1.5
	0,28	2100	Matig		1.277	1.5
	0,78		Snel		2.897	1.7

< 1.0
1-1,5
> 1.5



8 Baten Innovatieve Dijken

Om kansrijke innovatieve dijkconcepten tegen elkaar af te wegen moeten naast de kosten ook de baten in beeld worden gebracht en worden vergeleken met die van een traditionele dijkversterking. Baten (die ook negatief kunnen zijn) betreffen de waardering die aan de effecten van een dijkconcept kunnen worden toegekend. Daarbij is het van belang om ook te kijken naar effecten buiten de dijkzone. Voor het Waddengebied zijn vooral de effecten en baten van innovatieve dijken op natuur, landschap en recreatie/toerisme belangrijk.

In de studie 'Baten innovatieve dijkconcepten Waddengebied' (Van Loon-Steensma et al., 2014) is in nauwe samenwerking met deskundigen uit de kenniswereld en uit de Waddenregio een format voor een MKBA-tabel voor innovatieve dijken opgesteld (tabel 6).

In deze MKBA-tabel worden 1) de verschillende typen landgebruik benoemd die een fysieke verandering kunnen ondergaan bij een bepaald dijkconcept, 2) de elementen waarop mogelijke effecten kunnen optreden en 3) de optredende welvaartseffecten. Voor alle relevante innovatieve dijkconcepten zijn kwalitatief de generieke baten voor met name natuur en landschap (recreatie en toerisme) aangegeven (MBA's).

Algemeen

De meeste innovatieve dijkconcepten zullen tot tijdelijke of blijvende veranderingen in natuur en landschap leiden. Dit geldt echter ook voor een traditionele dijkaanpassing. Zelfs als er niets wordt gedaan, treden er door klimaatverandering en door natuurlijke processen als erosie of sedimentatie veranderingen op in het Waddengebied. Voor alle innovatieve dijkconcepten geldt dat de baten van de locatie afhangen.

In algemene zin geldt dat in het Waddengebied zeewaartse uitbreiding (versterking) meestal ten koste gaat van oppervlakte van Natura 2000 habitat, namelijk sublitoraal, wad en/of kwelder (zilte pioniersbegroeiingen (H1310), slijkgraslanden (H1320), schorren en zilte graslanden (H1330)). Naast areaalverlies kan dit negatieve effecten hebben op vogels (verstoring, verlies van foerageergebied, hoogwatervluchtplaats en/of broedgelegenheid, of predatie) en bodemdieren.

Landwaartse uitbreiding van de dijk kan ten koste gaan van woningen die dicht tegen de dijk staan of van

landbouwgebied of tot aantasting van binnendijks gelegen natuur leiden (vooral via verlies aan areaal).

Een met gras beklede dijk heeft over het algemeen geen bijzondere waarde vanuit floristisch oogpunt. De meeste dijken zijn ingezaaid met een grasmengsel dat is afgestemd op de eisen vanuit erosiebestendigheid. Ook het beheer van de dijkvegetatie (begrazing door schapen en/of maaien, distel- en mosbestrijding) is afgestemd op de waterkerende functie van de dijk. Op de stenen bekleding aan de dijkvoet worden soms bijzondere plantensoorten aangetroffen (wieren, korstmossen). Dit zijn echter wel rotskust-gemeenschappen, die van nature niet of nauwelijks in het Waddengebied voorkomen.

Traditionele dijkversterking

Een traditionele dijkversterking bestaat uit het hoger en breder maken van de bestaande dijk, met eventuele aanpassing van de bekleding (asfalt- of steenbekleding op het ondertalud aan de zeezijde van de dijk). Dit vormt een relatief kleine verandering in een grootschalig landschap, hierdoor is de impact van een traditionele dijkversterking op het landschap minimaal en past deze bij de cultuurhistorie van dit landschap. Ook de impact op natuur zal hierdoor marginaal zijn.

Landwaartse verbreding zal ten koste kunnen gaan van landbouwgrond, woningen die dicht tegen de dijk staan, of binnendijks natuurgebied. Bij landwaartse verbreding is er geen effect op het buitendijkse gebied (natuurgebied Waddenzee). Bij zeewaartse verbreding kan een strook kwelder, wad of vooroever (alle Natura 2000 gebied) verloren gaan. Dit kan in sommige gevallen ten koste gaan van broedgelegenheid, hoogwatervluchtplaats of foerageergebied van vogels.

Overslagbestendige dijk

De impact van een overslagbestendige dijk op het landschap is deels afhankelijk van de bekleding die wordt gebruikt voor de dijk. Een met gras beklede dijk zal weinig impact hebben op het huidige landschap, maar een bekleding van steen of asfalt leidt tot een grotere impact. Het effect is meestal locatie-specifiek. Als tegelijk ook zeewaartse verbreding nodig is, kan dit ten koste gaan van buitendijkse natuur. Het gebied achter een overslagbestendige dijk moet worden ingericht op de frequentie en hoeveelheid overslag die

Tabel 6 Format MKBA-tabel Innovatieve Dijken Waddengebied. In de studie 'Baten innovatieve dijkconcepten Waddengebied' (Van Loon-Steensma et al., 2014) is deze tabel voor de innovatieve dijkconcepten ingevuld.

Effecten	Fysieke effecten	Welvaartseffecten die optreden na realisatie van het innovatief dijkconcept (korte en lange termijn, kleine en grotere schaal)	
		Traditionele Versterking	Innovatief Concept
Kosten	Aanlegkosten		
	Beheer en onderhoud		
Veiligheid	Schade (materieel en immaterieel)		
Landschap	Beleving door bewoners/recreanten/toeristen vanaf landzijde		
	Beleving door recreanten/toeristen vanaf de top van de dijk		
	Beleving door recreanten/toeristen vanaf waterzijde		
Bewoning	Veranderingen rond woonmogelijkheden		
Natuur/Ecologie	Verandering in kwaliteit en kwantiteit aanwezige habitats		
	Verandering doelsoorten Natura 2000: - Vogels - Vegetatie - Vissen - Zeehonden		
	Verandering kwaliteit en kwantiteit bodemfauna		
Landbouw	Verlies aan oppervlakte landbouwgrond		
	Verandering type landbouw		
Water	Verandering in watergebruik		
	Verandering voor waterrecreatie		
	Visserij		
Overige grondgebruik	Verandering met betrekking tot infrastructuur		
	Waterwerken		
	Overig		

plaats kan vinden. Dit bepaalt de impact op bewoning, landbouw en natuur. Het opvangen en afvoeren van het overgeslagen water kan via afwateringssloten en gemalen plaatsvinden, waardoor de impact op het achterliggende gebied wordt verminderd. Overslag van zout water naar een achterliggend natuurgebied kan echter ook wenselijk zijn, en positieve effecten hebben op onder andere zilte vegetatie en vogels als het gebied wordt ingericht als permanent natte zilte natuur. In zo'n geval maakt de combinatie van de

overslagbestendige dijk met een parallelle dijk het mogelijk om het tussenliggende gebied te laten overstromen als dat voor de natuurfunctie of zilte landbouw gewenst wordt. Bij een extreme storm met een stormtop van zo'n 4 uur zal er bij een norm van 1 l/s per m maximaal 14.4 m³/m over de dijk slaan. Als de norm 100 l/s per m wordt, is dit maximaal 1440 m³/m dijk. Onder minder extreme omstandigheden is dit minder, en onder meer afhankelijk van de waterhoogte, windrichting, golfhoogte en oriëntatie van de dijk.

Robuust dijkconcept: Deltadijk

Een deltdijk heeft weinig visuele impact op het landschap. Het is een normale dijk, maar dan extra veilig en breed (meestal door een bredere binnenberm). Het is de vraag of eventuele huidige bebouwing aan/tegen de dijk behouden kan blijven. Landwaartse verbreding van de dijk kan ten kosten gaan van landbouwgrond. Zeewaartse verbreding heeft effect op de natuurwaarden in het Waddengebied, en gaat mogelijk ten koste van kwelders of wad, en daarmee van leefgebied van vogels en bodemdieren.

Robuuste dijkconcept: Multifunctionele dijk

Bij een multifunctionele dijk worden andere functies doelbewust geïntegreerd met waterveiligheid. Daarom heeft dit dijkconcept impact op het landschap. In stedelijk gebied liggen kansen om bebouwing en infrastructuur met veiligheid te combineren, waardoor extra baten worden gecreëerd. In het landelijk gebied ligt dit minder voor de hand, daar zijn combinaties met natuur, recreatie en (zilte) landbouw realistischer. Ook is combinatie met de functie energie mogelijk, bijvoorbeeld via het plaatsen van windmolens of zonnepanelen op de dijk. Windmolens hebben een grote impact op het open landschap, maar de productie van duurzame energie levert ook veel baten. Windmolens kunnen nadelig zijn voor vogels: ze kunnen broedvogels verstoren en vormen een risico tijdens vogeltrek en vogelbewegingen. Ook hier geldt dat zeewaartse versterking ten koste gaat van Natura 2000-habitats op de kwelder, het wad en/of de vooroever. Menselijke activiteit op de dijk kan vogels nadelig beïnvloeden door verstoring.

Parallele keringen

Een extra dijk landwaarts van de primaire kering betekent extra bescherming wanneer er tijdens extreme omstandigheden overslag van zeewater plaatsvindt. Ook kan een extra dijk een rol in de meerlaagseveiligheid vervullen. Als de extra dijk moet worden aangelegd heeft dit een grote impact op het landschap. Als er al een tweede dijk (slaperdijk) ligt - die meestal wel deels moet worden hersteld of aangepast - is de impact veel minder groot. Hiermee is dit concept vooral interessant als er al een tweede dijk aanwezig is. Er ontstaat in dit concept een tussendijks gebied, dat op allerlei manieren kan worden ingericht. De impact hangt mede af van de frequentie en de hoeveelheid van overslag van zoutwater. Dit concept biedt mogelijkheden om het tussengebied als zilt natuurgebied in te richten, met kansen voor recreatie of zilte landbouw. Bij het ontwerp is het belangrijk om rekening te houden met de mogelijke negatieve effecten van recreatie en landbouw op natuur (verstoring, te lage grondwaterstand, nutriëntenbe-

lasting). Een goede zonering kan helpen om eventuele knelpunten op te lossen. Een extreme uitwerking van dit concept is wanneer het tussengebied wordt ingericht als wisselpolder, waarbij er een directe (afsluitbare) verbinding met de zee wordt gecreëerd waardoor de polder onder invloed van het getij komt en kan opslibben. Dit kan tot hoge natuurbaten leiden (omdat bijvoorbeeld kwelderherstel optreedt in het ingepolderde gebied).

Een (lage) parallelle kering zeewaarts of een havendam kunnen de golven dempen en daarmee de golfaanval op de primaire kering verminderen. Ook oesterbanken kunnen deze functie vervullen. Zo'n bank of rif van oesters (of mosselen) voor de dijk kan niet alleen de golven dempen, maar ook sediment invangen en vastleggen en zo bijdragen aan de vorming van het kustfundament. Er zijn in de Zuidwestelijke Delta experimenten om de groei van deze zogenaamde biobouwers via korven op gewenste plaatsen voor de dijk te stimuleren.

Dijk met kwelder

De dijk met kwelder heeft een positieve impact op de beleving van het Waddenlandschap, en daarmee een positief effect op bewoning, recreatie en toerisme. Wel zal enige variatie langs de dijk wenselijk zijn. Omdat kwelders zich in het huidige buitendijkse gebied bevinden (dat deel uitmaakt van Natura 2000-Waddengebied), zal het meenemen van kwelders vrijwel altijd effect hebben op de natuur. De aard en de grootte van het effect is echter wel sterk locatie-afhankelijk, en afhankelijk van de uitvoeringswijze.

Voor bestaande kwelders blijven de natuurwaarden in principe gelijk, maar eisen vanuit waterveiligheid kunnen de natuurwaarden beïnvloeden als het beheer moet worden aangepast. Zo kunnen eisen aan de hoogte of de stabiliteit leiden tot een verstarren en veroudering van de kwelderwerken, met negatieve gevolgen voor de natuurwaarden.

Ontwikkeling van nieuwe kwelders zal ten koste gaan van het wad en/of sublitoraal. Wat nieuwe kwelders aan baten opleveren hangt deels af van hoeveel kwelders er al in het omliggende gebied aanwezig zijn. In de Westelijke Waddenzee zijn nu weinig kwelders, zodat een nieuwe kwelder daar relatief meer diversiteit in habitats toevoegt dan op andere locaties. Wanneer goed uitgevoerd, dat wil zeggen zo veel mogelijk gebruik makend van natuurlijke processen, kunnen de baten voor de natuur positief uitpakken. De natuurdoelen voor kwelders (uit PKB Waddenzee, Natura 2000, Kaderrichtlijn Water en het Trilaterale Waddenzee Plan) zijn vooral gericht op instandhouding van de kwelders, vergroting van het areaal aan natuurlijke kwelders, verbetering van de natuurlijke

morfologie en dynamiek, en verbetering van de natuurlijke vegetatiestructuur.

Kwelders kunnen worden gebruikt voor extensieve beweiding en daarmee een functie vervullen voor landbouw. Het toelaten van recreatie op of langs kwelders kan negatieve effecten hebben op de natuurwaarden, vooral door verstoring van vogels, maar kan daarnaast tot economische baten leiden. Om de verstoring van vogels te minimaliseren is zoneringsruimte en tijd nodig.

Brede groene dijk

Het verschil tussen de traditionele dijk en een brede groene dijk zit bij dit concept aan de buitenkant van de dijk. Aan de landzijde heeft de dijk het profiel van een normale dijk, en daarmee geen impact op het binnendijkse gebied (bewoning, landbouw, natuur). De dijk heeft aan de buitenzijde een flauw, met gras bekleed talud dat geleidelijk overgaat in de voorliggende kwelders. Daardoor past dit dijkconcept goed in het Waddenlandschap heeft het een positief effect op de beleving.

Vanwege het zeewaarts uitbreiden heeft dit concept effect op Natura 2000 gebied. Hierdoor zijn de baten zeer locatie-specifiek. De dijk zelf voegt geen natuurwaarde toe ten opzichte van een standaard dijk, maar als in navolging van het Duitse voorbeeld klei uit de kwelder wordt gewonnen, kunnen bij verouderde, hoge kwelders positieve effecten op natuurwaarden worden behaald door kwelderherijning.

Aanbeveling

De hiervoor beschreven baten zijn de generieke baten voor natuur en recreatie en toerisme op basis van expertkennis (Van Loon-Steensma et al., 2014). Voor het kwantificeren van deze baten is echter nader locatie-specifiek onderzoek nodig, evenals voor het bepalen en kwantificeren van de overige baten. Om deze overige baten te identificeren is bovendien betrokkenheid van lokale stakeholders nodig.

Baten van innovatieve dijken in Lauwersoog

In de studie 'Baten van innovatieve dijken in Lauwersoog' (Ruijgrok et al., 2014) is ingezoomd op de baten van innovatieve dijken in Lauwersoog. Lauwersoog ligt in de Noordelijke Fries-Groninger krimpregio, waar men graag een impuls aan de regionale economie wil geven. Er is voor Lauwersoog een toekomstvisie en een Plan voor regie Ruimtelijke Ontwikkeling (PROLoog) opgesteld, er is een

proces gestart waarbij diverse stakeholders zijn betrokken en er zijn een kernteam en kwaliteitsteam ingesteld. De waterveiligheidsopgave biedt een interessante kans om dijkversterking te combineren met een versterking van gebiedskwaliteiten en daarmee de economische bedrijvigheid in het gebied aan te zwengelen. Voor Lauwersoog zijn in een studie in 2012 (Schelfhout et al., 2012; Van Loon-Steensma en Schelfhout, 2012) de deltadijk, een robuuste multifunctionele dijk, een overslagbestendige dijk, een dubbele dijk en een dijk met kunstwerken, harde constructies of gebouwen als interessante dijkconcepten naar voren gekomen. Door adviesbureau Arcadis zijn in opdracht van PROLoog per dijkvak een traditionele verhoging, een beperkte verhoging en een multifunctionele dijk uitgewerkt. Ruijgrok et al. (2014) hebben verkend welke economische sectoren voor Lauwersoog van belang zijn en voor welke gebiedskwaliteiten vanuit deze sectoren verbetering is gewenst. Vervolgens is nagegaan of dit kan worden gerealiseerd door de toepassing van innovatieve dijken. De relevante economische sectoren voor Lauwersoog zijn recreatie en visserij en de hiervoor gewenste verbetering van gebiedskwaliteiten betreft zaken als bereikbaarheid, ontsluiting, kadelengete en (recreatieve) voorzieningen.

Uit de analyse komt naar voren dat er diverse mogelijkheden zijn om de gebiedskwaliteiten van Lauwersoog te verbeteren om het gebied geschikter of aantrekkelijker te maken voor toerisme, maar dat deze echter nauwelijks te koppelen zijn aan een innovatieve dijkversterking. Het investeren in innovatieve dijkversterking levert voor Lauwersoog waarschijnlijk geen extra recreatie baten op. Voor de visserij zijn vooral verbeteringen wenselijk rond de productieketen (dit zijn bijvoorbeeld innovaties bij het pellen van de garnalen en de verwerking van het pelsel), kennisontwikkeling rond de voedselkwaliteit, verbeterde mogelijkheden voor scheepsonderhoud en de bereikbaarheid van de vissershaven met de boot. Ook voor de visserij zien Ruijgrok et al. (2014) geen bijdrage van innovatieve dijken aan het versterken van de gebiedskwaliteiten die extra baten op kunnen leveren. Het investeren in innovatieve dijkversterking levert geen extra baten op maar het investeren in een innovatieve productieketen, in voedselkwaliteit, kaderuimte en dergelijke wel.

Geconcludeerd wordt dat vooral de lokale ruimtelijke setting van Lauwersoog en de mix van gebiedskwaliteiten die van belang zijn voor de lokale economie maken dat de innovatieve dijkconcepten (de beperkte verhoging, de multifunctionele dijk, de ophoging van het haventerrein, de overslagbestendige dijk en de versterking van de pier) hier geen extra baten opleveren.

Deltaprogramma Waddengebied studies

de Groot, A.V., B.K. van Wesenbeeck en J.M. van Loon-Steensma (2012). Stuurbaarheid van kwelders (IMARES rapport).

Ruijgrok, E., J. Luttik, J. Vreke en J. van Loon, *in prep.* Baten van innovatieve dijken in Lauwersoog.

Schelfhout, H.A., N.M.L. Eernink en J.M. van Loon-Steensma (2012). Pilotstudie zeedijk Lauwersoog; Dijkconcepten, kruinhoogten en afwegingsmethode (Deltares rapport).

van Loon-Steensma, J.M. en H.A. Schelfhout (2012). Pilotstudie Innovatieve dijken Lauwersoog; Ervaringen meerwaardebepaling innovatieve waterkeringen voor de pilotlocatie Lauwersoog (Alterra rapport 2294).

van Loon-Steensma, J.M. en H.A. Schelfhout (2013). Pilotstudie Groene Dollard Dijk. Verkenning naar haalbaarheid van een brede groene dijk met flauw talud en een voorland van kwelders (Alterra rapport 2437).

van Loon-Steensma, J.M. van, R. Henkens en A.V. de Groot (2014). Baten innovatieve dijken Waddengebied (Alterra rapport 2529).



9 Synthese en aanbevelingen

Voor de hele Waddenkust is op basis van fysische en ruimtelijke kenmerken nagegaan welke dijkconcepten het meest kansrijk zijn, en wat de kosten en de baten (natuur en recreatie) zijn (zie voorgaande hoofdstukken en onderliggende studies). De uitkomsten hiervan zijn op kaarten aangegeven (zie bijlage).

Uit modelberekeningen blijkt dat een overslagbestendige dijk (maximaal overslagdebiet 100 l/s per meter) het meest klimaatbestendig is: ook op de langere termijn bij het hoge zeespiegelscenario hoeft de kruinhoogte van een overslagbestendige dijk nauwelijks te worden aangepast. Ook een brede groene dijk (met een buitentalud van 1:7) hoeft veel minder te worden verhoogd dan een traditionele dijk.

Omdat kwelders de golfcondities aan de teen van de dijk beïnvloeden is het zinvol om kwelders onderdeel te laten zijn van de veiligheidsstrategie. Uit de modelberekeningen komt naar voren dat op veel plaatsen langs de Waddenkust een denkbeeldige strook van met de zeespiegelstijging meegroeiende kwelders, ervoor zorgt dat de kruin van een traditionele dijk minder hoeft te worden verhoogd. Op die plaatsen waar de toekomstige veiligheidsopgave minder door golfaanval wordt bepaald (zoals op trajecten die in de luwte liggen) hebben kwelders minder effect. Kwelderontwikkeling heeft vooral effect op die plaatsen waar nu geen kwelders zijn. Vaak zijn daar de fysische omstandigheden minder gunstig voor kwelderontwikkeling (en dus is kwelderontwikkeling moeilijk en duur). Daarom is locatie-specifiek onderzoek belangrijk.

Uit de indicatieve kostenberekeningen blijkt dat alle innovatieve dijkconcepten duurder zijn dan traditionele dijkversterking. De overslagbestendige dijk is het duurst door de aanvullende kosten voor het leveren en aanbrengen van een harde bekleding op het buitentalud, de kruin en het binnentalud. De kosten voor de deltadijk en de brede groene dijk zijn het minst hoog. De aanwezigheid van kwelders of de mogelijkheid om kwelders te ontwikkelen biedt een forse kostenreductie voor zowel traditionele dijken als innovatieve dijkconcepten. Er is niet gekeken naar de kosten voor het beheer van de kwelders en maatregelen om erosie te beperken of kweldergroei te stimuleren. Deze

berekende kosten zijn te globaal voor toepassing op afzonderlijke dijktrajecten. De kostenberekening per dijkconcept dient daarbij te worden gebaseerd op de werkelijk aanwezige dijkprofielen, berekende dijkdimensies en lokatiespecifieke omstandigheden.

Omdat de kosten voor innovatieve dijken hoger zijn dan die voor traditionele versterking, vormen de baten voor natuur en landschap belangrijke aspecten in het afwegingsproces. In het Waddengebied zijn behoud en ontwikkeling van natuur en landschap belangrijke doelstellingen, waardoor deze maatschappelijke baten zwaar wegen. Daarom zijn veel innovatieve concepten ondanks de hogere kosten ten opzichte van een traditionele versterking toch interessant in het Waddengebied.

Inzicht in de effectiviteit, kosten en baten van innovatieve dijken is van belang voor de beleidskeuzes rond de meest geschikte veiligheidsstrategie voor het Waddengebied waarin waterveiligheid wordt verbonden met andere beleidsdoelstellingen en opgaven in het Waddengebied. Veel hangt echter af van het gewicht dat aan de verschillende aspecten wordt toegekend.

Het effect van innovatieve dijken op de omgeving is sterk locatieafhankelijk. Zo zijn bijvoorbeeld de functies die een multifunctionele kering vervult sterk bepalend: een kering die de functie waterveiligheid en natuur combineert scoort anders op het criterium ruimtelijke kwaliteit dan een kering met bijvoorbeeld windmolens of industriële bebouwing. Voor de stap van mogelijke naar kansrijke concepten zijn daarom een toelichting en motivatie erg belangrijk. Daarom is het belangrijk om lokale stakeholders te betrekken in het proces.

Voor de Waddenkust kunnen voor innovatieve dijkconcepten op basis van expertkennis generieke baten voor natuur en recreatie en toerisme worden aangegeven. Voor het kwantificeren van deze baten is echter nader locatie-specifiek onderzoek nodig, evenals voor het identificeren en kwantificeren de overige baten. Om de overige baten te identificeren is bovendien betrokkenheid van lokale stakeholders nodig.

Per 1 januari 2014 is het nieuwe Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) van start gegaan. Het HWBP moet per dijkvak gedetailleerd in beeld brengen welke opgaven er zijn en welke maatregelen passen om aan de waterveiligheidsnormen te voldoen. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van de onderzoeksresultaten van het Deltaprogramma Waddengebied waarin een aanpak is ontwikkeld rond de afweging van innovatieve dijken die nadrukkelijk naast waterveiligheid ook gericht is op behoud en ontwikkeling van natuur-, landschaps- en sociaal-economische waarden.

Aanbevolen wordt om een interactieve tool te ontwikkelen die is afgestemd op innovatieve dijkconcepten en ook het effect van gewichten aan de beoordelingscriteria laat zien (= multi-criteria analyse).

Op basis van de verkenningen in het Deltaprogramma Waddengebied komt naar voren dat langs de rurale dijktrajecten waar al kwelders zijn een dijk met kwelder en de brede groene dijk kostentechnisch (voor dijkversterking) en vanwege landschappelijk en natuurwaarden zeer interessant zijn om verder te onderzoeken.

Voor het Eemsgebied lijkt de deltadijk interessant. Vooral voor dijktrajecten in bebouwd (of industrie) gebied kan een multifunctionele kering interessant zijn.

Bijlage

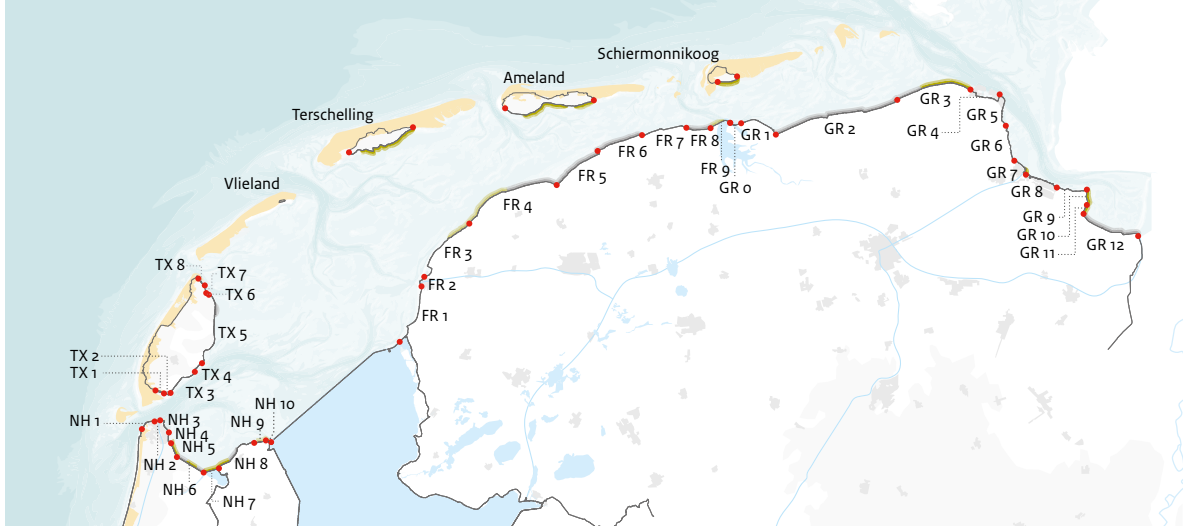
Overzichtskaarten Innovatieve Dijken Waddengebied



Legenda dijkconcepten

icoon dijken	toelichting	te combineren met:
	traditionele zeedijk	rijke dijk kwelder parallelle dijk technische constructies
	overslagbestendige dijk	rijke dijk kwelder parallelle dijk
	deltadijk	rijke dijk kwelder
	multifunctionele dijk (bebouwing, infrastructuur of windmolens)	rijke dijk kwelder
	parallelle dijk / extra dijk landinwaarts*	rijke dijk kwelder
	parallelle dijk / extra dijk zeewaarts* (voorlandkering, havendam of oesterrijf)	rijke dijk kwelder
	dijk met kwelder*	
	brede groene dijk	kwelder parallelle dijk
	anders *	
*	NB voor deze dijkconcepten zijn geen kosten en baten bepaald	
	kwelder reeds aanwezig	
	kwelder in ontwikkeling	
	kwelder: kans op realisatie met kleine inspanning	

Dijktrajecten en legenda kosten dijkversterking en baten dijkconcepten



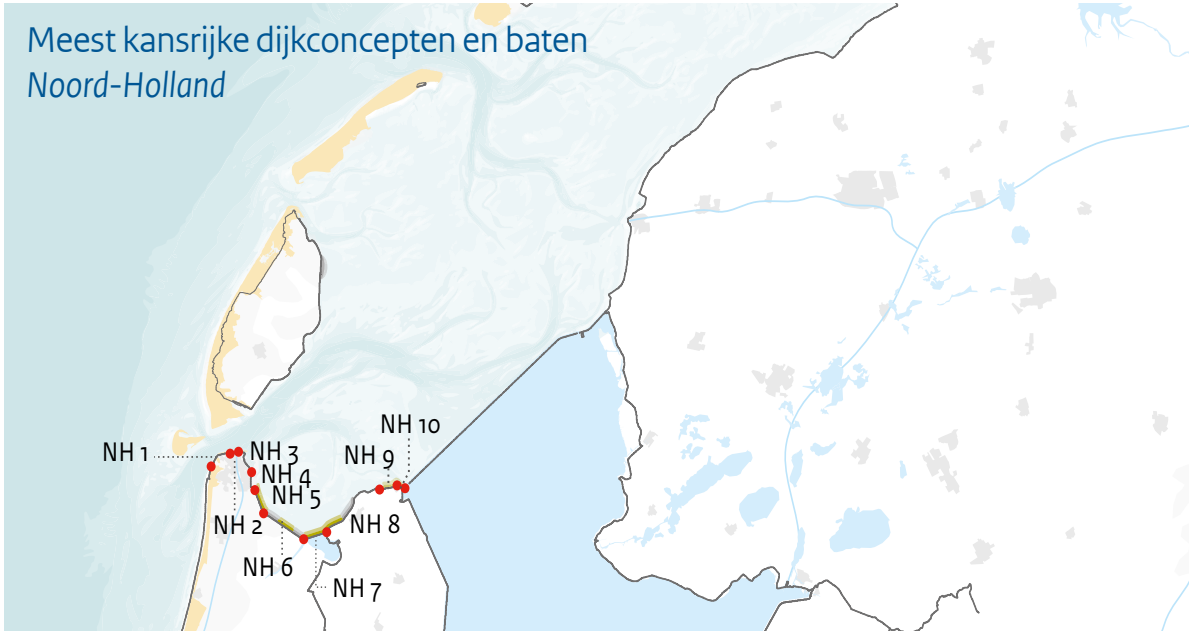
Legenda kosten dijkversterking

icoon kosten	kostenfactor t.o.v. referentie
	kosten traditionele dijk
	< 1 (goedkoper)
	1 - 1,5 (duurder)
	> 1,5 (veel duurder)
	idem als vorige icoontjes, tevens kostenreductie voor dijkversterking door kwelders ten opzichte van dezelfde dijk zonder kwelders.
NH 4 - 6	kosten gelden voor totale lengte van genoemde trajecten
	kans voor parallelle dijken landinwaarts
	kans voor parallelle dijken zeewaarts (voorlandkering, havendam of oesterrif)

Legenda baten dijkconcepten

icoon natuur	icoon recreatie	baten t.o.v. referentie
		zeer gunstig
		gunstiger
		vergelijkbaar
		minder gunstig
		veel slechter
		baten afh. van omstandigheden
		hoogwatervluchtplaats
		traditionele dijk geldt als referentie.

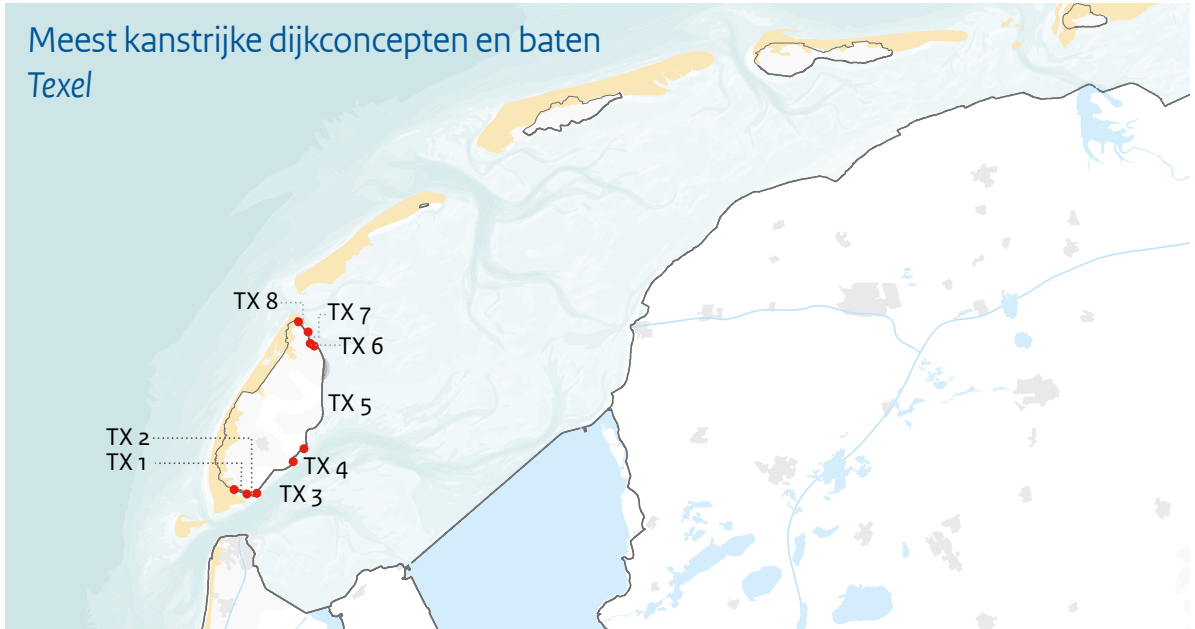
Meest kansrijke dijkconcepten en baten
Noord-Holland



NH 1			NH 2			NH 3			NH 4			NH 5		
dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten	
	natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
							onbekend	onbekend						
				onbekend	onbekend					onbekend	onbekend			
										onbekend	onbekend			

NH 6			NH 7			NH 8			NH 9			NH 10		
dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten	
	natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
													onbekend	onbekend
							onbekend	onbekend						

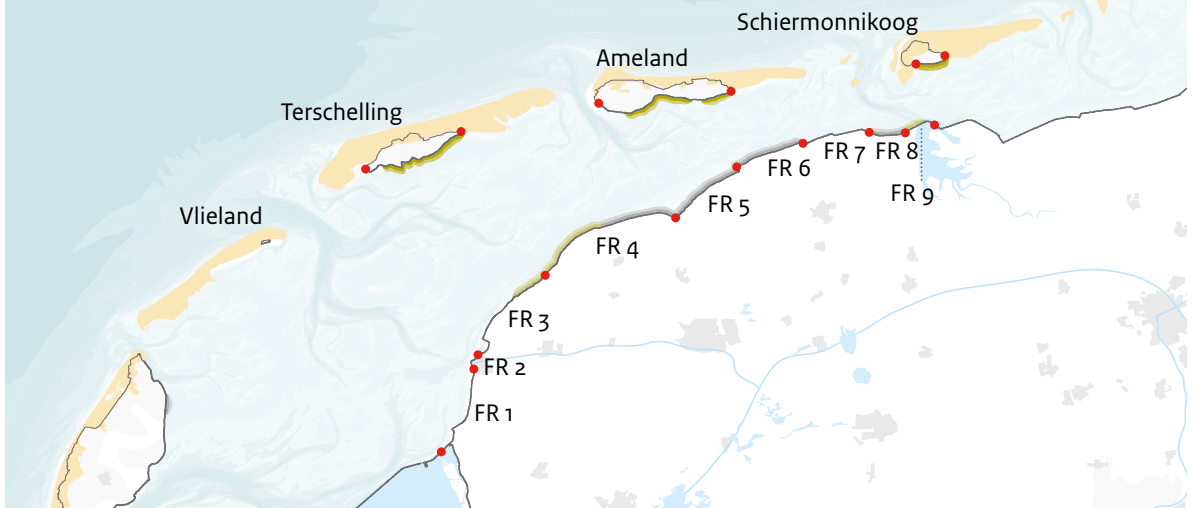
Meest kanstrijke dijkconcepten en baten Texel



TX 1			TX 2			TX 3			TX 4			TX 5		
dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten	
	natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie
	onbekend	onbekend		onbekend	onbekend		onbekend	onbekend		onbekend	onbekend			

TX 6			TX 7			TX 8		
dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten	
	natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie
							onbekend	onbekend

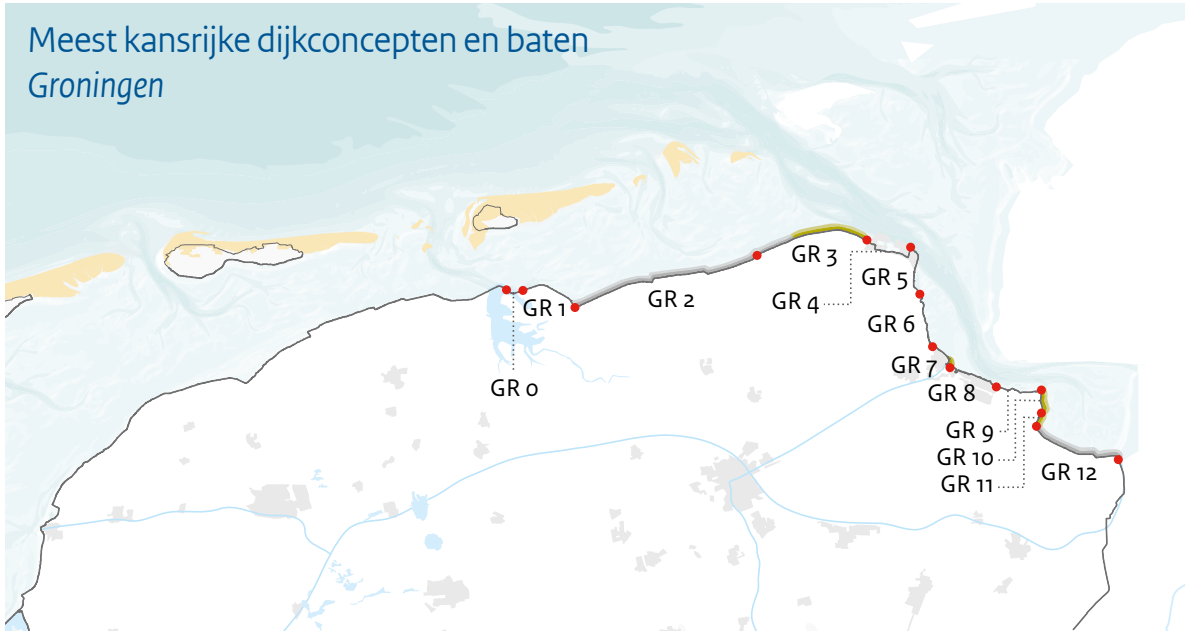
Meest kansrijke dijkconcepten en baten Friesland inclusief eilanden



Eilanden			FR 1			FR 2			FR 3			FR 4		
dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten	
	natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	kwelder													

FR 5			FR 6			FR 7			FR 8			FR 9		
dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten	
	natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

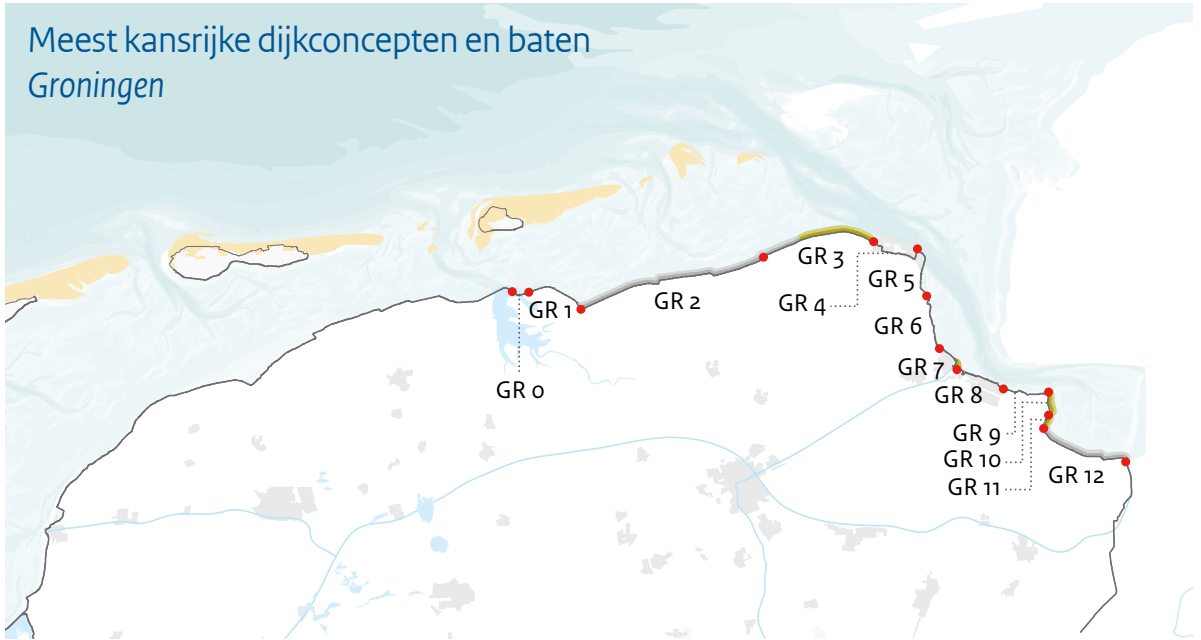
Meest kansrijke dijkconcepten en baten Groningen



GR 0			GR 1			GR 2			GR 3			GR 4		
dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten	
	natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie
				onbekend	onbekend									
													onbekend	onbekend

GR 5			GR 6			GR 7		
dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten	
	natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie
	onbekend	onbekend						

Meest kansrijke dijkconcepten en baten Groningen



GR 8		GR 9			GR 10			GR 11			GR 12			
dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten		dijkconcept	baten	
	natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie		natuur	recreatie
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	onbekend	onbekend												

Overzicht meest kansrijke dijkconcepten en kosten Noord-Holland inclusief Texel



NH 1 - 2		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept		z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder
		-		-		-		-	
		12,5		12,5		12,5		12,5	
		12,5		12,5		12,5		12,5	

NH 3		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept		z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder
		-		-		-		-	

NH 4 - 6		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept		z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder
		-	4	-	4	-	4	-	4
		12,5	4	12,5	4	12,5	4	12,5	4
		12,5	4	12,5	4	12,5	4	12,5	4

NH 7		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept		z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder
		-	4	-	4	-	4	-	4
		12,5	4	12,5	4	12,5	4	12,5	4
		12,5	4	12,5	4	12,5	4	12,5	4

NH 8 - 10		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept		z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder
		-	4	-	4	-	4	-	4
		12,5	4	12,5	4	12,5	4	12,5	4
		12,5	4	12,5	4	12,5	4	12,5	4

TX 1		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept		z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder
		-		-		-		-	
		12,5		12,5		12,5		12,5	
		4		4		4		4	

TX 2 - 8		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept		z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder
		-		-		-		-	
		12,5	4	12,5	4	12,5	4	12,5	4

Overzicht meest kansrijke dijkconcepten en kosten Friesland inclusief eilanden



FR 1 - 3		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	1	1.15	1	1.15	1	1	1	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	

FR 4		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	1	1.15	1	1.15	1	1	1	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	

FR 5		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	1	1.15	1	1.15	1	1	1	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	

FR 6 - 9		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	1	1.15	1	1.15	1	1	1	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	

Vlieland		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	1	1.15	1	1.15	1	1	1	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	

Terschelling		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	1	1.15	1	1.15	1	1	1	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	

Ameland		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	1	1.15	1	1.15	1	1	1	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	

Schiermonnikoog		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	1	1.15	1	1.15	1	1	1	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	

Overzicht meest kansrijke dijkconcepten en kosten Groningen



GR 0		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	-		-		-		-		
	21,5		21,5		21,5		21,5		
	21,5		21,5		21,5		21,5		

GR 1		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	-		-		-		-		

GR 3 + 4		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	-		-		-		-		
	21,5		21,5		21,5		21,5		
	11,5		11,5		12,5		12,5		

GR 2		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	-	4	-	7	-	4	-	4	
	12,5	4	12,5	7	12,5	4	12,5	4	
	11,5	4	11,5	7	11,5	4	11,5	4	

GR 5 - 7		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	-	7	-	11,5	-	11,5	-	11,5	
	21,5	7	21,5	11,5	21,5	11,5	21,5	11,5	
	11,5	-	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	
	12,5	-	12,5	11,5	12,5	12,5	12,5	11,5	

GR 8		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	-		-		-		-		

GR 10 + 11		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	-	11,5	-	11,5	-	11,5	-	11,5	
	21,5	11,5	21,5	11,5	21,5	11,5	21,5	11,5	
	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	

GR 9		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	-		-		-		-		
	12,5		12,5		12,5		12,5		
	11,5		11,5		11,5		11,5		

GR 12		2050 matig		2050 snel		2100 matig		2100 snel	
dijkconcept	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	z. kwelder	m. kwelder	
	-	4	-	11,5	-	11,5	-	11,5	
	12,5	4	12,5	11,5	12,5	4	12,5	11,5	
	11,5	4	11,5	11,5	11,5	4	11,5	11,5	

Deltaprogramma

Het Deltaprogramma is een nationaal programma. Rijksoverheid, provincies, gemeenten en waterschappen werken hierin samen met inbreng van de maatschappelijke organisaties. Het doel is om Nederland ook voor de volgende generaties te beschermen tegen hoogwater en te zorgen voor voldoende zoetwater.

Het Deltaprogramma kent negen deelprogramma's:

- Veiligheid
- Zoetwater
- Nieuwbouw en herstructurering
- Rijnmond-Drechtsteden
- Zuidwestelijke Delta
- IJsselmeergebied
- Rivieren
- Kust
- Waddengebied

Het Deltaprogramma staat onder regie van de deltacommissaris, regeringscommissaris voor het Deltaprogramma.

www.rijksoverheid.nl/deltaprogramma



Dit is een uitgave van:

Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Juli 2014