



Innovatieve dijkconcepten in het Waddengebied

Deze Deltafact geeft een overzicht van traditionele dijkconcepten met technische innovaties en innovatieve dijkconcepten die gebaseerd zijn op een ander waterkeringsprincipe.

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE: WATERVEILIGHEID COMBINEREN MET ANDERE FUNCTIES
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN TRADITIONELE EN INNOVATIEVE DIJKCONCEPTEN
5. TECHNISCHE ASPECTEN
6. KOSTEN EN BATEN
7. GOVERNANCE
8. PRAKTIJKERVERINGEN EN LOPEND INITIATIEVEN EN ONDERZOEKEN
9. KENNISLEEMTEN
10. BRONNEN & LINKS
11. DISCLAIMER

1. Inleiding

Binnen het Deltaprogramma Waddengebied zijn de afgelopen jaren de mogelijkheden van innovatieve dijkconcepten als toekomstgerichte waterveiligheidsstrategie verkend. Innovatieve dijkconcepten hebben een ander ontwerpprofiel of waterkeringsprincipe dan traditionele dijkconcepten die qua hoogte, taludhelling en bekleding zo zijn ontworpen dat ze voldoen aan de waterveiligheidseisen van de huidige leidraden en technische rapporten voor waterkeringen en aan het Wettelijke Toetsinstrumentarium (WTI). Er zijn innovatieve dijkconcepten die beter passen in het landschap en bij de aanwezige natuurwaarden, en nieuwe ontwikkelkansen kunnen bieden voor de



Rijksoverheid

omgeving, maar soms ook extra robuust zijn en daarmee beter beschermen tegen de effecten van klimaatverandering, zoals zeespiegelstijging. Deze factsheet geeft een overzicht van traditionele dijkconcepten met technische innovaties en innovatieve dijkconcepten die gebaseerd zijn op een ander waterkeringsprincipe.

2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts.

[Deltadijk](#), doorbraakbestendige dijken, overslagbestendige keringen, multifunctionele waterkeringen, eco-engineering, dubbele keringen, hybride keringen, waterveiligheid en kwelders.

3. Strategie: waterveiligheid combineren met andere functies

Innovatieve dijken vormen een strategie om waterveiligheid te combineren met andere functies zoals wonen, infrastructuur, economie, natuur en recreatie.

Innovatieve dijkconcepten hebben een ander ontwerpprofiel of waterkeringsprincipe dan traditionele dijkconcepten waardoor ze:

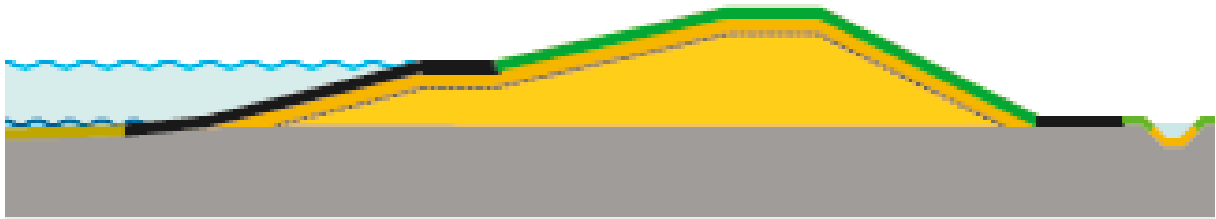
- veiliger kunnen zijn (vanwege over-dimensionering);
- positieve effecten of kansen kunnen bieden voor economische functies, ruimtelijke kwaliteit, recreatie en toerisme, natuur, landschap of energie en grondstoffen en kunnen worden gecombineerd met sociaal-economische opgaven;
- qua uitvoerbaarheid kansen bieden voor het meekoppelen van gebiedsontwikkelingen en programma's en beter aanpasbaar zijn en soms ook goedkoper zijn in de aanleg (zoals een Groene Dollard Dijk) of mogelijkheden bieden voor medefinanciering door het meekoppelen met gebiedsontwikkeling en functies, waardoor er baten kunnen ontstaan.

4. Schematische weergave van traditionele en innovatieve dijkconcepten

Traditionele dijkconcepten

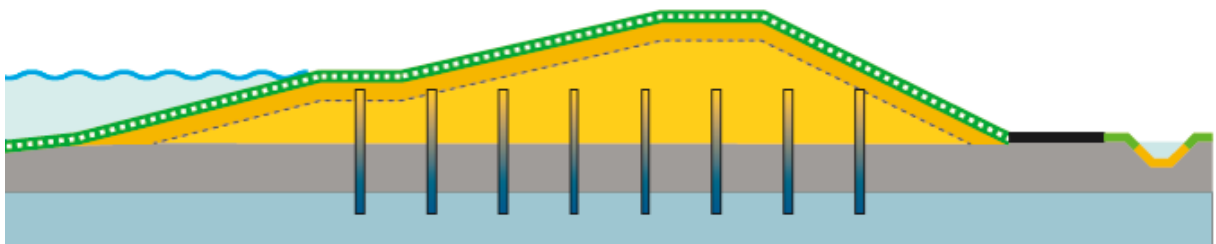
Traditionele zeedijken

Traditionele zeedijken betreffen in het algemeen een gronddijk met een zandkern. Het ondertalud van de zeewaartse kant is bekleed met asfalt of steen en het boventalud met klei en gras. De kruin en het binnentalud zijn meestal met klei en gras bekleed.



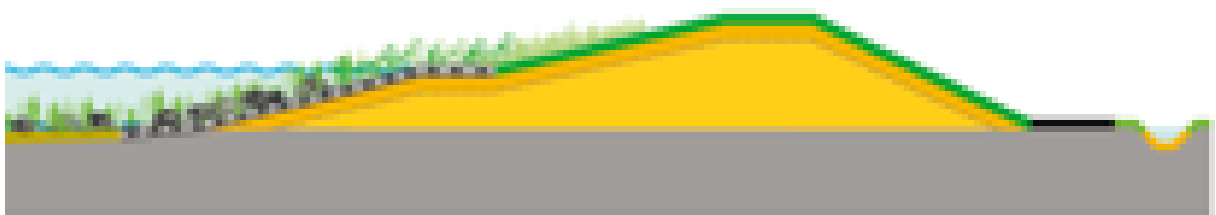
Traditionele zeedijken met nieuwe technieken

Zeedijk met een traditioneel profiel waarin nieuwe technieken zijn toegepast ter verbetering van de erosiebestendigheid, stabiliteit of weerstand tegen piping. Voorbeelden zijn de drie INSIDE-technieken (Mixed-In-Place, Dijkdeuvels en Dijkvernageling), ter verbetering van de macrostabiliteit.



Rijke Dijk

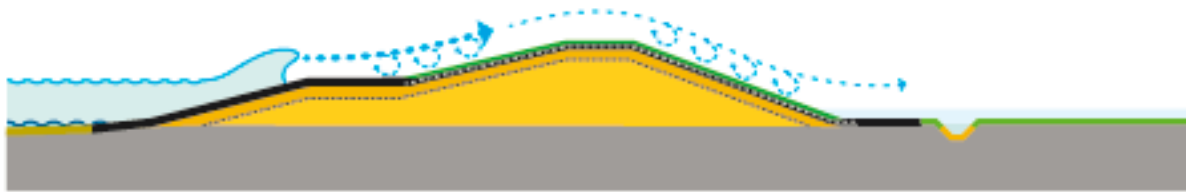
Een zeedijk met een traditioneel profiel maar met natuurvriendelijke bekleding op het buitentalud (zoals een steenbekleding die meer aanhechtingsmogelijkheden biedt voor organismen). Vanwege de grotere ruwheid van de bekleding kan de golfoploop worden gereduceerd. Het ontwerpprofiel en het waterkeringsprincipe blijven verder gelijk.



Innovatieve dijken

Overslagbestendige/overstroombare dijk

De dijkbekleding op de kruin en het binnentalud is bestand tegen een groter overslagdebiet. Bij extreme omstandigheden kan er dus water over de dijk stromen zonder dat de bekleding bezwijkt. 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 wateroverlast en schade te voorkomen. Dit dient dan ook te passen bij de binnendijks gelegen functies, zoals landbouw of natuur.

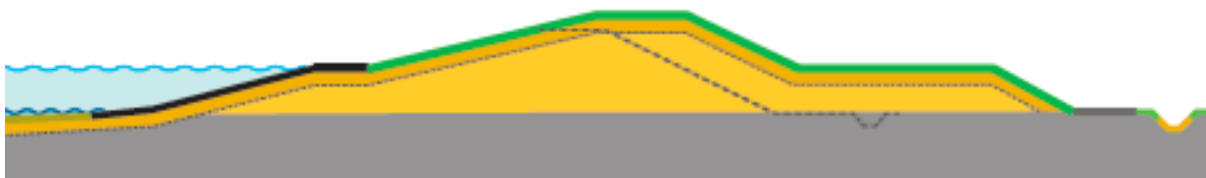


Robuuste oplossingen

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

- Deltadijk

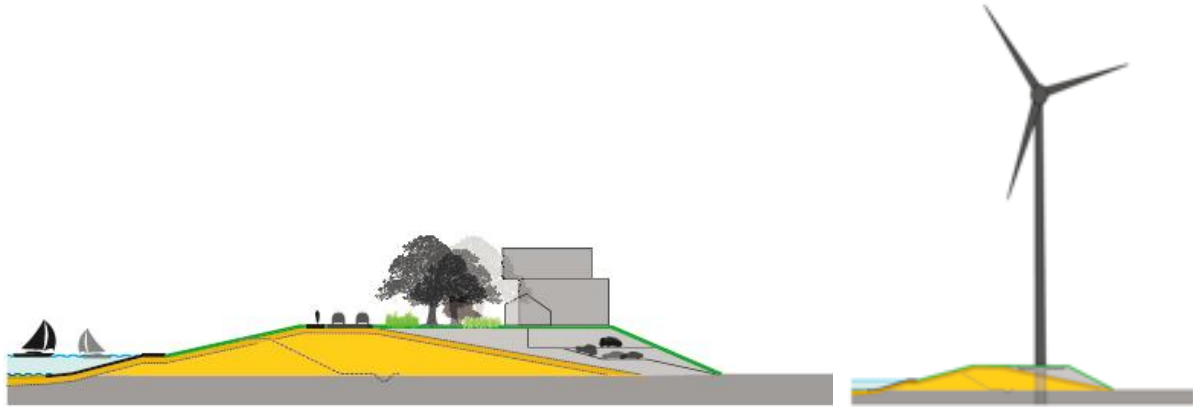
Een dijk, waarvan de kans op golfoverslag, stabiliteit en piping tien maal veiliger is (al dan niet in combinatie met bijzondere waterkerende constructies) dan een traditionele dijk die ontworpen is volgens de daarvoor geldende leidraden en technische rapporten.



- Multifunctionele dijk

Als andere niet-waterkerende objecten of functies worden toegestaan (zoals bebouwing) moet de invloed daarvan op de waterkerende functie worden geverifieerd. Dit leidt tot een zekere overdimensionering (ten opzichte van een

Deltadijk) om te voorkomen dat op korte termijn ingrijpende aanpassingen aan de dijk nodig zijn.



Parallele dijken

- Bestaande dijk met achterlandkering

Dit is een combinatie van de bestaande primaire waterkering (eventueel overslagbestendig) met een extra kering in het achterland (slaperdijk). Het tussengelegen gebied biedt kansen voor andere functies, zoals bijvoorbeeld zilte teelten.



- Schermdijk voor de bestaande dijk

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



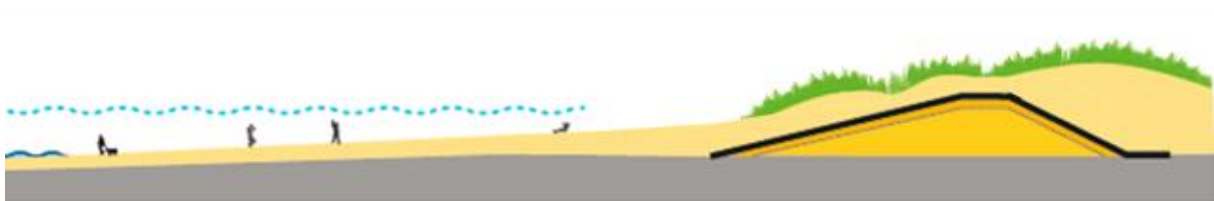
Hybride keringen

Hybride keringen 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.



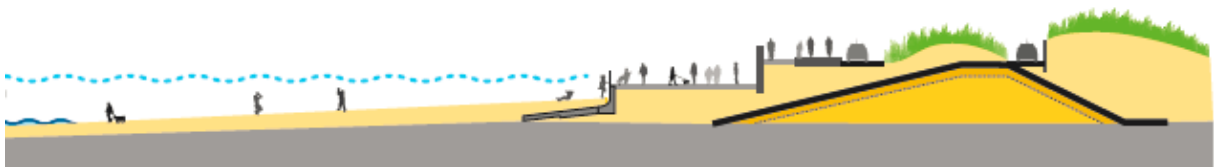
- Dijk-in-duin

Bestaat uit een Traditionele dijk, die geheel is voorzien van een harde bekleding waarover een zandaanvulling in de vorm van een duin en een extra zandaanvulling op de vooroever is aangebracht (aan de Waddenkust zijn echter van nature geen duinen).



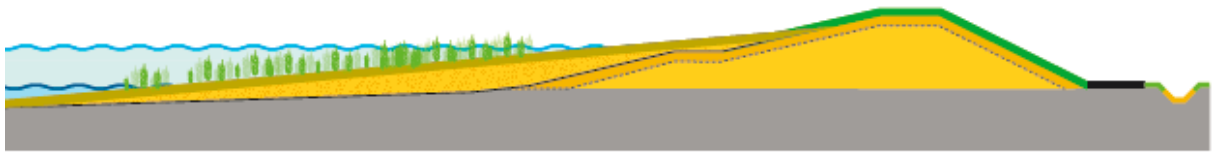
- Dijk-in-boulevard

Bestaat uit een Traditionele dijk met een harde bekleding, waarover een boulevard is aangelegd, waarover een zandaanvulling en een extra hoeveelheid zand op de vooroever is aangebracht. De ruimtelijke kwaliteit hangt af van de gewenste inrichting van de boulevard.



- Oeverdijk

Traditionele dijk met zand of klei ervoor. Door deze aangelegde vooroever voor de waterkering neemt de golfbelasting op de kering af, kan de harde steenbekleding op het onderste buitentalud vervallen en kan worden volstaan met een lagere kruinhoogte.



Eco-engineering

Hierbij wordt bewust gebruik gemaakt van natuurlijke processen

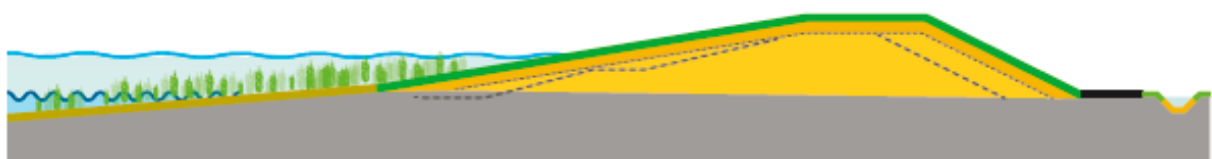
- Dijk met kwelder

Traditionele dijk met kwelder die als hoger voorland bijdraagt aan de golfreductie en via natuurlijke aanwas mee groeit met de zeespiegelstijging. De geulen en prielen kunnen door vissen als paaiplaats worden gebruikt.



- Brede groene dijk

Een dijk met een flauw buitentalud en grasbekleding, waarbij de harde bekleding op het buitentalud komt te vervallen. 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 in de kwelder kan voor materiaal zorgen voor aanleg van de brede dijk (= duurzaam en flexibel). Wel kan het aanspoelen van plantenresten vanuit het voorland (veek) voor extra onderhoud zorgen (afhankelijk van de windrichting).



- Dijk met kwelderwal

Een dijk waarbij een kunstmatige verhoging is 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. De kwelderwal zorgt voor extra golfreductie.

- 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
- Zand motor. Dit is een grootschalig zandsuppletie
- Slib motor, nieuw idee en nog niet verkend op voor- en nadelen
- Nieuwe duinen, die ook inzetbaar zijn voor recreatie

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

Deze constructies komen het meest tot hun recht in bebouwde gebieden, waar weinig ruimte is.

- Integratie van waterkering met bebouwing. Kan extra impuls voor ruimtelijke kwaliteit geven
- Functie scheidende schermen tussen de waterkerende functie en andere functies
- Demontabele keringen, die bij dreigend hoogwater worden geplaatst

5. Technische aspecten

Alle dijken 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 (zandmeevoerende wellen)
- Macro-instabiliteit (buitenwaarts en binnenwaarts)
- Falen sterkte/stabiliteit bekledingen
- Afschuiving voorland
- Zettingsvloeiing
- Micro-instabiliteit

Ook kan de waterkerende functie nadelig worden beïnvloed door de aanwezigheid of het falen van niet-waterkerende objecten (zoals bebouwing, begroeiing, pijpleidingen etc.) of door bijvoorbeeld ijsgang, aanvaring, sabotage etc. In de praktijk blijken golfoverslag, piping en macrostabiliteit belangrijk te zijn voor het beoordelen van innovatieve dijkconcepten.

Golfoverslag: is het verschijnsel dat er water over de kruin van de dijk het achterland inloopt door het opzwiepen 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.

Piping: is wanneer er door een waterstandsverschil tussen de buitenzijde en de binnenzijde van de dijk in watervoerende lagen onder de dijk doorgaande kanaaltjes ontstaan die gronddeeltjes meevoeren vanuit de dijk. Dit kan de kerende hoogte of de stabiliteit van de dijk aantasten, en zelfs tot het volledig bezwijken van de dijk leiden.

Macro-instabiliteit: is wanneer de dijk niet voldoende bestand is tegen belastingen als hoogwaterstanden en golven en daardoor vervormd. De weerstand tegen vervorming wordt bepaald door de geometrie, de grondeigenschappen (de samenhang, de doorlatendheid) en het eigen gewicht van de dijk. Daarbij zijn ook de

grondwaterstanden en grondwaterspanningen in en onder de dijk van belang. Bij de nadere uitwerking is met name de macrostabiliteit binnenwaarts beoordeeld.

Tabel 1. Kwalitatieve beoordeling van innovatieve dijken op relevante faalmechanismen die betrekking hebben op landwaartse kant van de dijk.

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

Dijkconcept	macro-instabiliteit binnentalud	piping	Overloop/overslag
Traditionele dijk (1)	0	0	0
Overslagbestendige dijk	0	0	+
Deltadijk	+	++	+
Multifunctionele dijk	++	++	++
Parallele dijk: extra dijk landinwaarts	0/+	+	+
Parallele dijk: extra dijk zeewaarts	0 (0/+ (2))	0 (+ (2))	+
Dijk met kwelder	0/+	++	+
Brede groendijk (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 ingevangen (opslibbing) en wordt vastgelegd voor de primaire kering.

6. Kosten en baten

Om na te gaan of innovatieve dijkconcepten aantrekkelijker zijn dan een traditionele dijkversterking moeten de kosten en de baten met elkaar worden vergeleken.

De meeste innovatieve dijkconcepten zullen tot tijdelijke of blijvende veranderingen in de omgeving 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 langs de kust op.

Voor alle innovatieve dijkconcepten geldt dat de hoogte van de kosten en de baten sterk van de locatie afhankelijk zijn.

Kosten

De kosten van innovatieve dijkconcepten en van traditionele dijkversterking kunnen

met elkaar worden vergeleken op basis van de benodigde volumes zand en klei. Voor elk dijkconcept wordt daarbij gekeken naar het profiel van het binnentalud en het buitentalud. Dit bepaalt namelijk de hoeveelheid zand en klei die nodig is om een dijk met een zekere kruinhoogte aan te leggen. Uit zo'n indicatieve en globale vergelijking voor de dijken in het Waddengebied (waarbij veel aannamen zijn gedaan en is uitgegaan van de totale projectkosten, dus aanlegkosten en onderhoud en beheerkosten) komt het volgende naar voren:

- Innovatieve dijkconcepten zijn in het algemeen duurder dan traditionele dijkversterking. Met name het overslagbestendig maken van dijken is kostbaar (meer dan een factor 1.5) vanwege de aanvullende kosten voor het leveren en aanbrengen van breuksteen. Ook de Multifunctionele dijk is veel duurder (een factor 1.5) dan een traditionele dijkversterking.
- De totale kosten voor de Deltadijk en de Brede groene dijk liggen in dezelfde orde van grootte als traditionele dijkversterking (gemiddeld zo'n 10% duurder). Wanneer zich kwelders voor de dijk bevinden is er voor een traditionele dijk minder kruinverhoging nodig vanwege de golfremmende werking van de kwelders. Dit heeft een significant positief effect op de kosten.
- De werkelijke kosten van een dijkconcept zijn sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden, waaronder de aanwezige dijkprofielen. Daarnaast moet voor het berekenen van specifieke dijkdimensies worden gekeken naar fysieke en ruimtelijke kenmerken.

Baten

Baten (die ook negatief kunnen zijn) zijn de waardering die aan de effecten van een maatregel worden toegekend. Daarbij is het van belang om ook te kijken naar effecten buiten de dijkzone zelf. In het landelijk gebied zijn vooral de effecten en baten van innovatieve dijken op natuur, landschap en recreatie/ toerisme belangrijk. In stedelijk gebied kan de toepassing van een innovatieve dijk ook baten hebben voor wonen, transport en economische activiteiten, bijvoorbeeld door de integratie van huizen of bedrijfsgebouwen in de dijk.

Hoewel er op vele plaatsen mogelijkheden zijn om gebiedskwaliteiten of andere baten te realiseren met innovatieve dijken, blijkt dat niet overal zo te zijn. In de praktijk blijken dat de lokale ruimtelijke setting en het type gewenste baten bepalend te zijn. Zo past een Brede groene dijk goed in het Waddenlandschap en is positief voor de beleving. Een Brede groene dijk voegt zelf geen natuurwaarde toe

ten opzicht van een standaard dijk. Wel heeft de benodigde zeewaartse uitbreiding van de dijk effect op het Natura 2000 gebied. Uit een verkenning naar de mogelijkheden om in Lauwersoog de gebiedskwaliteiten voor recreatie en visserij te verbeteren kwam naar voren dat hier nauwelijks mogelijkheden zijn voor het koppelen van mogelijkheden om het gebied geschikter of aantrekkelijker te maken voor toerisme aan innovatieve dijkversterking.

7. Governance

Uit eerste verkenningen rond governance komt naar voren dat vooral het aspect 'haalbaarheid' belangrijk is. Hieronder vallen: bekostiging / betaalbaarheid, technische risico's en kansen (innovatie), en maatschappelijk draagvlak. Het is verstandig om al in een vroeg stadium kansrijke innovatieve opties te toetsen op:

- Gezamenlijke ambitie op werkvloerniveau (ook onder ondernemers en grondeigenaren)
- Persoonlijk commitment van bestuurder(s) bestuurder(s) van waterschap, provincie en/of gemeenten.
- Steun in verschillende bestuurlijke lagen: waterschap, Provinciale Staten en gemeente
- Bereidheid van het waterschap om budget voor voortzetting huidig beleid ook in te zetten bij uitvoering van alternatieve (geoptimaliseerde) opties
- Bereidheid tot nemen van risico bij bestuurders en ambtenaren om een innovatief dijkconcept in de praktijk te testen

8. Praktijkvoorbeelden en lopende initiatieven

In het Waddengebied worden voor een aantal dijktrajecten de mogelijkheden voor innovatieve dijken verkend. Dit betreft bijvoorbeeld een Dijk met een duin bij de Prins Hendrik polder Texel, een Groene Dijk langs de Dollard en een Dubbele kering in het Eemsgebied.



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

9. Kennisleemtes

Er is nog weinig ervaring opgedaan met de toepassing van innovatieve dijkconcepten. Kennisleemtes betreffen o.a. de technische aspecten zoals de effecten

van extra gebruiksfuncties op faalmechanismen en performance tijdens extreme situaties. Maar er zijn ook nog diverse kennisleemtes in het ontwerp- en toetsinstrumentarium, governance en beheer en onderhoud van innovatieve dijken.

10. Bronnen & links

- Calderon, A. en A.J. Smale. Deltares (2013). Doelbereik innovatieve dijkconcepten DP Wadden (Deltares rapport).
- Gözüberk, I. (2014). Kostenschattning Innovatieve dijkconcepten Deelprogramma Waddengebied (ECK-B rapport).
- Groot, A., S. Werners, C. van Leeuwen, M. Tangelder, J. Timmerman en J.M. van Loon-Steensma (2014). Governance van innovatieve dijkconcepten in de Zuidwestelijke Delta; Handreiking voor projecten die veiligheid, economie en ecologie van een dijkzone combineren (Alterra rapport 2506)
<http://edepot.wur.nl/296404>. Luttik et al. (2014). Batenstudie Innovatieve dijken Lauwersoog. (Alterra rapport).
- Tangelder, M., A. Groot, C. van Sluis, J. van Loon-Steensma, G. van Meurs, H. Schelfhout, T. Ysebaert, J. Luttik, G. Ellen, en N. Eernink (2013). Innovatieve dijkconcepten in de Zuidwestelijke Delta; Kansen voor toepassing en meerwaarde ten opzichte van traditionele dijken in het kader van Beleidsondersteuning voor het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta (Imares Rapport C029/13)
<http://edepot.wur.nl/250277>.
- 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) <http://edepot.wur.nl/200881>.
- 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)
<http://edepot.wur.nl/308814>.
- van Loon-Steensma, J.M., H.A. Schelfhout, T. van Hattum, A. Smale, I. Gözüberk en M. van Dijken (2014). Innovatieve dijken als strategie voor een veilig en aantrekkelijk Waddengebied; Samenvatting van het Deltaprogramma Waddengebied onderzoek naar innovatieve dijken (Alterra rapport 2535)
<http://edepot.wur.nl/320454>.
- 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, 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) <http://edepot.wur.nl/302530>.

- van Loon-Steensma, J.M. van, R. Henkens, A.V. de Groot (2014). Baten innovatieve dijken Waddengebied (Alterra rapport 2529) <http://edepot.wur.nl/307631>.

Deze Deltafact is opgesteld door WUR-alterra en Deltares, 22 december 2014.

Auteurs

- J. van Loon
- H. Schelhout.

11. Disclaimer

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.