

Toekomstbestendig met kwelders en andere brede waterkerende zones

Op 27 maart 2019 promoveert **Vincent Vuik** als eerste binnen het onderzoeksproject BE SAFE: Bio-Engineering for safety using vegetated foreshores. Omdat BE SAFE kwelders en begroeide vooroevers van een degelijke kwantitatieve onderbouwing voorziet, komen deze in aanmerking voor opname in het wettelijke beheersinstrumentarium voor waterkeringen. Goed nieuws voor de landschappelijke kwaliteit en het meegroeien met de zeespiegelstijging.

Dijken komen steeds verder onder druk te staan door een combinatie van zeespiegelstijging aan de zeezijde en bodemdaling aan de landzijde. Het verhogen en versterken van dijken is op de meeste plaatsen technisch en financieel gezien nog steeds haalbaar. Zeespiegelstijging is tot 2 meter overwegend eenvoudig en betaalbaar op te vangen zonder ingrijpende systeemmaatregelen, blijkt uit onderzoek voor het Deltaprogramma (o.a. Stijnen et al., 2014). Op dit moment wordt bij vrijwel alle dijkversterkingsprojecten daarom nog steeds gewerkt met reguliere dijkverhoging en dijkverbreding. Alleen in uitzonderlijke gevallen wordt gekozen voor alternatieve maatregelen, zoals op plaatsen waar een slappe ondergrond of bebouwing op en nabij de dijk verhoging of verbreding bemoeilijken.

Nieuwe voorspellingen duiden op een aanzienlijk snellere zeespiegelstijging dan waar in eerdere klimaatscenario's vanuit werd gegaan. Dit geeft aanleiding tot toekomstvisies zoals van **Geert van der Meulen**, waarbij delen van Nederland opgegeven moeten worden. Het is zeer onduidelijk op welke termijn dergelijke beleidsopties in beeld komen. Als we ons beperken tot een tijdshorizon die binnen handbereik is, dan wordt bij een versterkingsopgave steeds vaker een optie aantrekkelijk waarbij een bredere zone dan enkel de dijk wordt gereserveerd voor het keren van water. De duinen langs de Noordzeekust zijn een bekend voorbeeld van een brede verdedigingslinie tegen stormvloed, die tegelijkertijd ruimte biedt aan natuur, recreatie en drinkwatervoorziening. Zo'n brede zone biedt ruimte en flexibiliteit om de waterkering mee te laten groeien met klimaatverandering.

Brede waterkerende zones

Geïnspireerd door de duinenkust kunnen ook dijken omgevormd worden tot een brede waterkerende zone. Er vallen de volgende soorten brede dijkzones te onderscheiden, die momenteel worden geïmplementeerd of overwogen in Nederland (zie figuur 1):

- (a) Een dijk kan worden omgevormd tot een zogenaamde hybride kering door het aanleggen van een **zandig voorland** voor de dijk. Dit zandige voorland kan fungeren als de volledige sterkte van de dijk, zoals bij de versterking van de Houtribdijk die momenteel wordt uitgevoerd. Het ultieme geval is te vinden voor de voormalige Hondsbossche en Pettemer Zeewering, waar zelfstandig kerende duinen zijn aangelegd. Bij een slankere en goedkopere uitvoering fungeert het voorland als belastingrem: golven nemen af in hoogte boven het voorland door golfbreking. Hierdoor neemt de golfaanval op de dijk af, waardoor er minder golfoverslag optreedt. Een dergelijke hybride oplossing is gekozen voor de Westkapelse Zeedijk.
- (b) In plaats van een zandig voorland kan ook worden gekozen voor de aanleg van een **begroeid voorland**. Daarbij is het van belang om te realiseren dat het de natuur is die bepaalt of er wel of geen vegetatie gaat ontwikkelen op het voorland. De ontwerper kan hooguit proberen de juiste fysische omstandigheden te creëren. Zo faalden pogingen om riet rond de waterlijn van de pilot voorlandoplossing Houtribdijk te krijgen. Langs veel dijken in de Zeeuwse Delta en Waddenzee zijn

wel begroeide voorlanden te vinden. Deze worden aangeduid als schorren als sprake is van een min of meer natuurlijk systeem, en als kwelders bij menselijk ingrijpen via rijshouten dammen en ontwateringsgreppels (de zogenaamde 'kwelderwerken'). Omdat kwelders en schorren zich rond springtijniveau bevinden, hebben zij evenals zandige voorlanden een sterke invloed op golven die de dijk kunnen bereiken. Ook hier speelt golfbreking een grote rol. Aanvullend daarop heeft het begroeide bodemoppervlak ook nog een relatief hoge ruwheid, wat bij brede voorlanden extra golfdemping tot gevolg heeft.

- (c) Op sommige plekken zijn de hydrodynamische condities ongunstig voor de aanleg van een zandig of begroeid voorland. Sterke erosie kan zorgen voor een grote onderhoudsbehoefte, of golfwerking kan te sterk zijn om vegetatie een kans te geven zich te vestigen. Om erosie en golfaanval te weren, kan het aantrekkelijk zijn om te kiezen voor **slikken en schorren tussen twee keringen**, waarbij een landschap ontstaat met kreken en schorren tussen een voorliggende kering en de primaire waterkering. Dit type kering is nog niet toegepast in Nederland, maar inspiratie voor dit concept kan worden gevonden in de Perkpolder langs de Westerschelde en het Rammegors langs de Oosterschelde. Als buitendijks ruimtebeslag beperkend is, kan ook de bestaande kering worden omgevormd tot voorliggende kering. De primaire kering wordt dan teruggelegd, analoog aan Ruimte voor de Rivier projecten zoals bij Nijmegen, of de herinrichting van de Hedwigepolder. Tijdens vloed worden water en sediment ingelaten. Tussen beide dijken ontstaat ruimte voor natuurontwikkeling en aquacultuur. De voorliggende kering fungeert als golfbreker, en schermt de primaire kering vrijwel geheel af van golfwerking.
- (d) Een alternatieve invulling van deze inrichtingsvariant is de zogenaamde **dubbele dijk**. Deze variant is onder andere onderzocht binnen de Projectoverstijgende Verkenning (POV) Waddenzeedijken, en zal worden toegepast binnen het dijkversterkingsproject Eemshaven-Delfzijl over een lengte van 2,5 km. Het idee is dat de zeewaartse kering vaker golfoverslag te verduren zal krijgen, door een relatief lage kruinhoogte. Het binnentalud wordt versterkt, om meer overslag te kunnen doorstaan. De tweede dijk, aan de landzijde, dient enkel voor het keren van water dat tijdens zware stormen over de dijk slaat. Tijdens dagelijkse omstandigheden wordt getij binnen gelaten via een getijdenduiker, zodat er ruimte ontstaat voor getijdenatuur, zilte aardappelteelt of aquacultuur.

Bewijs voor het effect van kwelders

Binnen het onderzoeksproject BE SAFE is specifiek onderzoek gedaan naar de invloed van kwelders en schorren op de doorbraakkans van dijken (inrichtingsvariant b uit figuur 1). De onderzoeksresultaten zijn toegepast in de Projectoverstijgende Verkenning (POV) Waddenzeedijken (Arcadis, Deltares en HKV, 2017 & 2018) binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma. Bij de Waddenzeedijken gaat het dan om kwelders, die te vinden zijn in de Dollard en langs grote delen van de noordelijke kust van Friesland en Groningen (zie figuur 2). Deze kwelders zijn het resultaat van kwelderwerken, waarbij sediment wordt ingevangen en vastgehouden met hulp van rijshouten dammen. Consolidatie tot stevige klei wordt bevorderd door het graven van greppels voor de afwatering. De aangroei van kwelders werd eeuwenlang gestimuleerd door boeren en landeigenaars in Duitsland en Nederland, omdat het aangegroeide land in hun bezit kwam. Op dit moment worden de kwelders enkel nog in stand gehouden door Rijkswaterstaat met het oog op behoud van ecologisch waardevol areaal, en vanwege de pachters die hun vee laten grazen op dit buitendijkse land.

De aanwezigheid van de kwelders zorgt voor een aanzienlijk lagere golfaanval op de achterliggende dijk. Dit is te zien tijdens zware stormen, zoals in de luchtfoto uit figuur 2. Deze is genomen tijdens een inspectievlucht na de zware storm van 8 November 2007, met een piekwaterstand van bijna 4 m+NAP bij Eemshaven. De veekrand met aangespoeld materiaal laat het niveau van de maximale golfloop

tegen de dijk zien. Deze veekrand ligt duidelijk veel lager achter de kwelders (4,5 m+NAP, 0,7 m golfoploop) dan achter het kale wad verder weg op de foto (>7,0 m+NAP, meer dan 3 m golfoploop). In 2015 en 2017 volgen dezelfde patronen uit metingen binnen BE SAFE.

De werking uitgelegd

De kwelder beperkt de golfhoogte op twee manieren. Allereerst breken golven op de hoog gelegen bodem, vergelijkbaar met de werking van een zandig voorland. Een hardnekkig misverstand is dat kwelders hun effectiviteit zouden verliezen bij zeer hoge waterstanden, omdat ze dan ver onder water liggen. Het is niet de waterdiepte op zichzelf die bepaalt hoe sterk golven worden gedempt, maar de verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte boven de kwelder. Tijdens stormen groeien golven in de ondiepe Waddenzee mee als de waterstand stijgt, omdat de golven diepte-gelimiteerd zijn. Een hogere waterstand resulteert dan rechtstreeks in hogere golven, die de bodem evenzeer voelen als kleinere golven op ondiep water. De tweede oorzaak is de kweldervegetatie. Hoewel deze tijdens extreme stormen grotendeels af zal breken, blijft toch nog een stoppelig bodemoppervlak over met een hogere bodemruwheid dan kaal slik. De golven worden dus ook tijdens extreme stormen nog sterk beïnvloed door de hoge ligging en ruwe bodem van de kwelders.

De golfdemping heeft gevolgen voor de faalkans van de Waddenzeedijken. Berekeningen in Vuik et al. (2018) tonen aan dat een dijk met kruin op NAP+8 m bij aanwezigheid van onbegroeid wad voor de dijk (gelegen op gemiddeld zeeniveau) zal bezwijken bij een waterstand van NAP+5,4 m in combinatie met een significante golfhoogte van 2,1 m. Bij aanwezigheid van een kwelder (bodempligging tussen 1,5 en 2,0 m boven NAP) is een hogere waterstand nodig om de dijk te laten bezwijken: NAP+5,7 m, omdat deze dan gepaard gaat met een lagere golfhoogte bij de dijk: 1,7 m. Die hogere waterstand is aanzienlijk zeldzamer, waardoor de faalkans afneemt met een factor 10. De totale invloed van de kwelders op de vereiste dijkhoogte, in vergelijking met onbegroeide slikken, varieert volgens de verkenning voor de POV Waddenzeedijken tussen 0,2 en 0,5 m.

Golven kunnen de dijk niet alleen laten doorbreken door golfoverslag over de kruin, maar ook door de gras- of asfaltbekleding op het buitentalud te beschadigen, en vervolgens de dijk van buitenaf te eroderen. De invloed van kwelders op dit mechanisme is bij de Waddenzeedijken nog sterker dan de invloed op de benodigde dijkhoogte (zie Vuik et al. 2018). Het effect van de kwelderbodem op de significante golfhoogte bedraagt bij de dijkteen ongeveer 0,5 m. Daarbovenop komt nog het effect van de ruwe bodem op de golfhoogte van ongeveer 0,2 m, waardoor de golfbelasting op de bekleding ongeveer 50% lager komt te liggen dan in het geval van onbegroeide slikken. Dit opent mogelijkheden voor het combineren van kwelders met een grasbekleding (bijvoorbeeld op brede groene dijken), als goedkoper en duurzamer alternatief voor een asfaltbekleding, zoals die nu op het grootste deel van de Waddenzeedijken ligt.

Rijkswaterstaat besteedt jaarlijks €800.000 aan het onderhoud van de Friese en Groninger kwelderwerken, wat neerkomt op €22 per meter dijk per jaar (zie Vuik et al. 2019). Zonder dit onderhoud zouden de rijshouten dammen vergaan, waardoor volgens de Werkgroep Onderzoek Kwelderwerken (Dijkema et al. 2011) de kwelders op termijn zouden eroderen en veranderen in lager gelegen en onbegroeid wad. Vanwege het effect op de golfbelasting hebben de beheerders van de waterkering dus groot belang bij de onderhoudswerkzaamheden van Rijkswaterstaat.

De bodem van kwelders bereikt uit zichzelf geen niveau boven het bereik van springtij, omdat alleen daaronder natuurlijke sedimentatie kan plaatsvinden. Natuurwaarde en golfdemping zouden eventueel nog verder kunnen worden vergroot door een deel van de bestaande oude kwelders te verlagen en

daarmee te verjongen (wat ecologisch gezien aantrekkelijk is), en het vrijkomende materiaal te gebruiken voor een zone van circa 50 m breed langs de dijk, aanzienlijk boven het natuurlijke bodemniveau van de kwelders. Een dergelijk voorland reduceert golven nog veel sterker dan de huidige kwelders (zie Vuik et al., 2019).

Voorlanden zorgen dus voor een sterke reductie van de kans dat de dijk doorbreekt als gevolg van golfoverslag, of door erosie van het buitentalud na bezwijken van de dijkbekleding door golfklappen. Er is ook een positieve invloed op de geotechnische faalmechanismen macro-instabiliteit (door het gewicht van het voorland tegen de dijk) en piping (bij een toplaag van klei).

Inpassing van brede waterkerende zones

Nederland kent 3.447 km primaire waterkeringen. Ongeveer 1.500 km daarvan betreft dijken rond grote wateren (Waddenzee, Zuid-Westelijke Delta, Merengebied), waar golfwerking veelal dominant is voor de veiligheid. Als deze keringen omgevormd zouden worden tot brede waterkerende zones, heeft dit aanzienlijke consequenties voor het landgebruik. Dit verhoogt de noodzaak van het koppelen van waterveiligheid met andere functies, zoals natuur, recreatie, zilte of zoete aquacultuur of landbouw. Een goed voorbeeld zijn de reeds genoemde kwelders langs de Waddenzeedijken, waar de buitendijkse gronden worden verpacht aan veehouders. Een integrale en multidisciplinaire blik is nodig om brede waterkerende zones optimaal in te richten.

Het recente onderzoek in BE SAFE heeft laten zien dat voorlanden goed ingepast kunnen worden in een moderne veiligheidsfilosofie op basis van overstromingskansen. Onzekerheid over het functioneren van het voorland wordt daarbij integraal meegenomen in de probabilistische berekening van de overstromingskansen van de dijk. Op elke plek kan locatiespecifiek aangetoond worden in hoeverre voorlanden kunnen bijdragen aan het reduceren van het overstromingsrisico. Het is dus vooral een kwestie van bestuurlijke wil of voorlanden ook daadwerkelijk worden overwogen in de voorbereiding van dijkversterkingsprojecten.

In tijden van grote onzekerheid over toekomstige zeespiegelstijging wordt adaptief deltamanagement steeds relevanter. Adaptief betekent onder andere om waterkeringen flexibel en aanpasbaar in te richten; brede waterkerende zones passen uitstekend binnen dit beleid. Het kost ruimte, maar veel minder dan het opgeven van hele dijkkringen, zoals in toekomstvisies zoals geschetst in figuur 5. De houdbaarheidsdatum van reguliere dijkversterking is dus nog lang niet verstreken. De toekomstbestendigheid van wonen onder zeeniveau kan nog verder worden vergroot door een transitie naar een combinatie van dijken en voorlanden.

Vincent Vuik is adviseur bij HKV lijn in water en promoveert op 27 maart 2019 aan de TU Delft op het proefschrift "Building Safety with Nature: Salt marshes for flood risk reduction".

Referenties

Arcadis, Deltares en HKV (2017). Effectiviteit Voorlanden HR. Onderzoeksrapportage POV Waddenzeedijken, Fase B. 31 maart 2017.

Arcadis, Deltares en HKV (2018). Effectiviteit Voorlanden HR. Onderzoeksrapportage POV Waddenzeedijken, Fase C. 12 maart 2018.

Dijkema, K.S., Van Duin, W.E., Dijkman, E.M., Nicolai, E., Jongerius, H., Keegstra, H., Van Egmond, L., Venema, H.J., Jongsma, J.J. (2011). Vijftig jaar monitoring en beheer van de Friese en Groninger kwelderwerken: 1960-2009. WOt-werkdocument 229. Wageningen.

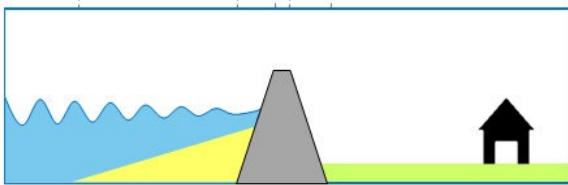
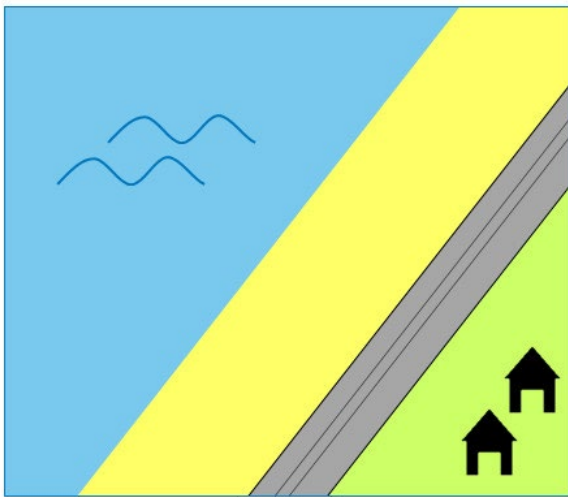
KNMI (1961). Verslag over de stormvloed van 1953. Staatsdrukkerij, Den Haag, 714 pp.

Stijnen, J.W., Kanning, W., Jonkman, S.N., Kok, M. (2014). The technical and financial sustainability of the Dutch polder approach. *Journal of Flood Risk Management*, 7, 3–15.

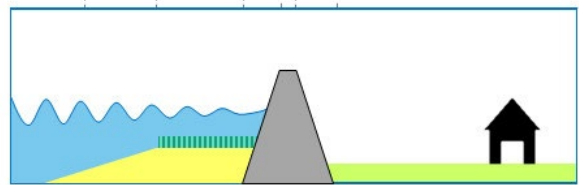
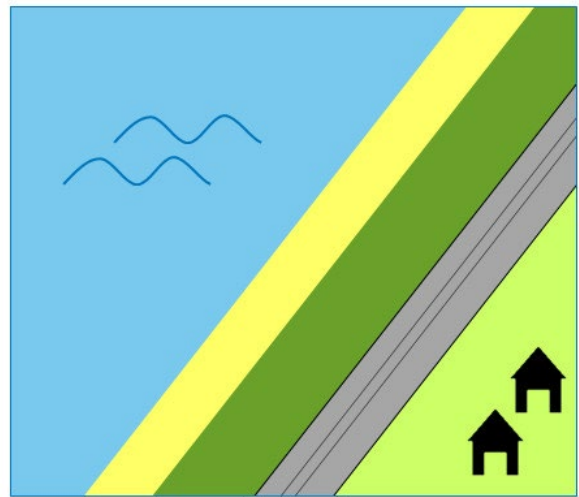
Van Loon-Steensma, J.M., Slim, P.A., Vroom, J., Stapel, J. & Oost, A.P. (2012). Een dijk van een kwelder: een verkenning naar de golfreducerende werking van kwelders. Wageningen, Alterra. Januari 2012.

Vuik, V., Van Vuren, S., Borsje, B.W., van Wesenbeeck, B.K., Jonkman, S.N. (2018). Assessing safety of Nature-based Flood Defenses: dealing with extremes and uncertainties. *Coastal Engineering*, 139, 47–64.

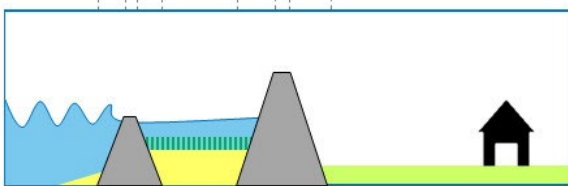
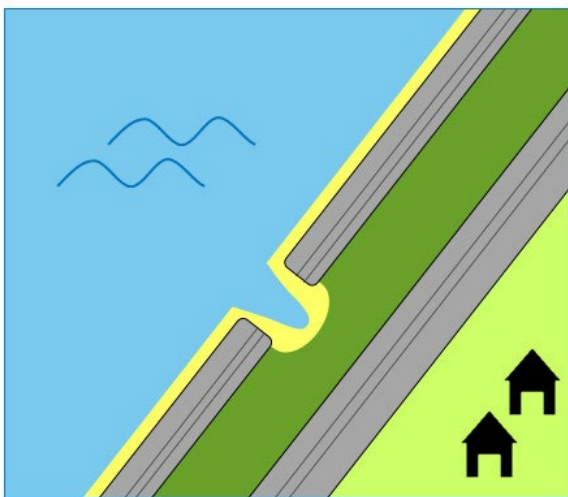
Vuik, V., Borsje, B.W., Willemsen, P.W.J.M., Jonkman, S.N. (2019). Salt Marshes for Flood Risk Reduction: quantifying Long-Term Effectiveness and Life-Cycle Costs. In review.



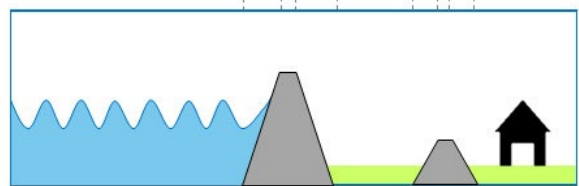
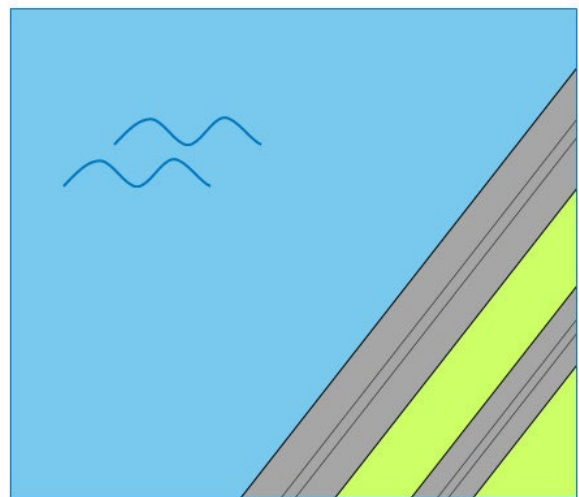
(a) Dijk met zandig voorland



(b) Dijk met begroeid voorland



(c) Slikken en schorren tussen keringen

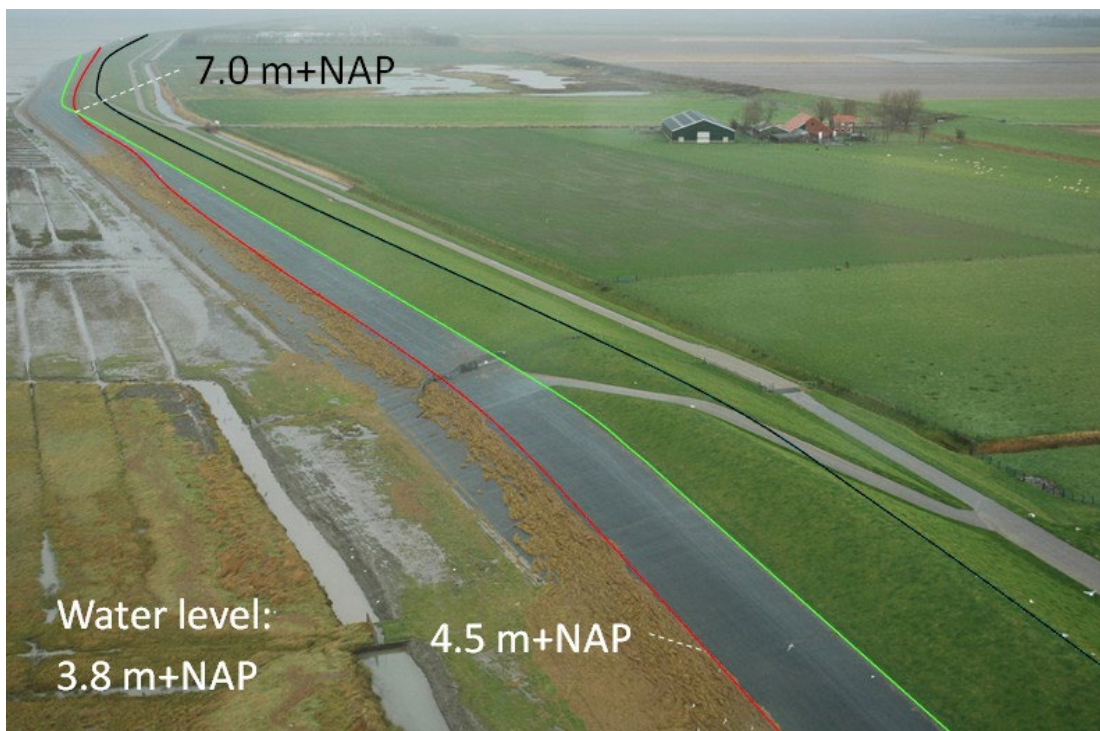


(d) Dubbele dijk

Figuur 1: Mogelijke inrichtingsvarianten voor brede natuurlijke zones



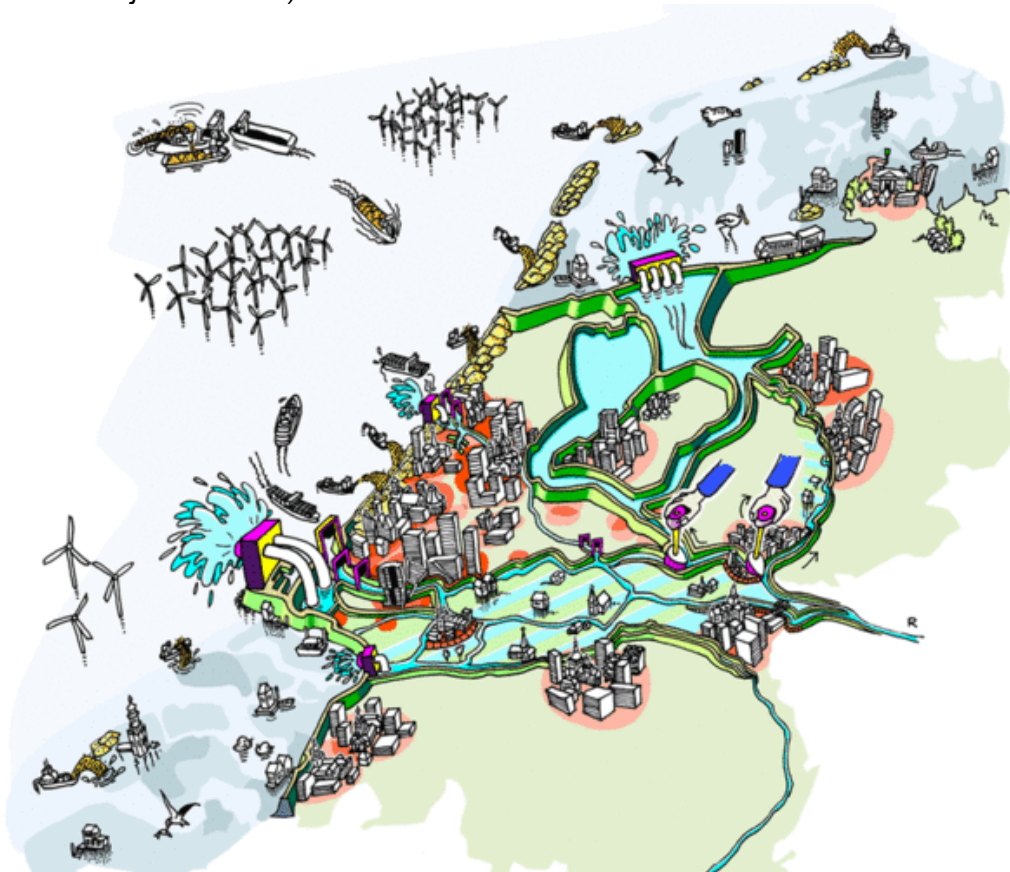
Figuur 2: Kwelders in de Waddenzee langs de vastelandskust en op de eilanden (Van Loon-Steensma et al., 2012).



Figuur 3: Luchtfoto na de storm van 8-9 November 2007 in de Waddenzee, waarop de veekrand te zien is op de dijk bij de overgang van kwelders naar onbegroeide slikken voor deze Emmapolderdijk (Foto: Waterschap Noorderzijlvest). De groene lijn is geplaatst op de overgang van asfalt naar gras op het talud, op ongeveer 7 m+NAP. De rode lijn toont de bovenzijde van de veekrand.



Figuur 4: Uitgestrekte kwelders langs de Waddenzeedijken van de provincie Groningen, met de Waddenzee en kwelders aan de rechterzijde, en het binnendijkse gebied aan de linkerzijde van de dijk (foto: Beeldbank Rijkswaterstaat).



Figuur 5: Met begroeide vooroevers kan dit beeld langer worden uitgesteld... (Bron Delft Integraal / Carof Beeldleveranciers)