



Verkenning Innovatieve Dijken in het Waddengebied

Een verkenning naar mogelijkheden voor innovatieve dijken in het Waddengebied

Alterra-rapport 2294
ISSN 1566-7197

Jantsje M. van Loon-Steensma, Harry A. Schelfhout, Niels M.L. Eernink en Maurice P.C.P. Paulissen

Verkenning Innovatieve Dijken in het Waddengebied

Deze verkenning is uitgevoerd binnen het kader van het Deltaprogramma Deelprogramma Waddengebied en maakt ook deel uit van thema 1 'Veiligheid tegen overstroming' van het *Kennis voor Klimaat* Programma.
Projectcode: BO-11-015-003 (Gebiedsgericht deltaprogramma).

Verkenning Innovatieve Dijken in het Waddengebied

Een eerste verkenning naar mogelijkheden voor innovatieve dijken in het Waddengebied

Jantsje M. van Loon-Steensma¹, Harry A. Schelfhout², Niels M.L. Eernink², Maurice P.C.P. Paulissen³

- 1 Wageningen University; Earth System Sciences - Climate Change Group
- 2 Deltares, Geo engineering, Dikesafety
- 3 Alterra, Centrum Landschap; onderdeel van Wageningen UR

Alterra-rapport 2294

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2012

Referaat

Loon-Steensma, J.M. van, H.A. Schelfhout, N.M.L. Eernink en M.P.C.P. Paulissen, 2012. *Verkenning Innovatieve Dijken in het Waddengebied; Een eerste verkenning naar mogelijkheden voor innovatieve dijken in het Waddengebied*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2294. 104 blz.; 29 fig.; 4 tab.; 42 ref.

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van innovatieve dijkconcepten. Op basis daarvan is in nauwe samenwerking met vertegenwoordigers van de vier Noordelijke waterschappen nagegaan op welke dijktrajecten langs de Waddenzee innovatieve dijkconcepten mogelijk zijn. Innovatieve dijkconcepten kunnen goedkoper zijn, 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. In de verkenning zijn ook de bouwstenen geschetst van een methode voor het bepalen van de meerwaarde van innovatieve dijkconcepten ten opzichte van de huidige dijk. Deze verkenning is verricht in opdracht van het Deltaprogramma Waddengebied 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: Innovatieve dijken, Waddengebied.

Dit rapport is gereviewd door Prof. dr. ir. P. Vellinga (Wageningen UR en *Kennis voor Klimaat*), Ir. E. Tromp (Deltares) en M. Tangelder MSc (Imares, onderdeel van Wageningen UR).

ISSN 1566-7197

De foto's op de omslag en in het rapport zijn gemaakt door Jantsje M. van Loon-Steensma.

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2012 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2294

Wageningen, februari 2012

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding voor de studie	13
1.2 Doel van de verkenning en specifieke vragen	14
1.3 Afbakening	14
1.4 Werkwijze	16
1.5 Leeswijzer	16
2 Brede context: innovatieve dijken en waterveiligheid	17
2.1 Aandacht voor innovatieve dijkconcepten	17
2.1.1 Klimaatverandering en innovatieve dijkconcepten	17
2.1.2 Robuust	18
2.1.3 Nieuwe mogelijkheid voor het combineren van functies en medefinanciering	18
2.2 Veiligheidsaspecten	19
2.2.1 Dijkringgebieden en veiligheidsnormen	19
2.2.2 Wettelijk toetsinstrumentarium	20
2.2.3 Resultaten 3 ^e toetsronde	21
2.2.4 Ontwerp van de waterkering	21
2.2.5 Beheer	22
2.2.6 Toekomstige ontwikkelingen in het waterveiligheidsbeleid	22
3 Huidige waterkeringen	25
3.1 Standaard zeedijk	25
3.2 Duinen	26
3.3 Kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies	26
3.4 Niet-waterkerende objecten	27
3.5 Huidige dijken in het Waddengebied	27
4 Innovatieve dijken	31
4.1 Categorieën innovatieve concepten	31
4.2 'Longlist' van waterkeringsconcepten	32
4.2.1 Traditionele dijken	33
4.2.2 Innovatieve dijken	33
4.2.3 Hybride keringen	38
4.2.4 Eco-engineering	40
4.2.5 Dynamisch stabiele oplossingen	45
4.2.6 Kunstwerken en bijzondere constructies	46
5 Verkenning innovatieve dijken in het Waddengebied	49

6	Bouwstenen voor een afwegingskader	53
6.1	Afweging van belangen	53
6.2	Instrumenten voor afweging	53
6.3	Organisatie en proces	55
6.4	Andere ontwikkelingen en uitgangspunten	56
6.5	Vergelijkingssystematiek Deltaprogramma	57
6.6	Eerdere verkenningen innovatie waterkeringen	57
6.7	Verbinding innovatie en dijkversterkingsproces	58
7	Resumé en aanbevelingen	59
	Literatuur	63
Bijlage 1	Faalmechanismen	67
Bijlage 2	Memo waterveiligheidsopgave	79
	1. Inleiding	79
	2. Nieuwe afkeuringen in derde toetsronde	80
	3. Kosten veiligheidsopgave door de derde toetsronde	87
	4. Verschil tweede en derde toetsronde	88
	5. Conclusies	89
	6. Referenties	90
Bijlage 3	Karakteristieken van het Waddengebied	91
	1. Landschap	91
	2. Fysisch-geografische kenmerken van het Waddengebied	91
	3. Socio-economische kenmerken van het Waddengebied	94
	4. Ecologische kenmerken van het Waddengebied	96
Bijlage 4	Kaarten van dijktrajecten in het Waddengebied en tabellen met mogelijke innovatieve dijken	99

Samenvatting

De vastelandskust van Groningen en Fryslân en de Waddeneilanden worden beschermd tegen hoogwater in de Waddenzee door dijken. Uit de laatste veiligheidstoetsing van de primaire waterkeringen is gebleken dat vooral door problemen met de dijkbekleding grote dijktrajecten in het Waddengebied niet meer voldoen aan de veiligheidsnorm. De opgave om de primaire waterkering weer aan de veiligheidsnorm te laten voldoen biedt kansen voor de toepassing van nieuwe dijkconcepten in het Waddengebied. Innovatieve dijkconcepten kunnen goedkoper zijn, 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.

Dit rapport beschrijft een verkenning naar de mogelijkheden voor innovatieve waterkeringen in het Waddengebied. De verkenning is uitgevoerd in het kader van het Deltaprogramma Waddengebied. Het Deltaprogramma Waddengebied heeft als doel om te onderzoeken hoe de waterveiligheid van het Waddengebied op de lange termijn verzekerd kan worden waarbij ook de natuur en de ruimtelijke kwaliteit behouden blijven.

In deze verkenning is gekeken naar de volgende onderzoeksvragen:

- Welke innovatieve dijkconcepten zijn er?
- Welke innovatieve dijkconcepten zijn er mogelijk in het Waddengebied?
- Waar zouden innovatieve dijkconcepten eventueel in het Waddengebied toepasbaar zijn?
- Wat zijn de bouwstenen voor de ontwikkeling van een afwegingsmethodiek voor de bepaling van de meerwaarde van innovatieve dijkconcepten?

Er worden momenteel veel nieuwe dijkconcepten ontwikkeld onder meer vanwege het toegenomen restrisico en de aandacht voor de effecten van klimaatverandering. Soms zijn er verschillende benamingen in omloop voor vergelijkbare innovatieve dijkconcepten. Op basis van eerdere verkenningen is een (niet uitputtende) 'longlist' van (innovatieve) dijkconcepten opgesteld:

Traditionele dijken

Innovatieve dijken

Enkelvoudige dijk als onderdeel van dijkkring (seriesysteem)

- Basisconcepten:
 - Overslagbestendige dijk
 - Overstroombare dijk (ook toepasbaar in parallelsysteem)
- Robuuste concepten:
 - Onoverstroombare dijk
 - Deltadijk
 - Klimaatdijk/Multidijk
 - Superdijk/Terpendijk

Meerdere dijken achter elkaar (parallelsysteem)

- Dubbele dijk/Trippe dijk (Waker-Slaper-Dromer)

Hybride keringen

- Dijk-in-duin
- Dijk-in-boulevard

Eco-Engineering

- Biobouwers
- Oeverdijk
- Drijvend moeras
- Rijke dijk
- Dijk met kwelderwal

Dynamisch stabiele oplossingen

- Zandsuppleties
- Zandmotor
- Nieuwe duinen
- Zachte zeewering met sediment en vegetatie

Kunstwerken en bijzondere constructies

- Kunstwerk geïntegreerd met bebouwing
- Functie scheidende schermen
- Demontabele kering
- Standaard dijk met innovatieve elementen

In nauwe samenwerking met vertegenwoordigers van de vier Noordelijke waterschappen (Waterschap Hunze en Aa's, Waterschap Noorderzijlvest, Wetterskip Fryslân en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) is nagegaan welke innovatieve dijkconcepten op de verschillende dijkstrekkingen in het Waddengebied mogelijk zijn (zie kaart). Hoewel de mogelijkheden sterk locatie-specifiek zijn, lijken vooral de 'rijke dijk' en een 'standaard dijk met innovatieve elementen' op verschillende plaatsen mogelijk en qua lokale omstandigheden interessant. Vooral in bebouwd gebied zijn de concepten 'dijk geïntegreerd met bebouwing' en 'functie scheidende schermen' aangemerkt als mogelijk en interessant. Concepten als 'deltadijk', 'superdijk/terpendijk' en 'klimaat-/multidijk' zijn vooral interessant in bebouwd gebied zonder historische bebouwing tegen of op de dijk, en waar enige ruimte is voor over-gedimensioneerde dijken. Concepten als de 'overslagbestendige dijk' en 'overstroombare dijk' zijn vooral als mogelijk en interessant aangemerkt in landelijk gebied zonder veel bebouwing, met landbouwgronden, polders of water (bv. het Amstelmeer) achter de dijk. Concepten als 'biobouwers', 'oeverdijk' en 'dijk met kwelderwal of kweldernok' lijken vooral interessant op locaties waar zich al kwelders voor de dijk bevinden, en/of waar natuurgebieden zijn. Concepten als 'dubbele/triple dijken' zijn interessant op locaties waar nog oude slaper- en/of dromerdijken liggen.

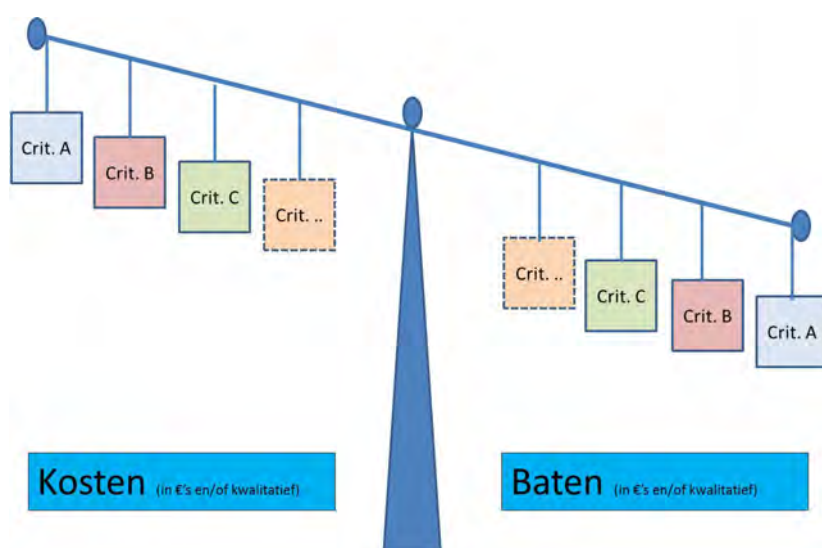
Voor iedere dijkstrekking lijken in elk geval één of een paar innovatieve concepten mogelijk. Maar iedere locatie vereist maatwerk, en voor elke situatie moet worden gezocht naar de meest geschikte dijk aanpassing, c.q. dijkconcept, afgestemd op de waterveiligheidsopgave, de hydraulische omstandigheden, maar ook op de lokale fysische en sociaal-economische omstandigheden én op de wensen en plannen voor het gebied. Om een goede keuze te maken voor een dijkconcept, en de eventuele meerwaarde van een innovatief dijkconcept te bepalen, moeten de verschillende belangen tegen elkaar worden afgewogen. Daarbij zijn zowel de keuze van de wegingscriteria (de aspecten), de waardering van de criteria, en het gewicht dat aan elk criterium wordt toegekend belangrijk (zie figuur). Dit is locatie specifiek, en meestal spelen zowel experts als lokale stakeholders een rol in het bepalen van de relevante beoordelingsaspecten in het afwegingsproces. Voor elke locatie moet worden vastgesteld welke aspecten belangrijk zijn. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van tools als de *dyqualizer* of *serious gaming*. In elk geval vraagt iedere situatie om maatwerk.



Mogelijke beoordelingsaspecten in de afweging:

- Waterveiligheid
 - Normen
 - Robuustheid
 - Flexibiliteit
- Beheer en onderhoud
- Passend bij fysische gebiedskenmerken
- Sociaal-economische impact
- Ecologie
- Gebruiksfuncties (o.a. welke functies, multifunctionaliteit)
- Beleving gebruikers
- Ruimtelijke kwaliteit
- Cultuurhistorie
- Kosten
- Aansluiting met andere plannen en beleidsvoornemens
- Juridisch kader
-

Factoren om een afweging op te baseren zijn bijvoorbeeld kosten-baten, kosteneffectiviteit, beheer en onderhoud, multifunctionaliteit, robuustheid/duurzaamheid, risico-reductie, efficiëntie, implementeerbaarheid, gelijkwaardigheid, urgentie en trade-off effecten. Instrumenten om tot een afweging te komen zijn bijvoorbeeld de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en/of multicriteria-analyse (MCA).



Figuur

Om een afweging te maken zijn belangrijk i) de wegingscriteria (aspect A, B, C, etc.), ii) de waardering van de criteria, en iii) het gewicht dat aan elk criterium (plaats op de weegschaal) wordt toegekend.

Aanbevelingen

De belangrijkste aanbeveling is om voor één of meer pilotlocaties een participatief proces te initiëren waarbij wordt geprobeerd om met stakeholders de meerwaarde van innovatieve concepten vast te stellen (in feite het

vaststellen van de criteria en de wegingsfactoren voor een multi-criteria analyse), en de afwegingsmethodiek verder te ontwikkelen.

Deze pilot locaties moeten worden gekozen door Cluster 2 Veiligheidsstrategieën en de Stuurgroep van het Deltaprogramma Waddengebied in samenspraak met de stakeholders en onderzoekers.

Wel komt uit de scoretabellen voor de innovatieve concepten naar voren dat, afhankelijk van de situering van de dijk in het gebied, een aantal oplossingsrichtingen interessant kunnen zijn voor een nadere uitwerking:

- basisconcepten in landelijk gebied zonder bebouwing
- robuuste concepten in gebieden waar veel ruimte beschikbaar is
- parallelle dijken in gebieden waar die nu ook al aanwezig zijn
- eco-engineeringsconcepten bij dijken met kwelders of natuurgebieden
- kunstwerken en bijzondere constructies in bebouwde gebieden met veel infrastructuur.

Het is belangrijk om een breed palet aan stakeholders in het proces te betrekken (van beleidsmakers, bewoners, maatschappelijke organisaties, bedrijven tot ook de ontwerpers van de waterkeringen binnen de waterschappen) vanwege de inbreng van expertise en het verkrijgen van draagvlak.

Vanzelfsprekend is het belangrijk om het participatieve proces met de stakeholders goed te begeleiden en te ondersteunen met kennis en informatie. Zo moet bijvoorbeeld na worden gegaan wat de mogelijke impact is van de maatregelen op de betreffende locatie(s) en wat het betekent voor de belanghebbenden.

Samenwerking en afstemming met de andere onderzoeksprojecten in het Deltaprogramma Wadden (in alle drie clusters) is een voorwaarde.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor de studie

De vastelandskust van Groningen en Fryslân en de Waddeneilanden worden beschermd tegen hoogwater in de Waddenzee door dijken. De dijken langs de Groninger, de Friese kust en langs Wieringen en op het eiland Texel moeten het achterland beschermen tegen extreme hoogwaterstanden die eens per 4000 jaar voorkomen. De dijken op de Waddeneilanden Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling en Vlieland moeten bestand zijn tegen waterstanden die eens per 2000 jaar voorkomen en de dijken van Noord-Holland tegen waterstanden die eens per 10.000 jaar voorkomen. Veel van de dijken langs de kust zijn in de loop der eeuwen opgeschoven richting Waddenzee met als doel vruchtbare kweldergronden in te polderen voor agrarisch gebruik. De oude dijken zijn op vele plaatsen nog goed in het landschap te herkennen en vormen als het ware schillen langs de Waddenkust. Langs grote delen van de vastelandskust bevinden zich kwelders. Veel van deze kwelders en zomerpolders langs de Friese en Groningse vastelandskust zijn als kwelderwerken ontwikkeld. Deze kwelders worden nu beschermd vanwege hun natuurwaarden. Het land achter de dijk is vooral in gebruik als agrarisch gebied: grasland en akkerbouwland (zie ook bijlage 3 voor de belangrijkste gebiedskenmerken). Het gebied achter de dijk heeft een open karakter en wordt gekenmerkt door weidsheid. Langs de kust zijn ook een aantal havensteden en industriegebieden, zoals Den Helder, Den Oever, Harlingen, Lauwersoog, de Eemshaven en Delfzijl.

Uit de laatste veiligheidstoetsing van de primaire waterkeringen is gebleken dat vooral door problemen met de dijkbekleding grote dijktrajecten in het Waddengebied niet meer voldoen aan de veiligheidsnorm. De opgave om de primaire waterkering weer aan de veiligheidsnorm te laten voldoen biedt kansen voor de toepassing van nieuwe dijkconcepten in het Waddengebied. Innovatieve dijkconcepten kunnen goedkoper zijn, 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. Vanzelfsprekend zijn er vele vragen over bijvoorbeeld wat die nieuwe dijkconcepten dan zouden zijn, waar ze eventueel kunnen worden toegepast, wat de voor- en nadelen zijn, wie de kosten draagt en wat de meerwaarde is ten opzichte van de huidige dijkconcepten. Dit was aanleiding voor het Deltaprogramma Waddengebied om een verkenning naar de mogelijkheden voor innovatieve waterkeringen in het Waddengebied te initiëren.

Het Deltaprogramma is een nationaal programma waarin Rijksoverheid, provincies, waterschappen en gemeenten samenwerken met als doel om ervoor te zorgen dat er zekerheid is over de lange-termijn waterveiligheid en over de beschikbaarheid van voldoende zoet water. Het Nationaal Waterplan (NWP) vormt het beleidskader voor het Deltaprogramma. Het Deelprogramma Waddengebied is één van de negen deelprogramma's in het Deltaprogramma en wordt vanwege de belangrijke natuurwaarden van de Waddengebied getrokken door het ministerie van Economische zaken, Landbouw & Innovatie (EL&I). Het Deelprogramma Waddengebied heeft als doel om te onderzoeken hoe de waterveiligheid van het Waddengebied op de lange termijn verzekerd kan worden, waarbij ook de natuur en de ruimtelijke kwaliteit behouden blijven (Ministerie van Verkeer en Waterstaat et al., 2010).

In 2010 zijn naar aanleiding van de vragen van de diverse stakeholders door de Stuurgroep Deltaprogramma Waddengebied de belangrijkste vragen voor het Waddengebied geïdentificeerd en acht deelonderwerpen benoemd. De mogelijkheden voor innovatieve dijken in het Waddengebied is één van de deelonderwerpen.

Door de Stuurgroep Deltaprogramma Waddengebied, waarin waterschappen, gemeenten en provincies zijn vertegenwoordigd, zijn als belangrijke beleidsvragen geformuleerd:

1. *Waarom zouden we in het Waddengebied andere dijkconcepten willen hebben?*
2. *Welke karakteristieken zijn dan essentieel om in het nieuwe dijkconcept toe te voegen?*
3. *Hoe passen nieuwe dijkconcepten in de regelgeving die de realisatie beheerst?*
4. *Hoe passen nieuwe dijkconcepten binnen de realisatie van andere beleidsdoelen dan veiligheid en welke beleidsafwegingen moeten vóór realisatie noodzakelijk plaatsvinden?*

H.A. Schelfhout (Deltares) en H. Groen (Waterschap Noorderzijlvest) stelden naar aanleiding van deze beleidsvragen en in samenspraak met de diverse stakeholders een concept-onderzoekprogramma op. De voorliggende verkenning vormt fase 1 in het onderzoeksprogramma. In fase 2 wordt via pilots voor een aantal specifieke locaties ingezoomd op de kansen en randvoorwaarden voor innovatieve dijken en wordt in nauwe samenwerking met stakeholders de afwegingsmethodiek verder ontwikkeld. Dan wordt duidelijk wat de specifieke meerwaarde is voor andere dijkconcepten in het Waddengebied.

1.2 Doel van de verkenning en specifieke vragen

De doelstellingen van de voorliggende verkenning (fase 1 in het onderzoeksprogramma Innovatieve Dijken in het Waddengebied) is om na te gaan welke innovatieve dijken in het Waddengebied mogelijk zijn, en op welke dijktrajecten. Dit moet uiteindelijk resulteren in een potentieel-kaart van toepasbare innovatieve dijkconcepten in het Waddengebied. In een latere fase van het onderzoeksprogramma kunnen, op grond van de potentieel-kaart, door het programmateam in overleg met de stakeholders uit het gebied, kansrijke locaties voor pilots worden vastgesteld.

Voor fase 1 van het onderzoeksprogramma gelden de volgende specifieke onderzoeksvragen:

- Welke innovatieve dijkconcepten zijn er?
- Welke innovatieve dijkconcepten zijn er mogelijk in het Waddengebied?
- Waar zouden innovatieve dijkconcepten eventueel in het Waddengebied toepasbaar zijn?
- Wat zijn de bouwstenen voor de ontwikkeling van een afwegingsmethodiek voor de bepaling van de meerwaarde van innovatieve dijkconcepten?

De laatste vraag kan in fase 1 slechts indicatief worden beantwoord en wordt in fase 2 verder uitgewerkt. De waterveiligheidsopgaven in het Waddengebied worden uitgezocht in cluster 1 van het Deltaprogramma Waddengebied. Onderzoek naar de relevante ontwikkelingen en opgaven in het Waddengebied vindt plaats in een apart onderzoeksproject in het Deltaprogramma Waddengebied.

1.3 Afbakening

In de verkenning wordt een overzicht gegeven van innovatieve waterkeringsconcepten. Het accent ligt op dijken in het algemeen, en zeedijken in het bijzonder. Duinen, waterkerende kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies en niet-waterkerende objecten worden wel genoemd maar niet verder uitgewerkt.

Er is gekeken naar het Waddengebied zoals dat door het Deltaprogramma (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2010) wordt afgebakend. Dit gebied omvat de Nederlandse Waddeneilanden, de Waddenzee en de aan de Waddenzee grenzende gemeenten op het vasteland van Noord-Holland, Friesland en Groningen (figuur 1.1).



Figuur 1.1

De in het Deltaprogramma afgebakende deelgebieden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat et al., 2010).

Voor de waterkeringen worden binnen het Deltaprogramma Waddengebied de volgende gebieden onderscheiden:

- Gebied binnen de dijkringen
Dit is het gebied dat door de dijkringen wordt omsloten en heeft betrekking op zowel het vasteland als de eilanden. Het achterland kan landbouwgebied, natuurgebied, bebouwd terrein of industriegebied zijn met daarin wegen, watergangen, leidingen, etc.
- Keringen
Het deelproject Innovatieve dijken in het Waddengebied richt zich vooral op de zeedijken, en in voorkomende gevallen op waar de dijken aansluiten op de duinen. Duinen behoren vooral tot het aandachtsgebied van het Deelprogramma Kust. De kering is het gebied tussen het binnendijkse en buitendijkse gebied.
- Gebied buiten de dijkringen
Dit gebied heeft betrekking op de zeesystemen en die delen van de eilanden en langs het vasteland waar geen beschermingsniveau van toepassing is.

De toekomst van de Afsluitdijk heeft de laatste jaren in afzonderlijke onderzoekstrajecten al veel aandacht gekregen (o.a. Lammers, 2009). Op de Afsluitdijk wordt in deze studie dan ook niet verder ingegaan.

Voor een goede ruimtelijke verkenning van mogelijk geschikte locaties voor innovatieve dijken is aandacht voor zowel fysisch-geografische, socio-economische als ecologische karakteristieken van het gebied belangrijk. Daarom zijn in bijlage 3 kort de belangrijkste gebiedskenmerken in de vorm van kaarten gepresenteerd.

Binnen het Deltaprogramma Wadden worden in een separate studie via een consultatieronde van de belangrijkste stakeholders de ontwikkelingen, beleidsvoornemens en wensen voor de waterveiligheidsstrategie geïnventariseerd.

1.4 Werkwijze

Als achtergrond voor de verkenning naar mogelijkheden voor innovatieve waterkeringen in het Waddengebied is algemene informatie over waterveiligheid en innovatieve waterkeringen (hoofdstuk 2), faalmechanismen (bijlage 1) en typen waterkeringen (hoofdstuk 3) in dit rapport opgenomen. Ook is in bijlage 3 een indruk gegeven van de gebiedskenmerken (onder meer fysisch-geografische en socio-economische kenmerken, landgebruik en natuur). In bijlage 2 is de verkenning van de waterveiligheidsopgave op basis van de 3^e toetsronde bijgevoegd die in cluster 1 van het Deltadeelprogramma Wadden is uitgevoerd.

Op basis van eerder onderzoek, verkenningen en ervaringen elders is een puntsgewijs overzicht gemaakt van innovatieve dijkconcepten (een 'longlist' van innovatieve dijkconcepten) (hoofdstuk 4).

Vervolgens is in samenwerking met vertegenwoordigers van Waterschap Hunze & Aa's, Waterschap Noorderzijlvest, Wetterskip Fryslân en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier nagegaan welke van deze innovatieve waterkeringen mogelijk zijn in het Waddengebied. Hiervoor zijn de dijken langs de Waddenzee in trajecten verdeeld met in de huidige situatie min of meer vergelijkbare dijken en omstandigheden (hoofdstuk 5). Voor elk dijktraject is vervolgens nagegaan welke innovatieve dijkconcepten i) mogelijk en qua lokale omstandigheden interessant zijn (groen), ii) mogelijk, maar qua lokale omstandigheden niet voor de hand liggend zijn (geel) en iii) welke concepten vanwege de lokale omstandigheden niet mogelijk zijn (rood). Dit levert een overzicht op van mogelijke innovatieve dijkconcepten per dijktraject.

In de verkenning zijn ook de bouwstenen geschetst voor de ontwikkeling van een methode voor het bepalen van meerwaarde van innovatieve dijkconcepten ten opzichte van de huidige dijk (hoofdstuk 6).

Deze bouwstenen zijn input voor een participatief proces in fase 2 om voor een aantal pilotlocaties gezamenlijk met een 'expertteam' van stakeholders een methode met keuzecriteria en wegingsfactoren verder te ontwikkelen. Ook zal dan voor de pilotlocaties duidelijk worden wat de meerwaarde van innovatieve dijken is. Het Deltaprogramma Waddengebied wil vervolgens voor het hele Waddengebied de kansrijke innovatieve concepten identificeren.

De verkenning is begeleid door dhr. H. Groen en dhr. J.W. Nieuwenhuis (Waterschap Noorderzijlvest), dhr. K. Lentz en dhr. E. Jolink (Waterschap Hunze en Aa's), dhr. C.J. Jacobs (Wetterskip Fryslân) en mevr. P. Goessen (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier).

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt kort de context van innovatieve dijken en waterveiligheid geschetst. Daarbij wordt ingegaan op de aanleiding voor de toegenomen aandacht voor innovatieve waterkeringen en op ontwikkelingen in het waterveiligheidsbeleid. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de huidige waterkeringen en geeft een indruk van de bestaande Waddendijken.

In hoofdstuk 4 wordt een 'longlist' van waterkeringsconcepten gegeven. Van elk concept worden kort de belangrijkste kenmerken, het doel, de voor- en nadelen, etc. geschetst.

De eerste resultaten van de verkenning naar mogelijkheden voor innovatieve dijken in het Waddengebied worden in hoofdstuk 5 gepresenteerd.

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de bouwstenen voor een afwegingskader, en in hoofdstuk 7 wordt een aanbeveling gegeven over het proces.

In de bijlagen is informatie bijgevoegd over o.a. de faalmechanismen, de veiligheidsopgaven en de karakteristieken van het Waddengebied.

2 Brede context: innovatieve dijken en waterveiligheid

2.1 Aandacht voor innovatieve dijkconcepten

2.1.1 Klimaatverandering en innovatieve dijkconcepten

Er is momenteel veel aandacht voor het ontwikkelen en het introduceren van nieuwe dijkconcepten (Vellinga et al., 2009). Dit komt onder meer omdat het restrisico (dit is de schade bij een eventuele doorbraak) steeds groter wordt door i) demografische ontwikkelingen (steeds meer mensen), ii) economische ontwikkelingen (steeds meer kapitaal), iii) bodemdaling en iv) versnelde zeespiegelstijging en een verandering in regionale neerslagpatronen door de effecten van mondiale klimaatverandering (IPCC, 2007). Door klimaatverandering veranderen de hydraulische randvoorwaarden waaraan waterkeringen moeten voldoen, waarbij de historie van stormgedrag en rivierafvoeren niet meer maatgevend is voor de toekomst. In Nederland zijn deze randvoorwaarden gebaseerd op veiligheidsnormen die zijn vastgelegd in de Waterwet. Om na te gaan of het Nederlandse waterveiligheidsbeleid naar aanleiding van de verwachte effecten van klimaatverandering moet worden geactualiseerd, is door het toenmalige ministerie van Verkeer en Waterstaat het project Waterveiligheid 21^e eeuw (WV21) geïnitieerd. Daarbij was naast aandacht voor de veiligheidsnormering ook aandacht voor nieuwe dijkconcepten. Zo is in het kader van WV21 een quick scan uitgevoerd naar het concept van doorbraakvrije dijken (Silva en Van Velzen, 2008).

In 2008 heeft de 2^e Deltacommissie het kabinet met het oog op de te verwachten effecten van klimaatverandering geadviseerd over de bescherming van Nederland. De aanbeveling van de 2^e Deltacommissie om via 'Deltadijken' *te allen tijde te vermijden dat door diepe bressen langdurig en met veel geweld grote hoeveelheden water kunnen binnenstromen* (Deltacommissie, 2008), was mede aanleiding voor het ontwikkelen van nieuwe dijkconcepten. 'Deltadijken' zijn *dijken die door hun breedte, hoogte of interne constructie zo sterk zijn, dat een plotselinge onbeheersbare overstroming vrijwel uitgesloten is. De precieze uitvoering vereist plaatselijk maatwerk. Het kan in de vorm van een doorbraakbestendige dijk, in de vorm van een extra hoge dijk, een brede dijk, of een van binnen extra versterkte dijk (door het aanbrengen van damwanden)* (Deltacommissie, 2008). In het Deltaprogramma is inmiddels een verkenning naar het concept van de Deltadijk uitgevoerd (Knoeff en Ellen, 2011).

In het kader van WINN, het innovatieprogramma van Rijkswaterstaat, is gezocht naar innovatieve technieken en waterkeringsconcepten, waaronder de Klimaatdijk (inmiddels Multidijk genoemd). Ook via het nationaal onderzoeksprogramma *Kennis voor Klimaat* zijn verkenningen uitgevoerd naar beschikbare kennis en de kennisvragen rond nieuwe waterkeringsconcepten zoals de Klimaatdijk (Hartog et al., 2009), en is gekeken of deze nieuwe concepten toepasbaar zijn op een aantal specifieke locaties langs de Nederrijn-Lek (De Moel et al., 2010) en in Rotterdam (Urbanisten et al., 2010).

Recent zijn een aantal onderzoeksprogramma's en projecten rond innovatieve dijken geïnitieerd, zoals:

- NWO-STW Onderzoeksprogramma Multifunctionele waterkeringen (een meerjarig onderzoeksprogramma van TU-Delft, Wageningen UR, TU Twente, Dura-Vermeer en Deltares).
- Bouwen op waterkeringen (thema binnen STOWA, zie factsheet STOWA Bouwen in en op waterkeringen).
- Duurzame dijken en energie (onderzoek naar witte vlekken bij windturbines op waterkeringen).
- Monitoring: sensoren in de dijk als early-warning-system (IJkdijk).

2.1.2 Robuust

Een belangrijke voorwaarde voor een innovatief dijkconcept is dat de dijk robuust moet zijn in een grote range in onzekerheden in toekomstige ontwikkelingen (zoals de effecten van klimaatverandering). In het waterveiligheidsbeleid is het anticiperen op veranderingen in de samenleving, het landschap en de fysische omstandigheden en de onzekerheden rond de schattingen van het verloop van deze veranderingen voorgeschreven via de eis tot het voldoende robuust ontwerpen van een dijkversterking of een maatregel om dit soort veranderingen op te vangen. Volgens Rijkswaterstaat (2007a) betekent 'Goed (robuust) ontwerpen dat in het ontwerp rekening wordt gehouden met toekomstige ontwikkelingen en onzekerheden, zodat het uitgevoerde ontwerp tijdens de planperiode blijft functioneren zonder dat ingrijpende en kostbare aanpassingen noodzakelijk zijn, en dat het ontwerp uitbreidbaar is áls dat economisch verantwoord is'. In een robuust ontwerp wordt dus rekening gehouden met onzekerheden en uitbreidbaarheid.

Een robuust innovatief dijkconcept kan worden gezien als een voorzorgmaatregel. Voorzorgmaatregelen leveren alleen baten op als er daadwerkelijk veranderingen in omstandigheden optreden. Met het oog op de onzekerheden rond klimaatverandering en de effecten ervan, zijn voorzorgmaatregelen gericht op de lange termijn daarom vooral interessant als een kleine aanpassing nu relatief veel extra veiligheid oplevert of veel gunstiger is (financieel of qua ruimtelijke planning) ten opzichte van latere aanpassingen. Maar het innovatief concept kan ook een 'no-regret'-maatregel zijn. Dit zijn maatregelen die te allen tijde voordelen opleveren, ook als het klimaat niet verandert. Ze zijn dus meestal gericht op het realiseren van meerdere doelen, waaronder bescherming tegen de effecten van klimaatverandering.

2.1.3 Nieuwe mogelijkheid voor het combineren van functies en medefinanciering

Uit eerdere verkenningen komt naar voren dat innovatieve dijken nieuwe mogelijkheden bieden om functies te combineren of nieuwe mogelijkheden voor medefinanciering, maar dat voor elke locatie maatwerk nodig is (Hartog et al., 2009; De Moel et al., 2010; Van Loon-Steensma, 2011b). Hoewel dijken in de eerste plaats zijn aangelegd om de bewoners van lage gebieden te beschermen tegen overstroming, vervullen veel waterkeringen van oudsher ook andere functies zoals wonen, werken, verkeer en recreatie (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1998). Vele dijktrajecten vormen ook een habitat voor flora en fauna en vertegenwoordigen op vele plaatsen een landschappelijk en/of cultuurhistorische waarde. Met name zeedijken zijn opvallende landschapselementen, die in sterke mate de beleving van de omgeving bepalen.

Een dijk aanpassing is vaak een goed moment om ook andere gewenste verbeteringen in nevenfuncties door te voeren. Dit betekent dat het belangrijk is om in beeld te brengen wat de wensen vanuit het gebied zijn en om een breed palet aan stakeholders bij het proces te betrekken.

Als nadere invulling van het Nationaal Waterplan hebben de overheden in het Nationaal Bestuursakkoord Water (2009) vastgelegd op welke manier, met welke middelen, en langs welk tijdspad zij gezamenlijk de grote wateropgaven voor Nederland in de 21^e eeuw willen aanpakken. Het akkoord benadrukt de gezamenlijke verantwoordelijkheid voor het op orde krijgen en houden van het totale watersysteem. Het geeft aan welke instrumenten ingezet worden om de opgaven te realiseren, welke taken en verantwoordelijkheden iedere partij daarbij heeft, en hoe partijen elkaar in staat willen stellen hun taken uit te voeren. Recent zijn afspraken gemaakt over decentralisatie van taken richting waterschappen. Afgesproken is dat vanuit het rijk minder middelen voor dijkversterking beschikbaar worden gesteld, en dat de bijdrage van de waterschappen gaat toenemen. Dit vormt voor de waterschappen mede aanleiding om te zoeken naar kosten efficiënte (innovatieve) dijk aanpassingen.

2.2 Veiligheidsaspecten

Veiligheidsnormen

De huidige veiligheidsnormen zijn gedefinieerd als de overschrijdingsfrequentie van een maximaal toelaatbare waterstand. In het kader van het Deltaprogramma, deelprogramma Veiligheid worden de gevolgen onderzocht van de overstap naar een andere normering op basis van faalkansen en overstromingsrisico. Dit aspect is ook onderdeel van de studie veiligheid van Nederland in Kaart (VNK). De resultaten van beide studies zullen worden betrokken bij de normeringsdiscussie.

Meerlaagse Veiligheid

In het Nationaal Waterplan (2009) is het principe van Meerlaagse Veiligheid geïntroduceerd. Dit is een integrale benadering voor overstromingsrisicomanagement. Meerlaagse Veiligheid richt zich op bescherming tegen het water én beperking van maatschappelijke ontwrichting bij een onverhoopte calamiteit. Meerlaagse Veiligheid is opgebouwd uit drie lagen:

- Preventie: de huidige primaire pijler van hoogwaterbescherming in Nederland.
- Gebiedsinrichting: duurzame ruimtelijke planning om de gevolgen van een mogelijke overstroming te beperken.
- Rampenplannen: rampenbeheersing op orde.

Kennisontwikkeling

In het kader van het programma Sterkte Belastingen Waterkeringen (SBW) worden nieuwe rekenregels ontwikkeld voor het toetsen en ontwerpen van primaire waterkeringen. In dat verband zijn er nieuwe technische rapporten voor golfoverslag en voor piping in voorbereiding. De verwachting is dat voor dijken de overslagcriteria soepeler en de pipingregels strenger zullen worden.

2.2.1 Dijkkringgebieden en veiligheidsnormen

Alle dijkkringgebieden in Nederland en de bijbehorende veiligheidsnormen zijn vastgelegd in de Waterwet. Langs de Waddenzee en Eems/Dollard bevinden zich acht dijkkringgebieden (figuur 2.1).



Figuur 2.1

Dijkkringgebieden langs de Waddenzee (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007a).

Tabel 2.1 geeft een aantal kentallen van deze dijkkringgebieden.

Tabel 2.1

Kentallen van dijkkringgebieden langs de Waddenzee (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007a en 2007b).

Dijkbeheerder	Dijkkringgebied		Veiligheids-norm [1/jaar]	Dijk lengte langs Waddenzee
	Nr.	Benaming		
RWS Noord-Nederland	1	Schiermonnikoog	1/2000	4,0 km
Ws Fryslân	2	Ameland	1/2000	16,3 km
Ws Fryslân	3	Terschelling	1/2000	13,8 km
RWS Noord-Nederland	4	Vlieland	1/2000	1,0 km
RWS Noord-Nederland	5	Texel	1/4000	26,2 km
Ws Fryslân	6	Friesland en Groningen	1/4000	53,0 km
Ws Noorderzijlvest				64,7 km
Ws Hunze en Aa's				16,0 km
Hhs Hollands Noorderkwartier	12	Wieringen	1/4000	11,7 km
Hhs Hollands Noorderkwartier	13	Noord-Holland	1/10.000	20,2 km
Totaal				226,9 km

Alle dijken langs de Waddenzee vallen volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV-2006) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007a) onder de categorie a: primaire waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden - al dan niet met hoge gronden - omsluiten en direct buitenwater keren.

Daarnaast is er de Afsluitdijk, die valt onder de categorie b: primaire waterkeringen die voor dijkkringgebieden zijn gelegen of dijkkringgebieden verbinden en direct buitenwater keren. Dit is een dijkkringverbindende primaire waterkering met een lengte van 35 km tussen de dijkkringgebieden 6 (Friesland en Groningen) en 12 (Wieringen). De veiligheidsnorm daarvan moet minstens gelijk zijn aan de strengste veiligheidsnorm van de achterliggende dijkkringgebieden. Voor de Afsluitdijk is dat dijkkringgebied 13 (Noord-Holland) met een veiligheidsnorm van 1/10.000 per jaar. De toekomst van de Afsluitdijk heeft de laatste jaren al veel aandacht gekregen in diverse onderzoekstrajecten en wordt in onderhavige verkenning van innovatieve dijken buiten beschouwing gelaten.

2.2.2 Wettelijk toetsinstrumentarium

Volgens de Waterwet moet er door de waterkeringsbeheerder elke vijf jaar (dit is naar aanleiding van internationale afspraken inmiddels veranderd in eenmaal per zes jaar) een rapportage over de toestand van de veiligheid van de primaire waterkering worden opgesteld. Hierover wordt via de provincies gerapporteerd aan het rijk. Voor de dijkkringgebieden langs de Waddenzee zijn vijf waterkeringsbeheerders verantwoordelijk (zie tabel 2.1). Per 1 januari 2012 zijn de meeste waterkeringen aan de waterschappen overgedragen, en zijn alleen kunstwerken en de Afsluitdijk nog in beheer van RWS.

Recent is door de provincies gerapporteerd aan het rijk over de resultaten van de derde toetsronde op basis van het VTV-2006 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007a) en de Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen (HR-2006) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007b). De peildatum voor deze toetsing is 1 januari 2011. Het VTV-2006 bestaat uit verschillende katernen, waarin per katern de toetsmethoden voor

een bepaald type of onderdeel van de waterkering worden gegeven. Voor de waterkeringen langs het Waddengebied zijn de volgende katernen relevant:

- Katern 5 - Dijken en dammen (hoogte en stabiliteit)
- Katern 7 - Kunstwerken
- Katern 8 - Bekledingen (sterkte en stabiliteit)
- Katern 9 - Voorland (afschuiving en zettingsvloeiing)
- Katern 10 - Niet-waterkerende objecten (bebouwing, begroeiing, pijpleidingen/kabels en overige objecten)

Een overzicht van de belangrijkste faalmechanismen van dijken en voorland is samengevat in bijlage 1. De voor de Waddenzee van toepassing zijnde hydraulische randvoorwaarden staan in HR-2006.

2.2.3 Resultaten 3^e toetsronde

Binnen het Deltaprogramma Wadden is binnen het deelproject 'Waterveiligheidsopgave' voor de dijkkringgebieden die aan de Waddenzee grenzen, geïnventariseerd welke dijkvakken bij de 3^e toetsronde zijn afgekeurd. In bijlage 2 is aangegeven welke dijksecties in de derde toetsronde aanvullend zijn afgekeurd vergeleken met de tweede toetsronde. Het gaat in totaal om 100,1 kilometer aan dijk- en duinsecties, waarbij de afkeuring kan worden onderverdeeld naar toetsspoor zoals weergegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2

Secties en lengte afgekeurde dijksecties per toetsspoor als resultaat van de derde toetsronde.

Toetsspoor	Aantal secties	Lengte afgekeurd [km]
Hoogte	10	2,8
Piping en heave	4	0,2
Macrostabiliteit binnentalud	26	18,4
Macrostabiliteit buitentalud	2	0,2
Micro stabiliteit	5	1,7
Dijkbekleding, gras	67	47,6
Dijkbekleding, asfalt	31	27,2
Dijkbekleding, steen	42	38,0
Voorland	3	0,7
NWO's	7	0,2
Duinafslag	1	0,3

De som van deze lengtes bedraagt meer dan de totale lengte van de afgekeurde dijksecties omdat sommige dijksecties zijn afgekeurd op basis van meer dan één toetsspoor. Uit deze tabel wordt duidelijk dat er twee grote bijdragen zijn aan de veiligheidsopgave, namelijk macrostabiliteit binnentalud en dijkbekleding.

2.2.4 Ontwerp van de waterkering

Het ontwerp van primaire waterkeringen wordt gebaseerd op de methodieken, veiligheidseisen en -criteria die in de Leidraden en Technische Rapporten van de voormalige Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), tegenwoordig het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), staan beschreven (zie <http://www.helpdeskwater.nl/waterkeringen>).

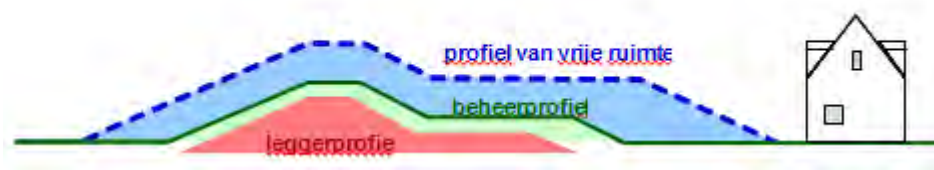
2.2.5 Beheer

Leggerprofiel

Het leggerprofiel is het profiel dat theoretisch, met in acht name van eventuele andere functies, nodig is om een bepaalde (toekomstige) waterstand te keren (figuur 2.2). Het leggerprofiel wordt vastgesteld op basis van ontwerpberekeningen. Omdat de waterkering vaak ook andere functies vervult (zoals verkeersdrager), is het profiel meestal omvangrijker dan op basis van het theoretisch (ontwerp)profiel noodzakelijk is. Buiten het leggerprofiel is ook nog een invloedzone van de waterkering aanwezig, die noodzakelijk is voor de instandhouding van het leggerprofiel. Activiteiten in deze zone kunnen invloed hebben op het waterkerend vermogen van de kering. In de legger zijn, behalve het leggerprofiel, ook alle overige begrenzings van het keurgebied aangegeven. Als uit de toetsing blijkt dat het leggerprofiel niet meer binnen het beheerprofiel past, moeten de legger en de bijbehorende keurgrenzen worden aangepast.

Profiel van vrije ruimte

De uitbreidbaarheid van de waterkering wordt in de regel door de dijkbeheerder gewaarborgd door toepassing van een profiel van vrije ruimte (figuur 2.2). Via het profiel van vrije ruimte kan de dijkbeheerder aangeven welke ruimte nodig is voor een toekomstige dijkverzwaring binnen een aan te geven planperiode (bijvoorbeeld 100 of 200 jaar). Het profiel van vrije ruimte is, evenals de invloedzone, een toetsingskader van de beheerder bij het verlenen van vergunningen. De beheerder kan aan de hand van het profiel van vrije ruimte een op de toekomst gericht beleid voor een primaire waterkering ontwikkelen, waarbij ruimte wordt gereserveerd voor toekomstige dijkverzwaringen. In het beleid wordt dus rekening gehouden met toekomstige dijkversterkingen.



Figuur 2.2

Voorbeelden van verschillende profielen (bron: Knoeff en Ellen, 2011).

Keurzones

In de modelkeur van 2008 van de Unie van Waterschappen worden de volgende keurzones genoemd:

- 1) waterstaatswerk: oppervlaktewaterlichaam, bergingsgebied, waterkering, ondersteunend kunstwerk en bijbehorende onderhoudsstroken, dat als zodanig in de legger is aangegeven, tenzij dat werk is vrijgesteld van de opnemings in de legger, dan wel dat, als de vaststelling van de legger nog niet heeft plaatsgevonden, op de keurkaart is aangegeven;
- 2) beschermingszone: aan een waterstaatswerk grenzende zone, die als zodanig in de legger is opgenomen, waarin ter bescherming van dat waterstaatswerk voorschriften krachtens deze keur van toepassing zijn.

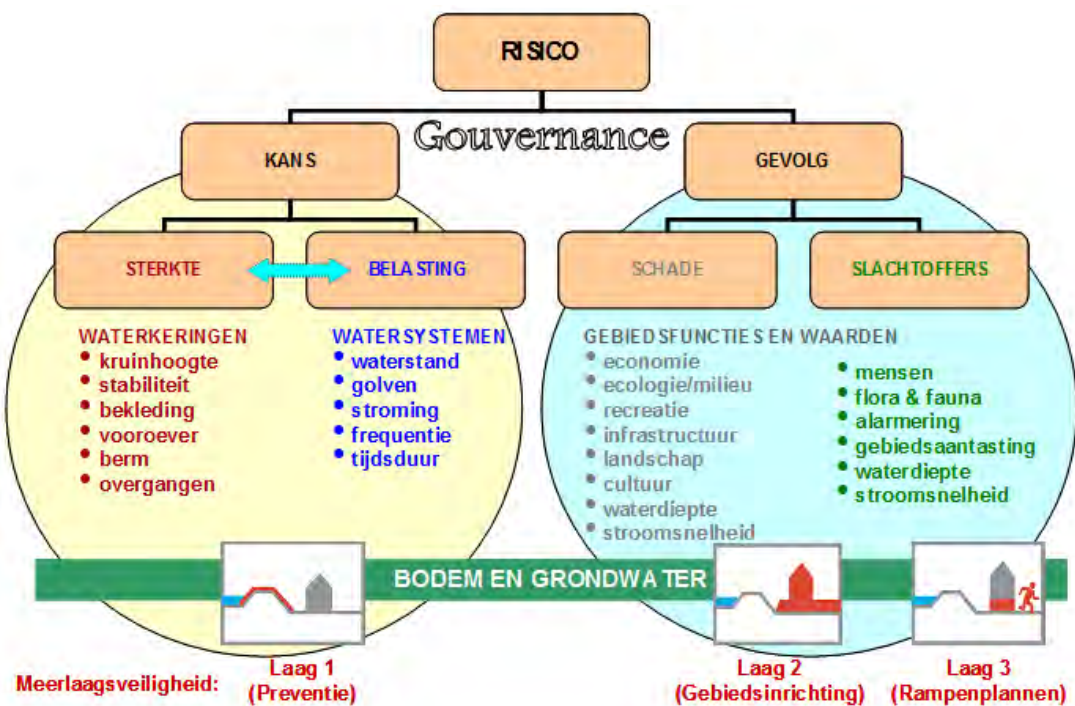
2.2.6 Toekomstige ontwikkelingen in het waterveiligheidsbeleid

Risicobenadering

De basis voor de veiligheidsnormen voor primaire waterkeringen en boezemkaden vormt de risicobenadering. Deze overstromingsrisicobenadering vormt een goed vertrekpunt voor een integrale beoordeling van waterveiligheid en ruimtelijke ordening. Het risico wordt bepaald door de overstromingskansen en de gevolgen daarvan (figuur 2.3). De sterkte van de waterkering en de hydraulische belastingen die op de kering worden uitgeoefend zijn bepalend voor de kans op een overstroming. De gevolgen worden bepaald door de schade en slachtoffers bij een overstroming (figuur 2.3).

Kansen en gevolgen zijn geen vaste factoren maar ze zijn dynamisch. Sterkte en belasting (die samen de kans op overstroming beïnvloeden) zijn relevant voor laag 1 'Preventie' in de Meerlaagse Veiligheidsbenadering. Schade en slachtoffers (de factoren die de gevolgen van een overstroming beïnvloeden) zijn relevant voor laag 2 'Gebiedsinrichting' en laag 3 'Rampenplannen' van de Meerlaagse Veiligheidsbenadering.

De kans op een overstroming en de gevolgen daarvan kunnen niet los worden gezien van autonome ontwikkelingen, menselijke ingrepen en de ruimtelijke inrichting van de te beschermen gebieden. Voorbeelden van ontwikkelingen aan de kanskant zijn de toename van zeespiegelstijging, neerslag en rivierafvoer. Voorbeelden van ontwikkelingen aan gevolgenkant zijn economische groei, bodemdaling en toename van het aantal inwoners in het te beschermen gebied.



Figuur 2.3

Raamwerk voor overstromingsrisico's.

Aan de sterktekant zijn vooral menselijke ingrepen in de vorm van het uitvoeren van dijkversterkingen of zandsuppleties kansreducerende maatregelen.

Aan de schadekant zijn de kwetsbaarheid en het ruimte- en grondgebruik van het gebied en de aanwezige economische en andere waarden (zoals ecologische of sociaal-culturele waarden) de belangrijkste factoren. Door de gebiedsinrichting en het grondgebruik af te stemmen op de kwetsbaarheid van de aanwezige functies en waarden, kan de schade worden beïnvloed. Voorbeelden van zulke maatregelen zijn compartimentering en (integrale) ophoging van gebieden.

Voor het aantal slachtoffers is kwantificering van het plaatsgebonden risico of groepsrisico van belang. Bij de gebiedsinrichting kan daarmee rekening worden gehouden, zoals nieuwe woonwijken plannen in niet-kwetsbare gebieden.

Overstromingsmodellen

In opdracht van de provincie Fryslân en de provincie Groningen zijn 17 doorbraakscenario's voor dijkkring 6 (Friesland en Groningen) doorgerekend, waarvan elf doorbraakscenario's langs de Waddenzee. Daarbij zijn de gevolgen voor de functies in het te beschermen gebied berekend met het overstromingsmodel SOBEK met de

Schade-Slachtoffer-module. Het resultaat is een kaart met maximale waterdiepten in de gebieden achter de doorbraakpunten (Wouters, 2006).

Toename restrisico

Door demografische ontwikkelingen (meer mensen), economische ontwikkelingen (meer kapitaal), bodemdaling en de effecten van klimaatverandering (zeespiegelstijging, extremere rivierafvoeren en wellicht ook verandering in stormcondities), is het restrisico (de schade bij een eventuele doorbraak) toegenomen. Voor het Deltaprogramma zijn op basis van te verwachten effecten van klimaatverandering en sociaal-economische ontwikkelingen zogenaamde Deltascenario's ontwikkeld.

Klimaatverandering

Naast de Deltascenario's is voor het Deltaprogramma een gedetailleerde analyse gemaakt van de veiligheidshorizon voor 42 kustplaatsen met verharde zeeweringen langs de Noordzeekust van Nederland (Deltares, 2011). Daarbij zijn de volgende uitgangspunten toegepast:

- de Deltascenario's voor zeespiegelstijging:
 - matige zeespiegelstijging: 15 cm in 2050 en 35 cm in 2100
 - snelle zeespiegelstijging: 35 cm in 2050 en 85 cm in 2100
- een bodemdaling van 20 cm in 2100,
- geen effect van ongunstig windklimaat; er is wel een zekere correctie toegepast door onzekerheden in de maatgevende waterstand en golfhoogte,
- een toelaatbaar overslag debiet van 1 l/s per m dijk tijdens de maatgevende omstandigheden.

Reserveren van ruimte

Waterkeringbeheerders gaan in de regel uit van een planperiode van 100 jaar met 1,3 m zeespiegelstijging voor de ruimtelijke reservering (profiel van vrije ruimte). Dit sluit aan bij het extreme klimaatscenario van het rapport van de Deltacommissie (2008).

In Groningen wordt in de regel een profiel van vrije ruimte van 100 m aangehouden en in Fryslân van 200 m (H. Groen, persoonlijke mededeling).

Doorbraakbestendig

In de Verkenning Deltadijken (Knoeff en Ellen, 2011) geldt het uitgangspunt dat Deltadijken sterker zijn dan wettelijk vereist om de kans op een plotselinge en oncontroleerbare overstrooming te verkleinen. Dit kan worden bereikt door het verkleinen van de kans op een doorbraak of door het verkleinen van de kans op grondmechanisch falen. In het rapport van de 2^e Deltacommissie (2008) en de QuickScan doorbraakvrije dijken (Silva en Van Velzen, 2008) wordt uitgegaan van een 10 tot 100 maal kleinere kans.

3 Huidige waterkeringen

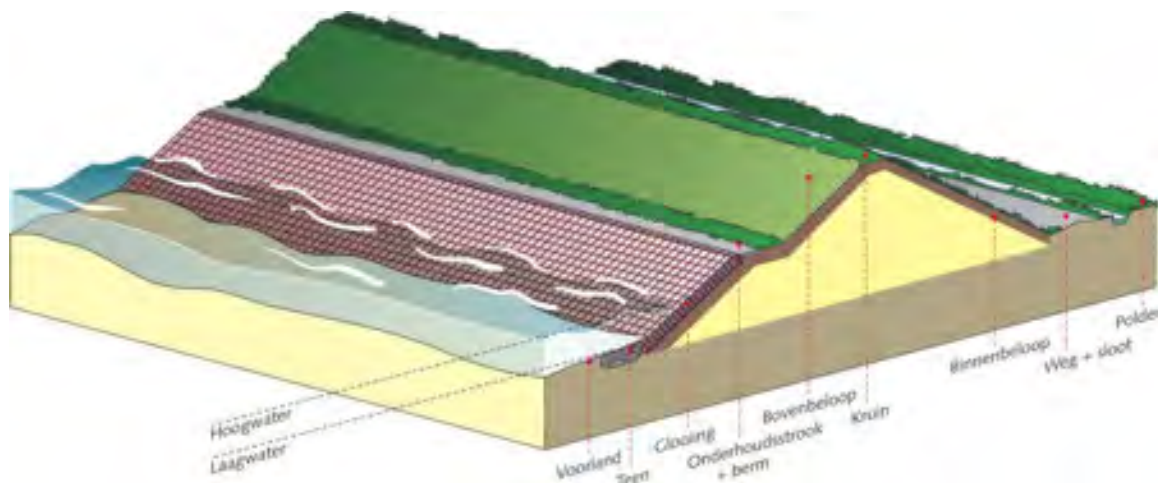
De primaire waterkeringen kunnen qua geometrie en veiligheidseisen worden onderverdeeld in de volgende waterkeringsconcepten:

- Dijken (zee-, meer- en rivierdijken)
- Duinen
- Waterkerende kunstwerken (bijvoorbeeld sluizen, keermuren)
- Bijzondere waterkerende constructies (bijvoorbeeld erosie- of stabiliteitschermen)

In deze verkenning worden duinen, waterkerende kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies en niet-waterkerende objecten wel genoemd, maar verder niet uitgewerkt.

3.1 Standaard zeedijk

Figuur 3.1 geeft een schets van een standaard zeedijk.



Figuur 3.1

3D-schets van een traditionele zeedijk (bron: www.deltawerken.com).

Op de dijk of in het voorland kunnen golfremmende voorzieningen worden aangebracht, waardoor de golfaanval op de dijk wordt gereduceerd zodat met een lagere kruinhoogte en minder zware bekleding kan worden volstaan. Voorbeelden daarvan zijn:

- Toepassing van harde golfremmende elementen op het buitentalud (al dan niet in combinatie met verflauwing van het buitentalud).
- Verhoging van de ruwheid van het buitentalud door toepassing van breuksteen in plaats van gladde betonblokken of asfalt.
- Aanleg van golfreducerende buitenberm op stormvloedpeil.
- Aanleg van strekdammen voor de dijk.
- Verhogen van de vooroever.

3.2 Duinen

De vooroever, de brandingszone, het strand en de duinen vormen een door zanduitwisseling samenhangend geheel dat weerstand levert. Het waterkerend vermogen wordt vooral bepaald door de hoeveelheid en de ligging van het zand in de dwarsdoorsnede. Bij zware hydraulische belastingen wordt een beroep gedaan op deze sterkte door herverdeling van het zand in de dwarsdoorsneden. Het natuurlijk systeem zoekt naar een evenwicht dat past bij de momentane omstandigheden (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2002).

3.3 Kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies

In de leidraad Kunstwerken (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2003) wordt vanuit de specifieke waterkerende functie en de hieruit voortvloeiende taakstellende eis voor de sterkte onderscheid gemaakt in de vier typen constructies:

- type I: constructies die volledig zelfstandig de waterkerende functie moeten vervullen
- type II: constructies die in combinatie met een grondconstructie de waterkerende functie moeten vervullen
- type III: constructies die na falen van een andere constructie de waterkerende functie moeten vervullen
- type IV: constructies welke geen waterkerende functie hebben, maar bij falen de waterkering kunnen aantasten.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de indeling van kunstwerken en constructies in de vier typen van constructies.

Tabel 3.1

Indeling van kunstwerken en constructies in constructietypen (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2003).

Waterkerende kunstwerken	constructietype			
	I	II	III	IV
- schutsluizen	♦			
- stroomsluizen (spui-, inlaat- en doorlaatsluizen)	♦			
- keersluizen	♦			
- hoogwater- en stormvloedkeringen	♦			
- coupures	♦	♦		
<i>Bijzondere waterkerende constructies</i>				
- specifiek beweegbare keringen (roteerbare, verschuifbare, oppompbare of mobiele keringen)	♦	♦		
- kistdammen en diepwanden	♦			
- cellen- en combiwanden	♦			
- keermuren, -wanden en kadewanden	♦			
- damwandschermen (stabiliteit-, erosie-, kwel-, en functiescheidende schermen)		♦		
- palenwanden		♦		
- keer- en dijkmuurtjes		♦		
- gewapende grondconstructies		♦		
<i>Overige objecten (kokervormige constructies door de waterkering)</i>				
- gemalen	♦	♦	♦ ¹⁾	♦
- duikers			♦ ¹⁾	♦
- pijpleidingen			♦ ¹⁾	♦
- tunnels (zonder kanteldijken)			♦ ¹⁾	♦

¹⁾ Bij aanwezigheid van keermiddelen of vervangende waterkeringen (damwanden of kanteldijken)

3.4 Niet-waterkerende objecten

Onder niet-waterkerende objecten worden in katern 10 van het VTV-2006 alle objecten verstaan die geen functioneel deel uitmaken van de waterkering. In geval van combinaties van waterkerende en niet-waterkerende constructies (bijvoorbeeld keermuren die deel uitmaken van de bebouwing, maar ook een waterkerende functie hebben) wordt onderscheid gemaakt tussen bijzondere waterkerende constructies (de keermuur) en het niet-waterkerend object (de bebouwing zonder keermuur).

Bijzondere waterkerende constructies nemen geheel of gedeeltelijk de waterkerende functie van een dijk of duinenrij over.

In katern 10 worden niet-waterkerende objecten naar type gecategoriseerd:

- begroeiing
- bebouwing
- pijpleidingen en kabels
- overige constructies (wegen, landhoofden, geleidewerken, steigers, niet-waterkerende kade-constructies)

Deze indeling in categorieën van de niet-waterkerende objecten is niet gelijk aan de indeling in constructietypes die gehanteerd wordt voor waterkerende kunstwerken (type I t/m IV).

3.5 Huidige dijken in het Waddengebied

De afbeeldingen in deze paragraaf geven een indruk van de huidige waterkeringen langs de Waddenzee. Het zijn veelal 'traditionele' zeedijken. Een deel van de deze dijken is bekleed met asfalt, wat enkele decennia terug werd gezien als een innovatieve manier van dijkaanpassing.



Waddendijk bij Kimsverd (standaard dijk)



Waddendijk bij Den Oever (asfalt bekleding en kwelder)



Kwelder voor dijk Balgzand



Kwelder voor dijk nabij Pieterburen



Nabij Amstelmeer



Oterdum



Kering voor buitendijkse polder bij Stroe



Haven Harlingen



Delfzijl



Eemsgebied



Texel



Terschelling



Ameland

Op vele plaatsen langs de Waddenkust liggen nog oude waterkeringen die cultuurhistorische waarde vertegenwoordigen en op sommige plaatsen nog een functie vervullen als slaperdijk.



Dijk in het Bildt



Noord-Oost Groningen

De Duitse dijken langs de Dollard zijn gronddijken met een flauw buitentalud en een grasbekleding.



Duitsland



Duitsland

4 Innovatieve dijken

Een innovatieve dijk wordt gedefinieerd als een nieuw dijkconcept, waarvoor nog geen voorschriften, leidraden en technische rapporten beschikbaar zijn voor de toetsing en het ontwerp. In paragraaf 4.1 wordt een overzicht gegeven van de categorieën (voor meer informatie zie de inventarisatie van Van der Zwan en Tromp, 2010). In paragraaf 4.2 wordt een (niet-uitputtende) 'longlist' van de innovatieve waterkeringen gegeven, waarbij het accent ligt op de categorie 'ruimtelijke concepten'.

4.1 Categorieën innovatieve concepten

- A. Vormvaste concepten
- B. Bekledingen
- C. Ruimtelijke concepten
- D. Tijdelijke maatregelen
- E. Dynamisch stabiele concepten

A. Vormvaste concepten

Vormvaste concepten hebben betrekking op dijkversterkingen. In het algemeen gaat bij dijkversterkingen de voorkeur uit naar een oplossing in grond. Als de ruimte het toelaat, wordt meestal gekozen voor een binnendijkse variant: een verhoging van de kruin in combinatie met vergroting of aanleg van een berm. Op dit moment zijn de volgende vormvaste concepten beschikbaar of in ontwikkeling (zie Van der Zwan en Tromp, 2010):

- Mixed-in-Place
- Dijkdeuvels (expanding columns)
- Dijkvernageling
- Korte damwanden
- Grindkolommen (zoals de 'Waterontspanner' van WSRL, Movares en Deltares)
- SmartSoils (SAP, biosealing, biogrout, versterkte bagger)
- Geocrete
- Ondergrondse polder

B. Bekledingen

Zoals de vormvaste concepten voornamelijk ingrijpen op de binnenkant van de dijk, richten de innovatieve bekledingsconcepten zich op de buitenkant van de dijk. Dit kan zich uiten in het gebruik van andere grondstoffen en/of materiaal, of in het toepassen van andere vormen. Op dit moment zijn de volgende vormvaste concepten beschikbaar of in ontwikkeling (zie Van der Zwan en Tromp, 2010):

- Smartsoils
- Versterkte baggerspecie
- Breuksteen met alternatieven voor cement
- C-fix
- Elastocoast
- Cemroc
- Zwavelbeton
- Asfaltbekledingen
- Ecotops
- Anome - GC
- Hillblock

C. Ruimtelijke concepten

Dit zijn versterkingen waarbij wordt gestreefd naar een optimale benutting van de ruimte, en waarbij gezocht wordt naar oplossingen die ook ruimte bieden voor andere (nieuwe) functies.

Zoals in hoofdstuk 2 beschreven, is er momenteel veel aandacht voor innovatieve ruimtelijke dijkconcepten. Voor een aantal vergelijkbare concepten zijn verschillende namen en termen in omloop. Daarom is een eenduidige indeling nagenoeg onmogelijk. De invalshoek is vaak bepalend voor de benaming en indeling. Zo legt het initiatief 'Multidijk' (voorheen 'Klimaatdijk') de nadruk op ruimtelijke ordening, ruimtegebruik en multifunctionaliteit. Bij de 'Brede dijk' staan het multifunctionele en het doorbraakvrije karakter centraal. Bij de 'Deltadijk' wordt de nadruk gelegd op de technische aspecten en de veiligheidsfilosofie. Ook bij de 'Doorbraakvrije' of 'Doorbraakbestendige' dijk staat de veiligheidsfilosofie centraal. Silva en Van Velzen (2008) verstaan onder een 'Doorbraakvrije' dijk een waterkering met een honderd maal kleinere kans op falen dan volgens de huidige veiligheidseisen

D. Tijdelijke maatregelen

Als bij de veiligheidstoetsing wordt geconcludeerd dat de waterkering niet voldoet aan de norm, maar dat een versterking pas na 5 à 10 jaar kan plaatsvinden of kan zijn afgerond, wordt soms gekozen voor tijdelijke maatregelen. Het idee om tijdelijke voorzieningen te treffen om de periode te overbruggen tot de daadwerkelijke uitvoering van versterkingsmaatregelen is gerealiseerd, kan als een procesmatige innovatie worden gezien. Het geeft tijd om nieuwe oplossingen te vinden en partijen bij het proces te betrekken. Ook kan een tijdelijke maatregel op technisch gebied innovatief zijn.

E. Dynamisch stabiele concepten

- Zandduin
- Grindduin
- 2^e Maasvlakte

4.2 'Longlist' van waterkeringsconcepten

Op basis van eerdere inventarisaties en ervaring van de waterkeringsbeheerders is de volgende 'longlist' van waterkeringsconcepten opgesteld:

Traditionele dijken:

- Gronddijk met steen-/asfalt- of grasbekleding

Innovatieve dijken:

Enkelvoudige dijk als onderdeel van dijkkring (seriesysteem)

- Basisconcepten:
 - Overslagbestendige dijk
 - Overstroombare dijk (ook toepasbaar in parallel systeem)
- Robuuste concepten:
 - Onoverstroombare dijk
 - Deltadijk
 - Klimaatdijk/Multidijk
 - Superdijk/Terpendijk

Meerdere dijken achter elkaar (parallel systeem)

- Dubbele dijk/Tripplendijk (Waker-Slaper-Dromer)

Hybride keringen:

- Dijk-in-duin
- Dijk-in-boulevard

Eco-Engineering:

- Biobouwers
- Oeverdijk
- Drijvend moeras
- Rijke dijk
- Dijk met kwelderwal

Dynamisch stabiele oplossingen:

- Zandsuppleties
- Zandmotor
- Nieuwe duinen
- Zachte zeewering met sediment en vegetatie

Kunstwerken en bijzondere constructies:

- Kunstwerk geïntegreerd met bebouwing
- Functie scheidende schermen
- Demontabele kering
- Standaard dijk met innovatieve elementen

Voor alle dijkconcepten in de 'longlist' worden puntsgewijs de belangrijkste kenmerken, het doel, de stand van zaken, de voor- en nadelen, etc. genoemd. Hierbij is onder meer gebruik gemaakt van een inventarisatie van Van der Zwan en Tromp (2010). De concepten vormen de basis voor de nog nader te bepalen shortlist en vertaalslag naar typologieën.

Overigens zijn er nog meer concepten gericht op het aanpassen aan effecten van klimaatverandering, zoals bijvoorbeeld 'wisselpolders'. Bij het 'wisselpolder'-concept wordt een opening in de dijk gemaakt waardoor zeewater in de polder kan stromen en opslibbing kan plaatsvinden. Als de polder (na een aantal jaren) voldoende is opgehoogd, wordt de dijk weer gesloten en is een andere polder aan de beurt om op te hogen.

4.2.1 Traditionele dijken

Zie hoofdstuk 3.

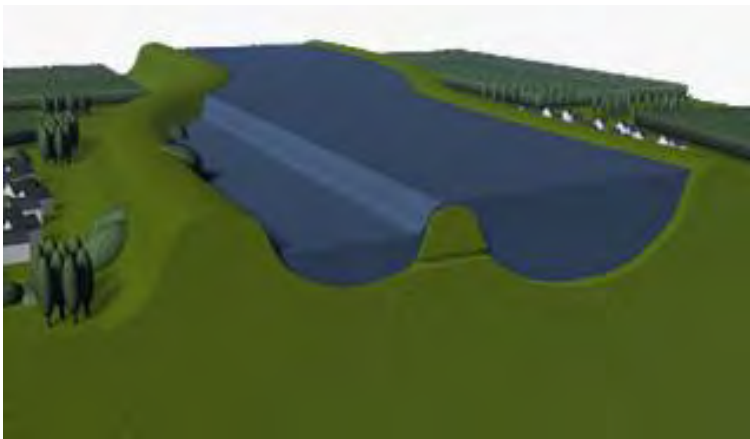
4.2.2 Innovatieve dijken

Overslagbestendige dijk

Omschrijving:	Bij een overslagbestendige dijk is de dijkbekleding bestand tegen een vooraf bepaald overslagdebiet. Volgens de huidige leidraden is, afhankelijk van de erosiebestendigheid van de grasmatten, overslag van 0,1, 1 of 10 l/s per m dijk toegestaan. Bij steen- of asfaltbekledingen kan een hoger overslagdebiet worden toegestaan.
Doel:	Het voorkomen van dijkdoorbraak en grootschalige overstroming met bijbehorende schade. Als overslag plaatsvindt, is er waarschijnlijkheid wel sprake van overlast en schade, maar niet van een ramp.
Welke fase?:	Bestaand, pilotprojecten.
Waar toegepast?:	Diverse bestaande dijken en dammen zijn voorzien van harde bekledingen. In ComCoast zijn een aantal pilotprojecten uitgewerkt. Zo is bij Perkpolder een deel van de polder tussen de overslagbestendige dijk en de achterliggende dijk ingericht met een hoogwaterbestendig hotelcomplex en vakantiewoningen. In een ander deel van die polder wordt een deel van de dijk doorgestoken om getijdenwerking toe te staan voor de ontwikkeling van nieuwe natuur.

Voordelen:	Tijdens extreme omstandigheden is weliswaar sprake van schade en overlast door overslaand water, maar zal waarschijnlijk geen dijkdoorbraak en schade door grootschalige inundatie optreden. Uit veiligheidsoverwegingen moeten de bewoners bij overslag wel worden geëvacueerd. Ook voor een overslagbestendige dijk geldt de hoogte van de dijk als voornaamste criterium, en geldt voor de overige faalmechanismen dat de dijk met 'een grote mate van zekerheid de maatgevende waterstand moeten kunnen doorstaan'. Bij een overslagbestendige dijk worden geen (extra) eisen gesteld aan de niet aan overslag gerelateerde bezwijkmechanismen. Hierdoor is er een kleine kans op bezwijken door andere faalmechanismen dan overslag. Eventueel kunnen bij extreme omstandigheden maatregelen worden getroffen (opkisten van wellen, aanleggen van zandbermen op kritieke plaatsen) om bezwijken zolang mogelijk uit te stellen.
Nadelen/belemmeringen:	Gebruiksmogelijkheden van de binnendijkse strook worden beperkt en er kan bij extreme omstandigheden wateroverlast zijn. Bij overslag kan door infiltratie de freatische lijn in de dijk hoger worden, met gevolgen voor de stabiliteit. Over dit proces is nog weinig bekend.
Betrokken partijen:	Deltares, ComCoast, Projectbureau Zeeweringen.
Literatuur/informatie:	Overslagbestendige variant in 'Geotechnische risico-evaluatie van vijf basisreferentie varianten voor versterking Afsluitdijk'(Deltares 432660-0007, september 2008). www.comcoast.org

Overstroombare dijk



Figuur 4.1

Voorbeeld van een overstroombare rivierdijk (bron: Deltares 2010).

Omschrijving:	Bij een overstroombare waterkering kan bij hoge waterstanden water gecontroleerd over de dijk stromen naar (daar op ingericht) achterliggend gebied. De dijk kan een waterstand tot de kruin keren, en voldoet dan aan de veiligheidseisen voor alle bezwijkmechanismen, inclusief golfoverslag en overloop. De bekleding (aan buiten- en binnenzijde dijk) is bestand tegen overstrooming. Dit concept is vooral ontwikkeld voor dijken langs rivieren (zoet water). Overstroming van een gebied met zout water zal aanzienlijk effect hebben op het agrarisch gebruik van het achterliggend gebied.
Doel:	De dijk zorgt ervoor dat bij een bepaalde waterstand, het rivierwater gecontroleerd de dijk overstroomt naar het achtergelegen (daar op ingerichte) gebied. De oplossing vrijwaart de stroomopwaarts gelegen gebieden tegen overstroomingen.
Welke fase?:	In praktijk uitgevoerd.
Waar toegepast?:	Sigmaplan België, waarbij GOG's (Gecontroleerd Overstroombare Gebieden) langs de Schelde een betere oplossing bieden dan integrale dijkversterking. Bijvoorbeeld

	de overstordijk langs de Schelde bij Kruibeke. Retentiebekkens Lateraalkanaal (ten gunste van Roermond).
Voordelen:	Ondanks schade en overlast in het achterliggend gebied zal naar alle waarschijnlijkheid geen dijkdoorbraak en schade door grootschalige overstromingen optreden. Dit is echter een groot verschil met de huidige veiligheidsfilosofie.
Nadelen/belemmeringen:	De overstroombare dijk moet zowel bestand zijn tegen overloop/golfoverslag als tegen bezwijken door andere faalmechanismen. Afvoer van overslaand water. Benodigd ruimtebeslag. Het achterliggend gebied moet op de overstroming zijn ingericht. De veiligheidsfilosofie verandert ten opzichte van het huidige veiligheidsdenken.
Betrokken partijen:	DEC uit Zwijndrecht (uitvoer bij Kruibeke), KOAC.NPC (toezicht bij Kruibeke).

Onoverstroombare dijk

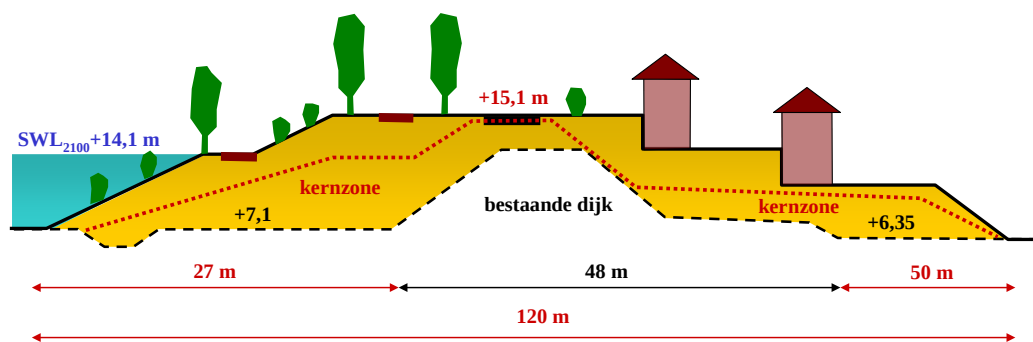
Omschrijving:	Een waterkering die zo hoog is dat er - normaliter - bij maatgevende omstandigheden geen overloop of golfoverslag kan optreden. Bij een onoverstroombare waterkering worden geen (extra) eisen gesteld aan niet aan golfoverslag gerelateerde bezwijkmechanismen.
Doel:	Het beschermen van het achterliggend gebied tegen overstroming en overlast. Omdat er bij een onoverstroombare dijk geen (extra) eisen worden gesteld aan niet aan overslag gerelateerde bezwijkmechanismen, is er een kans op bezwijken door andere faalmechanismen. Vanuit de uitgangspunten voor veiligheid, kan bij het uitsluiten van de kans op bezwijken door golfoverslag en overloop, de kans op bezwijken door andere faalmechanismen zelfs groter worden terwijl de totale faalkans van de waterkering niet toeneemt. Tot een zekere mate kunnen er bij extreme omstandigheden maatregelen worden getroffen (opkisten van zandmeevoerende wellen, aanleggen van zandbermen op kritieke plaatsen) om bezwijken zolang mogelijk uit te stellen. Uit veiligheidsoverwegingen moeten de bewoners wel worden geëvacueerd bij maatgevend hoogwater of zelfs al eerder.
Welke fase?:	Pilotprojecten.
Waar toegepast?:	Nog niet toegepast.
Voordelen:	Een groot voordeel is dat dijkdoorbraak en schade door grootschalige overstromingen zo lang mogelijk worden uitgesteld.
Nadelen/belemmeringen:	Benodigd ruimtebeslag. Veiligheidsfilosofie verandert ten opzichte van het huidige veiligheidsdenken. Dit moet nog goed worden doordacht.
Betrokken partijen:	Deltares.

Deltadijk

Omschrijving:	Een robuuste dijk die zo hoog, breed of sterk is dat de kans op een oncontroleerbare overstroming vrijwel nihil is.
Doel:	Deltadijken beperken de kans op doorbraak en verminderen het slachtoffer risico en de kans op schade. Ook zijn Deltadijken een maatregel om aan strengere normen te voldoen.
Welke fase?:	Onderzoek in het kader van het Deltaprogramma (deelproject Verkenning Deltadijken). Dit onderzoek moet onder meer inzicht geven in de veiligheidseisen die aan de verschillende faalmechanismen moeten worden gesteld. Daarbij moet rekening worden gehouden met de bevindingen in het programma SBW (Sterkte Belasting Waterkeringen) en de impact van een 10 tot 100 hoger veiligheidsniveau.
Waar toegepast?:	Nog niet toegepast.

Voordelen:	De dijk is zo sterk dat in uitzonderlijke situaties een beperkte hoeveelheid water over de dijk kan stromen zonder dat de dijk doorbreekt. Bij toepassing van doorbraakvrije dijken nemen de omvang en het gevaar van overstromingen zodanig af, dat bij de ruimtelijke inrichting van het achterliggende gebied minder rekening hoeft te worden gehouden met de eventuele gevolgen van een overstroming.
Nadelen/belemmeringen:	Er wordt meer overloop/golfoverslag toegestaan dan volgens de huidige criteria. Een Deltadijk vergt meer ruimte en is duurder dan een traditionele dijk.
Betrokken partijen:	DG Water, RWS en Deltares
Literatuur/informatie:	Verkenning Deltadijken (Knoeff en Ellen, 2011).

Klimaat-/Multidijk



Figuur 4.2

Voorbeeld Klimaatdijk Tiel-Oost (bron: Deltares, 2010).

Omschrijving:	De Klimaat-/Multidijk is een verzamelterm van inrichtingsvormen waarbij de waterkering zo robuust is dat deze niet doorbreekt, ook als de dijk zou overstromen. Een Klimaatdijk/Multidijk bestaat uit een multifunctionele, robuuste beschermingszone die past in haar omgeving. De Klimaat-/Multidijk kan verschillende verschijningsvormen aannemen, zoals brede dijken, terpen, overslagbestendige dijken en tal van innovatieve oplossingen. Ook combinaties daarvan met een meer gangbare waterkering behoren daartoe.
Doel:	Realiseren van robuuste veiligheid in combinatie met andere functies.
Welke fase?:	Pilotprojecten.
Waar toegepast?:	Nog niet toegepast, wel ontwerpen voor o.a. Katwijk, bypass Kampen, Streefkerk.
Voordelen:	Deze dijk biedt blijvende veiligheid, ook als het klimaat in de toekomst verder verandert. Verder biedt dit concept niet alleen een oplossing voor toekomstvast waterveiligheid, maar draagt ook bij aan de oplossing van andere maatschappelijke vraagstukken en functies.
Nadelen/belemmeringen:	Een Multidijk vergt meer ruimte en is duurder dan een traditionele dijk.
Betrokken partijen:	Corporate Innovatie Programma (CIP, voorheen WaterINNnovatiebron WINN), Platform Multidijk.
Literatuur/informatie:	Verkenning Klimaatdijk (Hartog et al., 2009), Klimaatbestendige dijk langs Nederrijn (De Moel et al., 2010), plannen voor dijkversterking Katwijk en Bypass Kampen

Figuur 4.3 toont de belangrijkste overeenkomsten en verschillen tussen een Deltadijk en een Multidijk.

Deltadijk:

- Primair voor de veiligheid
- Robuust (10 tot 100 × veiliger)
- Mono- of multifunctioneel
- Doorbraakbestendig
- Klimaatbestendig

Multidijk:

- Multifunctioneel
- Robuust (10 tot 100 × veiliger)
- Doorbraakbestendig
- Klimaatbestendig

**Figuur 4.3**

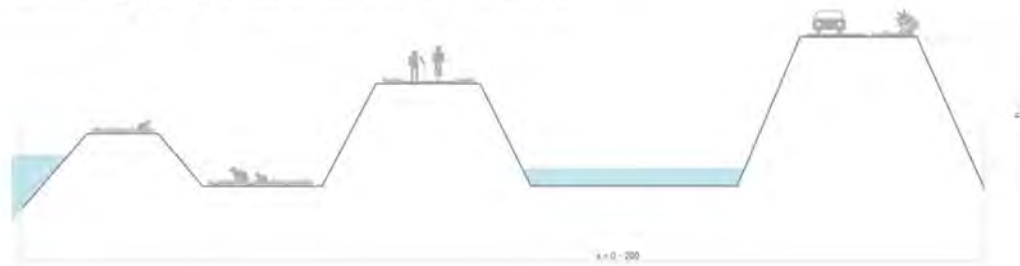
Kenmerken verschillen en overeenkomsten tussen een Deltadijk en een Multidijk (bron: Knoeff en Ellen, 2011).

Superdijk/Terpendijk**Figuur 4.4**

Voorbeeld superdijk: pilotcase Stadionpark Rotterdam (bron: Urbanisten, 2010).

Omschrijving:	Hoge en brede dijk die als (stads)landschap is vormgegeven.
Doel:	Dijk is onbezwijkbaar. Binnentalud spoelt niet weg door overstromend water.
Welke fase?:	Vierhavenstrip Rotterdam, pilotcase Stadionpark Rotterdam.
Waar toegepast?:	De superdijk is een Japans concept. Hier liggen langs de (tsunami- en tyfoongevoelige) kust waterkeringen die zo breed en hoog zijn dat de functie waterkeren kan worden gecombineerd met de functie wonen of de functie stadspark (waarbij er vanuit wordt gegaan dat extreem hoog water zeer zelden voorkomt).
Voordelen:	In stedelijk gebied is een combinatie met 'stadsvernieuwing' mogelijk. Meervoudig ruimtegebruik. Schade lager door tijdelijk wateroverlast in kleiner gebied. Compartimentering is niet nodig.
Nadelen/belemmeringen:	Na bebouwing is er weinig flexibiliteit om de dijk te verhogen. Vanwege aanleg- en vervormingsproblematiek (zettingen) voor de constructie zelf en de omgeving, is het concept moeilijk toepasbaar in gebieden met een slappe ondergrond (zoals bijvoorbeeld het westelijke rivierengebied). Een Superdijk heeft veel invloed op de omgeving (op landschap, natuur en cultuurwaarden (de LNC waarden)).
Betrokken partijen:	Onder meer: Platform Klimaatdijk/Multidijk, Royal Haskoning, Deltares, Arcadis.
Literatuur/informatie:	Toepasbaarheid Superdijk. Afstudeerproject Hogeschool Rotterdam (R. Slijk, F. Heimeriks en T. Monster juni 2009). www.rotterdam.nl : Trapdijk, Rotterdam www.rotterdam.nl : Dakpark Vierhavenstrip Rotterdam Tiel Oost, Droger en mooier. (Gemeente Tiel, aug 2008). Veilige en goed ingepaste waterkeringen in Rotterdam. (Urbanisten, 2010).

Dubbele dijk/Tripplle dijk (Waker-Slaper-Dromer)



Figuur 4.5

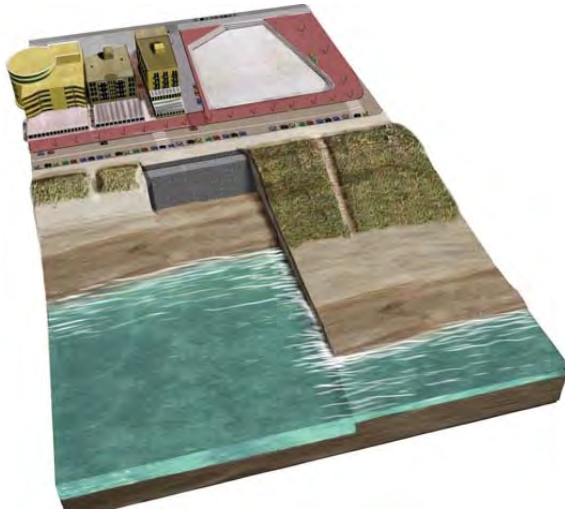
Voorbeeld van een tripplledijk (bron: Hartog et al., 2009).

Omschrijving:	De dubbele dijk bestaat uit een parallelsysteem van twee dijken achter elkaar, bijvoorbeeld een wakerdijk direct langs het water en een slaperdijk daarachter in het binnenland. Een tripplledijk bestaat uit een parallelsysteem van drie dijken achter elkaar: de waker, de dromer en de slaper.
Doel:	Waarborgen van de veiligheid tegen overstromen van het achterland door twee of drie dijken achter elkaar.
Welke fase?:	Ontwikkeling.
Waar toegepast?:	Op verschillende plekken in Nederland is deze situatie al aanwezig, vanwege de historische situatie (van het opschuiven van dijken). . de zomerdijken en winterdijken langs de grote rivieren zijn een voorbeeld van een dubbele dijk. Dit concept is ook toegepast bij de Hondsbossche zeewering.
Voordelen:	Door in het gebied tussen de dijken bijvoorbeeld natuur of natte functies in plaats van woonfuncties toe te staan kunnen beide dijken bijdragen aan de veiligheid van het achterliggende gebied.
Nadelen/belemmeringen:	De bijdrage van elke afzonderlijke dijk in het parallelsysteem aan de veiligheid van het achterland is nog niet duidelijk en moet nog nader worden ingevuld.
Betrokken partijen:	Rijk, Wageningen UR, Deltares.
Literatuur/informatie:	Klimaatbestendige dijk langs Nederrijn (De Moel et al., 2010)

4.2.3 Hybride keringen

Een hybride kering bestaat uit een combinatie van hard en zacht. Door een zachte vooroever voor de waterkering neemt de golfbelasting op de harde kering af en kan worden volstaan met een lagere kruinhoogte. De dimensies volgen uit een analyse van afslag van de vooroever/voorland in combinatie met overloop/overslag en andere faalmechanismen van de dijk. Hybride keringen kunnen zowel traditionele oplossingsrichtingen als innovatieve concepten zijn, al dan niet gecombineerd met Eco-engineering. Duinen met een harde bekleding, een duinvoetverdediging, of een verticaal scherm ter plaatse van de duinvoet, kunnen ook als hybride kering worden aangemerkt.

Dijk-in-duin



Figuur 4.6

Voorbeeld Dijk-in-duin (bron: gemeente Noordwijk).

Omschrijving:	Hybride kering (combinatie van hard en zacht), bestaande uit een traditionele dijk, die geheel is voorzien van een harde steenbekleding waarover een zandaanvulling in de vorm van een duin is aangebracht.
Doel:	Verlaging van de vereiste kruinhoogte door reductie van de golfaanval als gevolg van afslag van het zand voor de kering.
Welke fase?:	Realiseerbaar.
Waar toegepast?:	Kustversterking Noordwijk.
Voordelen:	Kruinverlaging versterkt gewenste verbinding tussen badplaats en de zee (zo gering mogelijke barrièrewerking). Flexibele oplossing omdat een veiligheidsprobleem simpel en goedkoop kan worden opgelost door meer zand voor de kering aan te brengen
Nadelen/belemmeringen:	Harde kering is niet zichtbaar en moeilijk te beheren en te inspecteren.
Betrokken partijen:	Rijkswaterstaat, provincie Zuid-Holland, hoogheemraadschap Rijnland, gemeente Noordwijk en Arcadis.
Literatuur/informatie:	Dijkversterkingsplan Dijk-in-duin Noordwijk (Arcadis).

Dijk-in-boulevard



Figuur 4.7

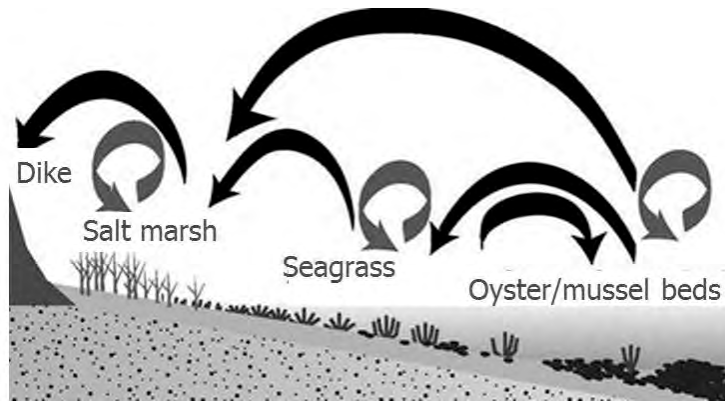
Voorbeeld Dijk-in-Boulevard (bron: gemeente Den Haag).

Omschrijving:	Hybride kering (combinatie van hard en zacht), bestaande uit een traditionele dijk voorzien van een harde steenbekleding, en een hoeveelheid zand voor de harde kering. Over de dijk wordt een boulevard aangelegd, die kan worden ingericht met andere dan waterkerende functies.
Doel:	Verlaging van de vereiste kruinhoogte door reductie van de golfaanval als gevolg van afslag van het zand voor de kering.
Welke fase?:	Realiseerbaar.
Waar toegepast?:	Dijk-in-Boulevard Scheveningen (in uitvoering).
Voordelen:	Kruinverlaging versterkt gewenste verbinding tussen badplaats en de zee (zo gering mogelijke barrièrewerking). Flexibele oplossing omdat een veiligheidsprobleem simpel en goedkoop kan worden opgelost door meer zand voor de kering aan te brengen. Op de waterkering zijn andere functies mogelijk.
Nadelen/belemmeringen:	Dure oplossing, waarbij extra financiering van andere partijen nodig is.
Betrokken partijen:	Rijk, provincie Zuid-Holland, Deltares, gemeente Den Haag, Arcadis, Witteveen+Bos.
Literatuur/informatie:	Boulevard en zeewering Scheveningen, engineering zeewering, definitief ontwerp dijk (Witteveen+Bos, 2009)

4.2.4 Eco-engineering

Bij Eco-engineering oplossingen wordt gebruik gemaakt van natuurlijke processen, en is er een meerwaarde voor natuur. Voorbeelden zijn het suppleren van grote hoeveelheden zand als innovatieve manier van kustbescherming (de zandmotor, kust Delfland), het aanleggen van oesterriffen om erosie te voorkomen (Oosterschelde), het integreren van een wilgenbos in het ontwerp van dijkverhoging (Noordwaard) en het aanbrengen van extra zand om de aangroei van vooroevers met riet en wilgen te stimuleren (de zachte zandmotor, Friese kust, IJsselmeer). Ook voor zeeweringen kunnen - onder voorwaarde van gunstige randvoorwaarden - natuurlijke processen worden ingezet om de ontwikkeling van een vooroever te stimuleren (kwelders). Het toepassen van Eco-engineering kan - afhankelijk van de randvoorwaarden - kostenefficiënt zijn. Kennis over Eco-engineering wordt onder meer ontwikkeld binnen het CIP (Corporate Innovatieprogramma) van RWS. Ook is een programma (Building with Nature) geïnitieerd om kennis te genereren over Eco-engineering, waarbij wordt samengewerkt tussen kennisinstellingen en bedrijfsleven in het consortium Ecoshape (zie www.ecoshape.nl). In het kader van het Deltaprogramma is een verkenning uitgevoerd (Fiselier et al., 2011).

Biobouwers

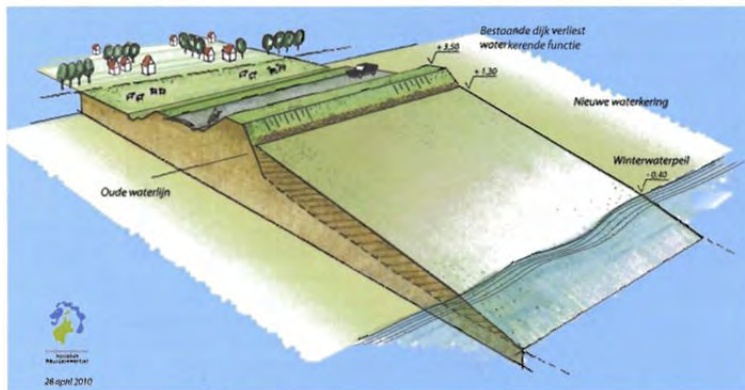


Figuur 4.8

Gradiënt van biobouwers die de bodem stabiliseren, sediment vastleggen en daarmee de kust beschermen. Pijlen geven positieve effecten aan van stabilisatie, vastlegging en bescherming (De Vries et al., 2007).

Omschrijving:	Levende organismen, zoals riet, zeegras of schelpdieren, worden ingezet om de bodem te stabiliseren en sediment in te vangen en daarmee waterkeringen te versterken. Biobouwers voor de dijk kunnen een voorland vormen: een brede, golfreducerende zone. Dit kan een gunstig effect hebben op onderhoud en beheer en eventuele dijkversterking.
Doel:	Ecologische waarde van de waterkeringen wordt vergroot, en zo mogelijk golfreductie (en daarmee gunstig effect op benodigde hoogte waterkering, en beheer en onderhoud).
Welke fase?:	Pilots en onderzoek.
Waar toegepast?:	Drijvend rietmoeras in Markermeer-IJmeer. Luwe zones voor Houtribdijk (hockeysticks). Oester- en mosselbank in de Oosterschelde. Pilotproject Grienden voor de dijk bij Fort Steurgat (RvR project Noordwaard).
Voordelen:	Structuren van biobouwers houden zichzelf in stand en hebben weinig onderhoud nodig; gunstig effect op golfreductie; ecologische waarde.
Nadelen/belemmeringen:	De beheerder van de waterkering moet breder kijken, vooral in het kader van beheer en onderhoud; nog onzekerheden over golfreducerende werking onder extremen omstandigheden; gevoeligheid van biobouwers voor omgevingsfactoren.
Betrokken partijen:	Deltares, NMIJ Programma Natuurlijk(er) Markermeer-IJmeer, Ruimte voor de Rivier, Wageningen UR, Ecoshape
Literatuur/informatie:	Biobouwers aan de kust, haalbaarheidsstudie, Rijkswaterstaat WaterINNovatiebron (nu Corporate InnovatieProgramma), november 2007 www.levendewaterbouw.nl www.ecoshape.nl Perspectief natuurlijke keringen; een eerste verkenning ten behoeve van het Deltaprogramma (Fiselier et al., 2011).

Oeverdijk



Figuur 4.9

Voorbeeld oeverdijk langs Markermeer (bron: Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier).

Omschrijving:	Een oeverdijk is een halfhoge, extra brede zanddijk als alternatief voor een traditionele dijk en wordt aangelegd tegen de bestaande dijk.
Doel:	Golfreductie in combinatie met natuurontwikkeling.
Welke fase?:	Ontwerpfase.
Waar toegepast?:	Ontwerpvariant voor Markermeerdijk.
Voordelen:	De oeverdijk biedt extra mogelijkheden voor recreatie, natuur en landschap.
Nadelen/belemmeringen:	Kosten en onderhoud van de oeverdijk nog niet helemaal duidelijk.
Betrokken partijen:	Rijk, Deltares, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Literatuur/informatie: www.levendewaterbouw.nl

Rijke dijk

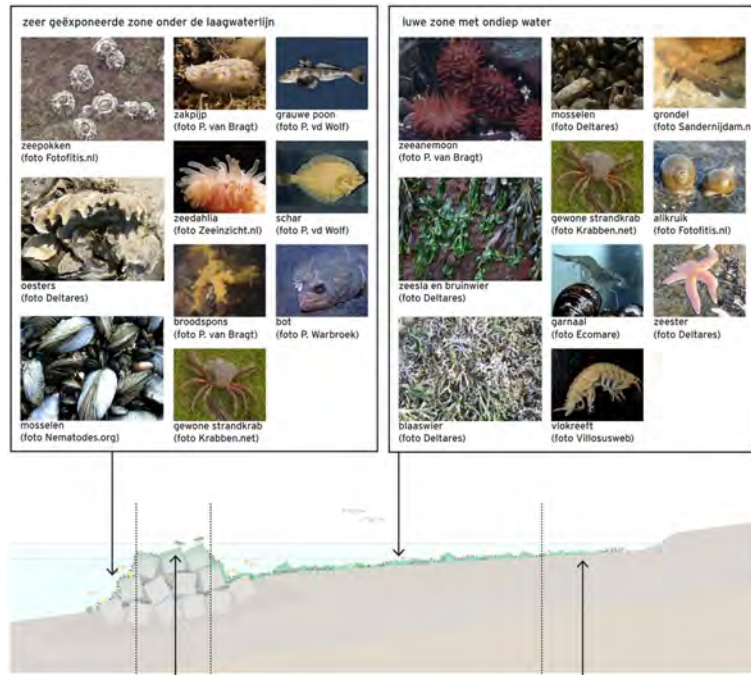
Omschrijving:	Binnen het project 'Rijke dijk' wordt geëxperimenteerd met bekleding en ontwerp van de waterkering om de ecologische waarde te verhogen. Begroeiing op hard substraat wordt bepaald door verschillende verticale milieu-gradiënten, zoals golf expositie en droogvalduur. Door voor het harde substraat materiaaleigenschappen te selecteren die de aanhechtingsmogelijkheden vergroten voor organismen die op en vlak onder het waterniveau leven, kan de bio-productiviteit en mogelijk de biodiversiteit worden verhoogd. Belangrijke eigenschappen van het materiaal zijn de ruwheid (betere aanhechting), de plaatsing (geëxposeerd, beschermt), het watervasthoudend vermogen (de beschikbaarheid van water voor planten), de hardheid (borende dieren), de kleur (warmte opnemend), de grootte en de chemische samenstelling.
Doel:	Ecologische waarde van de waterkeringen wordt vergroot. Met het verhogen van de bio-productiviteit worden de natuurlijke functies van de dijk versterkt en het aangrenzende ecosysteem verrijkt.
Welke fase?:	Sinds 2007 zijn proefprojecten uitgevoerd.
Waar toegepast?	Aanpassen van dijkbekleding (Ellewoutsdijk, Heijmans, C-fix). Verbeteren van de stortsteen-'berm' (Wemeldinge, projectbureau Zeeweringen). Aanbrengen van eco-structuren op gladde betonnen pijlers en blokken (o.a. Haven Rotterdam en havenpielen IJmuiden). Eco-Xbloks op de Zuiderhavenpier IJmuiden (voorjaar 2008). Eco-beton op de havenpier IJmuiden (voorjaar 2008).
Voordelen:	Eco-structuren houden zichzelf in stand en hebben weinig onderhoud nodig.
Nadelen/belemmeringen:	Er is ander beheer nodig, gericht op in stand houden van gunstige omstandigheden voor organismen.

Betrokken partijen:

Rijkswaterstaat (o.a. WINN), TU Delft, Havenbedrijf Rotterdam, Deltares, Xbloccs: BAM Infraconsult. Ecobeton: Microbeton, Shell, C-fix B.V. en BAM Infra consult.

Literatuur/informatie:

www.levendewaterbouw.nl



Figuur 4.10

Rijke Dijk (bron: Van der Zwan en Tromp, 2010).

Dijk met kwelderwal

Omschrijving:

Een kwelder die een zachte oeverbescherming voor een traditionele dijk vormt, met een golfreducerende werking (een vooroever), die (onder voorwaarde van voldoende sediment) in de tijd mee kan groeien met de zeespiegelstijging door de van nature aanwezige aanslibbingsprocessen.

Doel:

Positieve bijdrage aan de veiligheid via de golfreducerende werking van een natuurlijke vooroever die (onder voorwaarde van voldoende sediment) in de tijd mee kan groeien met de zeespiegelstijging vanwege de van nature aanwezige aanslibbingsprocessen. Vanwege de golfreducerende werking kan soms worden volstaan met een lichtere dijkbekleding.

Welke fase?:

Onderzoek.

Waar toegepast?:

Nog niet toegepast. Wel op diverse plaatsen aanwezig.

Voordelen:

Vermindering van de golfaanval, getijdengeulen worden op afstand gehouden, natuurlijke sedimentbalans (vergelijk: evenwichtsprofiel bij zandige kust), natuurwaarden.

Nadelen/belemmeringen:

Omvangrijk grondlichaam voor de dijk nodig. Onzekerheid over effect bij maatgevende omstandigheden en of meegroeien met de zeespiegelstijging daadwerkelijk zal gebeuren. Bij ongunstige omstandigheden (zoals verplaatsing van geulen) vindt erosie plaats en zijn maatregelen nodig om erosie te voorkomen en/of ophoging te stimuleren (bijvoorbeeld via kwelderwerken, suppleties of door het aanbrengen van harde voorzieningen in de vooroever).

Betrokken partijen:

Rijk, Deltares, Wageningen UR.

4.2.5 Dynamisch stabiele oplossingen

Zandsuppleties

Omschrijving:	Zandsuppleties bestaan uit kunstmatig aangebrachte zandaanvullingen op de vooroever en/of het bestaande duin.
Doel:	Handhaven van de basiskustlijn (BKL) via suppletie van (afgeslagen) zand zodat de kustafslag wordt gecompenseerd of gereduceerd en het stimuleren van natuurontwikkeling.
Welke fase?:	Huidige praktijk. Binnen het Corporate Innovatie Programma (CIP) van RWS wordt momenteel een project uitgevoerd gericht op innovatie bij zandsuppleties.
Waar toegepast?:	Langs de gehele zandige kust.
Voordelen:	Flexibele maatregel; biedt extra mogelijkheden voor recreatie.
Nadelen/belemmeringen:	Kosten en tijdelijke niet-beschikbaarheid van het strand, en soms (tijdelijke) verstoring van natuurlijke milieu (ander samenstelling zand).
Betrokken partijen:	Rijkswaterstaat, Deltares, Wageningen UR en waterkeringsbeheerders.

Zandmotor

Omschrijving:	Suppletie van een grote hoeveelheid zand op een bepaalde plek langs de kust.
Doel:	Gebruik maken van de natuurlijke dynamische erosie- en sedimentatieprocessen om het zand naar de gewenste locaties te verplaatsen.
Welke fase?:	Gerealiseerd.
Waar toegepast?:	Langs Zuid-Hollandse kust bij Terheijden en in de Oosterschelde .
Voordelen:	Door het suppleren van extra zand op een geconcentreerde locatie voor de kust wordt er van uitgegaan dat dit door dynamisch evenwicht zodanig langs de kust wordt herverdeeld dat dit tot reductie van de golfrandvoorwaarden leidt en afslag compenseert en gunstig is voor andere functies, zoals natuur en recreatie.
Nadelen/belemmeringen:	Onzekerheid of al het zand wel op de goede plek langs de kust terecht komt met kans op veel zandverliezen.
Betrokken partijen:	Rijk, Deltares, provincie Zuid-Holland, gemeente Rotterdam en gemeente Den Haag.



Figuur 4.13

Voorbeeld zandmotor langs Zuid-Hollandse kust bij Terheijde (bron: www.dezandmotor.nl).

Nieuwe duinen

Ook de aanleg van nieuwe duinen is een mogelijke zachte oplossing om de veiligheid tegen overstroming te combineren met natuur en/of recreatieve functies. Omdat duinen op dit moment vooral langs de Noordzee en niet langs de Waddenzee voorkomen, wordt deze oplossingsrichting buiten beschouwing gelaten.

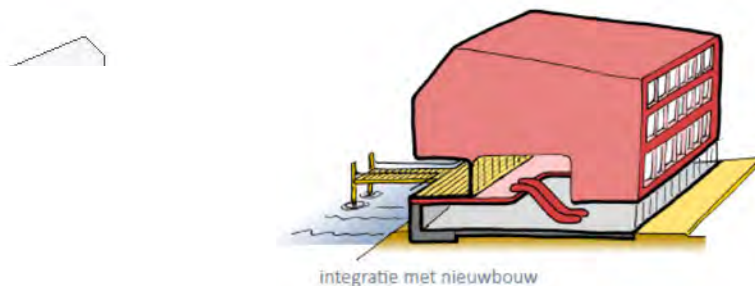
Zachte zeeweringen met sediment en vegetatie

Fluid mud heeft een golfreducerende werking en kan daarom een rol spelen in de waterveiligheid. Het suppleren van sediment en het stimuleren van vegetatie om kwelderaanwas te bevorderen (eventueel in combinatie met geulverlegging) kan een mogelijkheid zijn om de veiligheid tegen overstroming gunstig te beïnvloeden. Zie ook het concept met de kwelderwal. In de volgende fase van het Deltaprogramma Waddengebied worden de kansen voor het toepassen van kwelders voor de waterveiligheid in afstemming met de deelprojecten gericht op morfologie en de kwelders verder onderzocht.

4.2.6 Kunstwerken en bijzondere constructies

Kunstwerken geïntegreerd met bebouwing

Bij ruimtegebrek kunnen in plaats van een grondlichaam ook waterkerende kunstwerken worden toegepast. Deze kunnen zowel worden ingezet als functie scheidend element of als geïntegreerde oplossing (figuur 4.14).

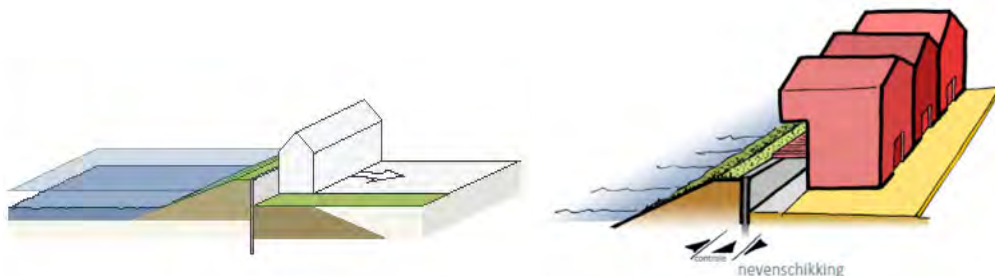


Figuur 4.14

Voorbeeld van een keermuur, die is geïntegreerd in de bebouwing (bron: Urbanisten, 2010).

Functiescheidende schermen

Bij ruimtegebrek kunnen de bestaande concepten van bijzondere waterkerende constructies worden toegepast als functiescheidend element tussen de waterkerende functie en andere functies (figuur 4.15).



Figuur 4.15

Voorbeeld van damwandscherm als scheiding tussen grondelijk en bebouwing (bron: Urbanisten, 2010).

Demontabele keringen

Demontabele keringen zijn waterkeringen die bij dreigend hoog water tijdelijk worden gesloten, ter bescherming tegen overstroming van het achtergelegen gebied. Normaliter is de waterkering niet zichtbaar aanwezig en geïntegreerd in de omgeving. Demontabele keringen worden toegepast in geval een permanente kering niet mogelijk is, veelal vanwege andere belangen, zoals stedelijke bebouwing of landschap.



Figuur 4.16

Sluiting van een demontabele kering in Venlo (bron: ANP).

Waterkeringstechnisch zijn de demontabele keringen te typeren door de beperkte sluitvraag en het feit dat het meestal een maatwerkoplossing is. Op sommige plekken komen demontabele keringen over langere strekkingen voor (tot enkele km's). Bij langere strekkingen is een uitgebreide organisatie nodig voor alarmering, mobilisatie, opbouw en bewaking. In Kampen wordt bijvoorbeeld jaarlijks geoefend met het opbouwen van keringen in het bebouwde gebied.

De betrouwbaarheid van de sluiting moet voldoen aan de eisen van de Leidraad Kunstwerken (Technische Adviescommissie Waterkeringen, 2003). Specifiek aandachtspunt daarbij is het in rekening brengen van het lengte-effect als het systeem uit veel elementen bestaat. Hierover zijn nog vele vragen die nader onderzoek vergen.

Standaard dijk met innovatieve elementen

In de regel bestaat de standaard zeedijk uit een grondlichaam met een stormvloedberm en eventueel met een stabiliteitsberm of pipingberm aan de landzijde. Het grondlichaam wordt daarbij, afhankelijk van de belastingen (stroming, golfaanval of golfoverslag), normaliter voorzien van een steen-, asfalt- of grasbekleding. In voorkomende gevallen kunnen aan de standaarddijk innovatieve elementen worden toegevoegd. Voorbeelden daarvan zijn de concepten van de in par. 4.1 genoemde categorieën A. Vormvaste concepten en B. Bekledingen.

Voorbeelden van recente ontwikkelingen zijn:

- versterkt veen (Smart soils); dit is een nieuwe techniek om bij dijken met een venige ondergrond het gevaar voor piping en zettingsvloeiing te beperken;
- versterkt gras, waarbij ter verhoging van erosiebestendigheid een wapening van kunststof in de grasmat wordt verwerkt;
- waterontspanners of grindpalen, waarbij de wateroverspanning en de freatische lijn in de ondergrond wordt verlaagd.

5 Verkenning innovatieve dijken in het Waddengebied

Voor het verkennen van de mogelijkheden voor innovatieve dijkconcepten in het Waddengebied is naast informatie over de randvoorwaarden van de innovatieve concepten ook informatie nodig over de landschappelijke, fysisch-geografische, socio-economische als ecologische karakteristieken van de omgeving. In bijlage 3 worden voor een aantal belangrijke gebiedskenmerken kaartbeelden gepresenteerd. De kaartbeelden omvatten het hele Waddengebied.

Op basis van de 'longlist' van dijkconcepten, en de beschikbare informatie over de gebiedskenmerken en opgaven, is in nauwe samenwerking met vertegenwoordigers van Waterschap Hunze & Aa's, Waterschap Noorderzijlvest, Wetterskip Fryslân en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier nagegaan welke innovatieve waterkeringen mogelijk zijn in het Waddengebied. Hiertoe zijn de dijken langs de Waddenzee verdeeld in trajecten met in de huidige situatie min of meer vergelijkbare dijken en omstandigheden. Voor elk dijktraject is vervolgens nagegaan welke innovatieve dijkconcepten:

- mogelijk lijken en qua lokale omstandigheden interessant om nader te onderzoeken (score groen);
- mogelijk zijn, maar qua lokale omstandigheden niet voor de hand liggend zijn (eventueel nader verkenning en/of onderzoek nodig) (score geel);
- technisch of ruimtelijk niet mogelijk lijken vanwege de lokale omstandigheden (score rood).

Dit heeft per dijktraject geresulteerd in een (niet uitputtende) zogenaamde 'shortlist' van innovatieve dijkconcepten die mogelijk lijken en qua lokale omstandigheden interessant zijn om nader te onderzoeken.

In figuur 5.1 staan de onderscheiden dijktrajecten voor Noord-Holland weergegeven. Tabel 5.1 geeft een eerste indicatieve score, en geeft per locatie een 'shortlist' van innovatieve dijkconcepten. De resultaten van de overige trajecten zijn bijgevoegd in bijlage 4, en in de kaart.



Figuur 5.1
Onderscheiden dijktrajecten Noord-Holland.

Tabel 5.1

Score Innovatieve dijkconcepten per onderscheiden dijktrajecten Noord-Holland, waarbij groen = mogelijk en interessant om nader te onderzoeken; geel = mogelijk, maar lijken qua lokale omstandigheden niet interessant (nadere verkenning en/of onderzoek naar mogelijkheden nodig; rood = technisch of ruimtelijk niet mogelijk.

		Locatie									
Type Innovatieve Dijk		NH1	NH2	NH3	NH 4	NH5	NH6	NH7	NH8	NH9	NH10
Basisconcepten	Overslagbestendige dijk	rood	rood	rood	rood	geel	geel	geel	geel	rood	rood
	Overstroombare dijk	rood	rood	rood	rood	geel	geel	geel	rood	rood	rood
Robuust	Deltadijk	rood	geel	geel	rood	geel	geel	geel	geel	geel	geel
	Klimaat- / Multidijk	rood	geel	geel	rood	geel	geel	geel	geel	geel	geel
	Superdijk/terpendijk	rood	geel	geel	rood	geel	geel	geel	geel	geel	geel
Parallele dijken	Dubbele dijk/triple dijk	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood
Hybride keringen	Dijk-in-duin	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood
	Dijk-in-boulevard	rood	geel	rood	rood	geel	rood	rood	rood	geel	geel
Eco-Engineering	Biobouwers	rood	rood	rood	rood	geel	geel	geel	geel	geel	geel
	Oeverdijk	rood	rood	rood	rood	geel	geel	rood	geel	geel	geel
	Rijke dijk	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel	rood	rood	rood
	Dijk met kwelderwal	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	geel	rood	rood
Dynamisch stabiel	Zand suppleties	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood
	Zand motor	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood
	Nieuwe duinen	rood	rood	rood	rood	geel	geel	rood	rood	rood	rood
Kunstwerken	Integratie met bebouwing	geel	geel	geel	geel	geel	geel	rood	rood	geel	geel
	Functie scheidende schermen	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel
	Demontabele kering	rood	rood	geel	geel	geel	rood	rood	rood	geel	geel
	Standaard met inn. elementen	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel

Op basis van de scores kan een zogenaamde 'shortlist' opgesteld van mogelijke innovatieve dijkconcepten per locatie (zie kaart), die input vormt voor een proces waarbij samen met stakeholders voor een aantal concrete locaties wordt verkend wat de eventuele meerwaarde van deze concepten op de betreffende locaties is.

In algemene zin blijkt uit de tabellen (zie kaart en bijlage 4) dat vooral de 'rijke dijk' en een 'standaard dijk met innovatieve elementen' op diverse plaatsen mogelijk en qua lokale omstandigheden interessant lijken. Vooral in bebouwd gebied zijn de concepten 'dijk geïntegreerd met bebouwing' en 'functie scheidende schermen' aangemerkt als mogelijk en interessant. Concepten als 'deltadijk', 'superdijk/terpendijk' en 'klimaat-/multidijk' zijn vooral interessant in bebouwd gebied waar zich geen historische bebouwing tegen of op de dijk bevindt, en waar enige ruimte is voor over-gedimensioneerde dijken. Concepten als 'overslagbestendige dijk' en 'overstroombare dijk' zijn vooral als mogelijk en interessant aangemerkt in landelijk gebied zonder veel bebouwing, met landbouwgronden, polders of water (bv. het Amstelmeer) achter de dijk. Concepten als 'biobouwers', 'oeverdijk' en 'dijk met kwelderwal of kweldernok' lijken vooral interessant op locaties waar al kwelders voor de dijk liggen, en waar natuurgebieden zijn. Concepten als 'dubbele/triple dijken' zijn interessant op locaties waar zich nog oude slaper en/of dromer dijken bevinden.

In de tabellen (in bijlage 4 en de kaart) staat voor elke locatie aangegeven welke concepten mogelijk en interessant zijn. Het blijkt dat voor elke locatie in elk geval één of een paar innovatieve concepten mogelijk zijn.

6 **Bouwstenen voor een afwegingskader**

6.1 **Afweging van belangen**

Hoewel de primaire functie van dijken de waterveiligheid is, hebben veel waterkeringen van oudsher ook andere functies zoals wonen, werken, verkeer en recreatie (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1998). Vele dijktrajecten vormen ook een habitat voor flora en fauna en vertegenwoordigen op vele plaatsen een landschappelijk en/of cultuurhistorische waarde. Vooral zeedijken zijn opvallende landschapselementen, die in sterke mate de beleving van de omgeving bepalen.

Bij een dijk aanpassing moet daarom voor iedere locatie worden gezocht naar de meest geschikte oplossing afgestemd op de hydraulische omstandigheden, maar ook op de lokale fysische en sociaal-economische omstandigheden én op wensen en plannen voor het gebied. Ook de kosten voor aanpassingen verschillen van plaats tot plaats, omdat ze afhankelijk zijn van de specifieke omstandigheden. Aanpassingen vinden dus altijd plaats in een context van locatie specifieke omgevingsfactoren. In feite zijn er vele factoren die het aanpassen beïnvloeden en daarom moeten ook steeds verschillende belangen tegen elkaar worden afgewogen om tot een goede keuze van maatregelen te komen. Lokale stakeholders vormen een belangrijke bron van kennis en informatie over lokale omstandigheden, opgaven en wensen. Daarnaast is het betrekken van stakeholders belangrijk voor het verkrijgen van draagvlak voor te nemen maatregelen.

Omdat er meestal meerdere maatregelen mogelijk zijn en de beschikbare financiële middelen veelal beperkt zijn, moeten er keuzes worden gemaakt. Het is daarom belangrijk dat alle voor- en nadelen van de maatregelen voor de waterveiligheidsfuncties (de hoofdfunctie) en de andere functies worden meegenomen in een geïntegreerde afweging. Ook moet de beoogde maatregel passen binnen de strategie en doelstellingen voor het hele gebied. Het is echter lastig om alle voor- en nadelen voor alle functies gelijkwaardig in een beslissing mee te nemen. Bovendien zijn effecten verspreid in tijd en ruimte.

6.2 **Instrumenten voor afweging**

Om voor een specifieke locatie een goede keuze te maken voor een dijkconcept, en de eventuele meerwaarde van een innovatief dijkconcept te bepalen, moeten de verschillende belangen tegen elkaar worden afgewogen. Daarbij zijn zowel de keuze van de wegingscriteria (de aspecten), de waardering van de criteria, en het gewicht dat aan elk criterium wordt toegekend belangrijk. Dit is locatiespecifiek, en meestal spelen zowel experts als lokale stakeholders een belangrijke rol in het bepalen van de relevante beoordelingsaspecten in het afwegingsproces. Voor elke locatie moet worden vastgesteld welke aspecten belangrijk zijn. Iedere situatie vraagt om maatwerk (figuur 6.1).

Mogelijke beoordelingsaspecten in de afweging:

- Waterveiligheid
 - Normen
 - Robuustheid
 - Flexibiliteit
- Beheer en onderhoud
- Passend bij fysische gebiedskenmerken
- Sociaal-economische impact
- Ecologie
- Gebruiksfuncties (o.a. welke functies, multifunctionaliteit)

- Beleving gebruikers
- Ruimtelijke kwaliteit
- Cultuurhistorie
- Kosten
- Aansluiting met andere plannen en beleidsvoornemens
- Juridisch kader
-

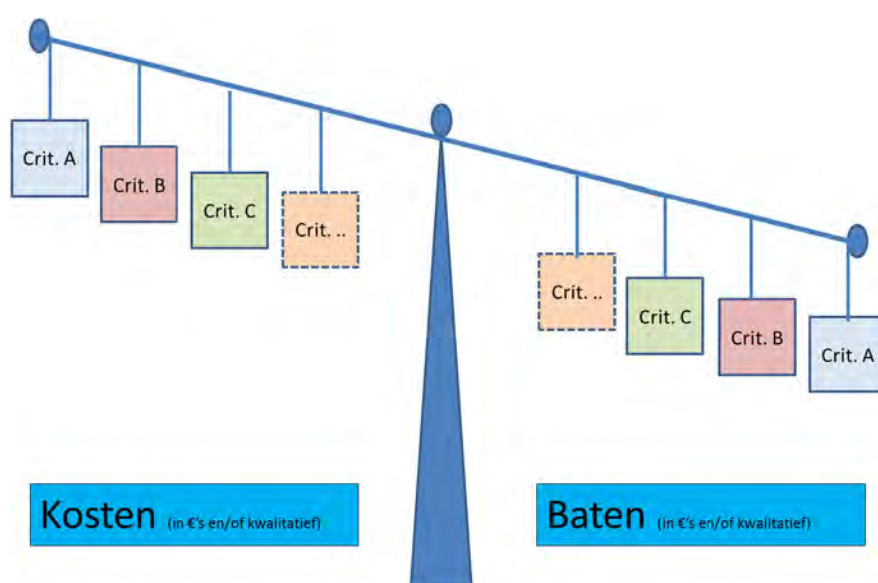
Factoren om een afweging op te baseren zijn bijvoorbeeld kosten-baten, kosteneffectiviteit, beheer en onderhoud, multifunctionaliteit, robuustheid/duurzaamheid, risico-reductie, efficiëntie, implementeerbaarheid, gelijkwaardigheid, urgentie en trade-off effecten. Instrumenten om tot een afweging te komen zijn de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en/of multicriteria-analyse (MCA).

Kosten-baten analyse

In een MKBA worden alle huidige en toekomstige voor- en nadelen tegen elkaar afgewogen in monetaire termen. Dit instrument leent zich goed om een kosteneffectief beleid te onderbouwen. Ingeval van toepassing van multifunctionele waterkeringen, moet bij de afweging ook rekening worden gehouden met de verantwoordelijkheden, het beheer en onderhoud en de kostenverdeling tussen de waterkeringsbeheerder andere partijen als gevolg van de combinatie van waterkerende functie met andere functies.

Multi-criteria-analyse

Sommige effecten van maatregelen, zoals bijvoorbeeld op de ecologische of op de ruimtelijke kwaliteit, zijn moeilijk in monetaire termen te kwantificeren. Een Multicriteria analyse (MCA) biedt een kader waarbinnen ongelijksoortige informatie op een evenwaardige manier kan worden meegenomen. Het is een verzamelnaam voor een aantal methoden waarbij verschillende projectalternatieven wordt beoordeeld op basis van meerdere criteria. Per alternatief worden de scores per criterium, waarbij aan elk criterium ook een gewicht wordt toegekend, gesommeerd tot een algemene score. Een MCA richt zich ook op het inzichtelijk maken van de afwegingsprocessen en de belangen van verschillende stakeholders. Via een MCA kan zowel kwantitatieve (en dus ook monetaire) als meer kwalitatieve informatie worden meegenomen in een beoordeling. Toekennen van gewichten is vaak gebaseerd op het oordeel van belanghebbenden en daarom wordt een MCA soms als subjectief gezien.



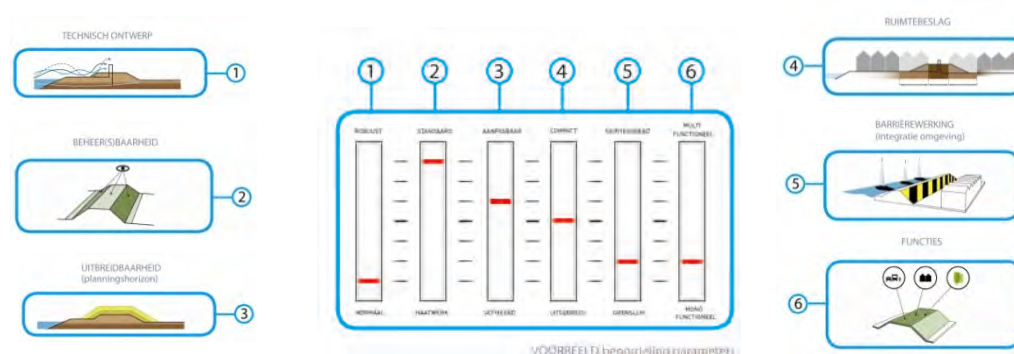
Figuur 6.1

Om een afweging te maken zijn belangrijk i) de wegingscriteria (aspect A, B, C, etc.), ii) de waardering van de criteria, en iii) het gewicht dat aan elk criterium (plaats op de weegschaal) wordt toegekend.

Dyqualizer

De dyqualizer is een communicatietool bedoeld om waterschappen, gemeenten en landschapsinrichters gestructureerd te laten praten over de dijk en het landschap. Toepassing van de dyqualizer leert dat de mogelijkheden om functies en belangen te combineren vaak groter zijn dan in eerste instantie gedacht. Een veilige en klimaatbestendige dijk kan een aanvulling zijn op ruimtelijk plannen in het gebied.

De dyqualizer werkt voor de dijk en haar directe omgeving zoals een equalizer voor muziek (figuur 6.2). De verschillende schuiven kunnen door iedereen naar eigen inzicht en smaak worden ingesteld. Voor het toelichten van het bereik van de 'schuiven' zijn meestal experts nodig. De dyqualizer helpt om kansrijke oplossingen te identificeren, die vervolgens nader moeten worden onderbouwd (via bijvoorbeeld onderzoek of modelberekeningen). Doel is om voor elke locatie een optimale oplossing te zoeken voor zowel de waterveiligheidsopgave als eventuele andere opgaven.



Figuur 6.2
De Dyqualizer.

Serious Gaming

Een andere communicatietool waar recent veel aandacht voor is, is serious gaming. Via interactieve tools kunnen stakeholders de effecten van maatregelen zien. Dit instrument is momenteel in ontwikkeling en als ondersteuning bedoeld om een afweging te maken tussen maatregelen.

6.3 Organisatie en proces

Bij een dijkversterking of -aanpassing zijn vele actoren betrokken. In eerste instantie zijn dit het Rijk, de provincies en de waterschappen. Het Rijk is voornamelijk verantwoordelijk voor de (waterveiligheid) normstelling van de waterkeringen en het definiëren van toetsingscriteria. Ook worden de meeste dijkversterkingen deels door het Rijk gefinancierd. De provincies hebben met name een coördinerende rol en zorgen ervoor dat plannen integraal worden opgesteld en rekening houden met andere belangen. Ook is de provincie voor de boezemkeringen toezichthouder van de waterschappen en rapporteert zij terug naar het rijk. De waterschappen zijn verantwoordelijk voor de toetsing, het ontwerp en het beheer van waterkeringen en het ontwikkelen en realiseren van de uit de wettelijke toetsing voortkomende versterkingsplannen. Recent is in het kader van het Bestuursakkoord Water afgesproken dat de waterschappen een groter deel van de aanpassingen moeten financieren.

Vanwege de (mogelijke) ruimtelijke beslaglegging van dijkversterkingen spelen ook de gemeenten, die verantwoordelijk zijn voor aanpassingen van bestemmingsplannen, een rol. Juist bij multifunctionele en bredere dijken neemt deze rol toe.

Naast de genoemde overheden zijn er uiteraard nog meer betrokkenen zoals grondeigenaren (bv. particulieren, bedrijven, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, de provinciale landschappen,

projectontwikkelaars etc.), bewoners, belangenverenigingen (bv. natuurverenigingen of historische verenigingen) en dergelijke. Deze worden betrokken gedurende het opstellen van de dijkversterkingsplannen en/of hebben inspraak op bepaalde momenten.

Tijdens een project voor dijk aanpassing moeten meestal meerdere procedures doorlopen worden, bijvoorbeeld voor de financiering, de vergunningverlening of de m.e.r.-procedure (milieueffectrapportage). Deze procedures kunnen elkaar deels overlappen. Iedere procedure vereist bepaalde informatie of bepaalde handelingen.

Een uitvoeringsproject doorloopt meestal de volgende fasen:

- probleemverkenning
- visievorming
- ontwerp
- realisatie
- beheer en onderhoud

Begonnen wordt met het vaststellen van de randvoorwaarden in de probleemverkenning. Daarbij hoort dat wordt nagegaan welke ontwikkelingen en problemen er in de omgeving spelen, en wordt een aanzet gegeven om belangrijke afwegingscriteria in beeld te brengen. Hierbij worden meestal naast experts ook stakeholders betrokken.

Vervolgens wordt een locatiespecifiek beoordelingskader ontwikkeld met daarin de wegingscriteria en de gewichten die aan de criteria worden toegekend. Hieraan kunnen de verschillende ontwerpen worden afgewogen.

6.4 Andere ontwikkelingen en uitgangspunten

Belangrijk is om rekening te houden met zowel autonome ontwikkelingen als beleidsontwikkelingen en andere ontwikkelingen. In het Waddengebied zijn bodemdaling en bevolkingskrimp belangrijke ontwikkelingen. Een integrale, gebiedsgerichte afweging heeft de voorkeur. In het (voor-)overleg dienen de mogelijkheden met betrokken partijen tijdig na te worden gegaan. De gebiedsgerichte aanpak wordt in het Nationaal Waterplan (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009) genoemd als de standaard voor het uitwerken van maatregelen (voor waterveiligheid en zoetwatervoorziening). Dit betekent niet alleen vanuit het watersysteem bepalen wat nodig is, maar vooral met alle betrokken partijen een ontwikkelingsgerichte aanpak hanteren en kansen benutten. De ruimte die open moet worden gehouden voor toekomstige uitbreidingen (in de vorm van een beschermingszone), kan mogelijk multifunctioneel worden ingezet, bijvoorbeeld als tijdelijke natuur met recreatieve mogelijkheden of voor landbouw met biomassa productie (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009).

Een dijk aanpassing is vaak een goed moment om ook andere gewenste verbeteringen in nevenfuncties door te voeren. Uitdaging is om met het oog op de 'gebruikskwaliteit' een plan te maken waarin de beschikbare ruimte op een veilige en doelmatige wijze gebruikt kan worden voor verschillende functies en deze functies elkaar niet hinderen en elkaar zo mogelijk versterken. Bij de afweging hoort ook met belevingskwaliteit en toekomstwaarde rekening te worden gehouden. De toekomstkwaliteit is hoog als het ontwerp duurzaam gebruik mogelijk maakt en gemakkelijk is aan te passen aan nieuwe omstandigheden (Rijkswaterstaat, 2007b). Streefbeeld voor de diverse functies kunnen inzicht geven in de gewenste ontwikkelingen.

Soms wordt een dijk aanpassing meegenomen in een proces voor 'gebiedsontwikkeling'. Gebiedsontwikkeling is een term in de ruimtelijke ordening en staat voor de integrale ontwikkeling van een afgebakend gebied. Bij gebiedsontwikkeling staan de door de betrokken groep stakeholders geïdentificeerde gebiedsgerelateerde maatschappelijke opgaven centraal (in plaats van de visie en het beleid van de overheid) en wordt een gebied opnieuw ingevuld waarbij verschillende functies zoals (boven- en ondergrondse) infrastructuur, wonen, werken en recreatie in hun onderlinge samenhang worden gerealiseerd. Gebiedsontwikkeling is een publiek-private

samenwerking maar in de meeste gevallen neemt de overheid het initiatief en kiest zij de partners c.q. marktpartijen met wie zij samenwerkt.

Binnen het Deltaprogramma Waddengebied wordt in een ander project via gesprekken met de diverse stakeholders in beeld gebracht wat de relevante ontwikkelingen en opgaven in het de Waddenregio zijn. Hierover verschijnt in het voorjaar 2012 een rapportage binnen het Deltaprogramma Waddengebied.

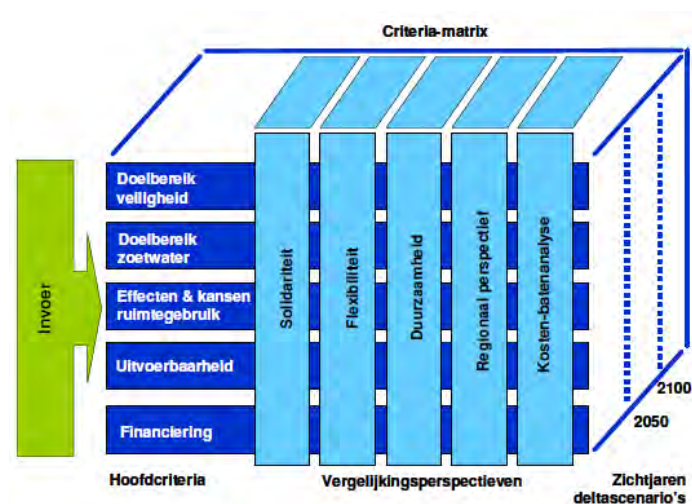
Verder zijn (inter)nationale afspraken rond natuurbescherming belangrijk. Binnen het Deltaprogramma Waddengebied is een overzicht gemaakt van relevante wet- en regelgeving.

6.5 Vergelijkingssystematiek Deltaprogramma

Binnen het Deltaprogramma wordt gewerkt aan een vergelijkingssystematiek om de verschillende strategieën met elkaar te kunnen vergelijken. Deze vergelijkingssystematiek bestaat uit een groslijst van samenhangende criteria en indicatoren op basis waarvan de strategieën die in de verschillende Delta Deelprogramma's worden ontwikkeld onderling beoordeeld en afgewogen kunnen worden.

Er zijn vijf hoofdcriteria benoemd: doelbereik waterveiligheid, doelbereik zoetwater, effecten en kansen, uitvoerbaarheid en financiering (figuur 6.3). Deze hoofdcriteria zijn uitgewerkt in 31 criteria: de criteriamatrix (Marchand et al., in prep.).

Dwars op de hoofdcriteria staan 'vergelijkingsperspectieven' (figuur 6.3). De vergelijkingsperspectieven zijn de gezichtspunten of invalshoeken van waaruit de strategieën op basis van een selectieve, samenhangende set van criteria worden vergeleken. De vijf vergelijkingsperspectieven zijn: kosten-batenanalyse, regionaal perspectief, duurzaamheid, solidariteit en flexibiliteit.



Figuur 6.3

Vergelijkingssystematiek binnen het Deltaprogramma voor de verschillend veiligheidsstrategieën (Marchand et al., in prep.).

6.6 Eerdere verkenningen innovatie waterkeringen

Er zijn de afgelopen jaren al een aantal - veelal locatie specifiek - verkenningen uitgevoerd naar de mogelijkheden voor innovatieve waterkeringen in het Waddengebied. Zo is bijvoorbeeld door de Waddenvereniging in samenwerking met Waterschap Noorderzijlvest en de provincie Groningen 'de

Schetsschuit Groninger Waddendijken' georganiseerd (Waddenvereniging, 2010). Dit was de derde schetsschuit in een serie van zes over het thema klimaatverandering en hoe om te gaan met de gevolgen hiervan in het Waddengebied. De schetsschuit is een werkwijze ontwikkeld door Dienst Landelijk Gebied (DLG), waarbij partijen in ateliervorm bij elkaar komen en in teams kennis en belangrijke informatie uitwisselen (figuur 6.4). Gezamenlijk wordt zo in korte tijd de ruimtelijke inrichtingsmogelijkheden in beeld gebracht en besproken, op basis waarvan bestuurders en betrokkenen in het gebied heldere keuzes kunnen maken. Er is ook een schetsschuit georganiseerd om een plan te ontwikkelen voor de Fûgelpolle Ameland (Cleveringa, 2010).



Figuur 6.4

Schetsschuit Groninger Waddendijken (Waddenvereniging, 2010).

Ook in het kader van het nationaal onderzoeksprogramma *Klimaat voor Ruimte* is een verkenning uitgevoerd naar een 'Klimaatbestendig Groningen' (Roggema, 2009). Daarbij was ook aandacht voor innovatieve dijken en manieren van landinrichting om te anticiperen op de verwachte effecten van klimaatverandering in Groningen.

In het Europese project ComCoast (COMbining functions in COASTal Defences Zones) zijn met het oog op versnelde zeespiegelstijging door klimaatverandering via een aantal pilots innovatieve veiligheidsmaatregelen verkend (www.comcoast.org). Het project werd in 2007 afgerond. Nederlandse pilots waren Polder Breebaart, Ellewoutsdijk, Perkpolder en de Pettemer en Hondsbossche Zeewering. Naast Nederland participeerden Denemarken, Duitsland, België en de UK in ComCoast.

Voorbeelden van ComCoast-oplossingen waren:

1. golfoverslagbestendige dijken;
2. verbetering van de golfreducerende werking van de vooroever, en
3. aanleg van kwelderachtige omstandigheden met getijbeweging in de primaire zeewering door gebruik van in- en uitlaatwerken of door binnendijks verleggen van de zeewering.

Er bleek buitengewoon veel aandacht nodig voor communicatie, stakeholderoverleg, draagvlak en governance.

6.7 Verbinding innovatie en dijkversterkingsproces

Momenteel zijn er een aantal pilotprojecten gaande (onder meer bij Waterschap Rivierenland en Waterschap Hollands Delta) waar wordt geprobeerd om innovaties sneller te laten landen via een nieuwe procesaanpak. Er wordt daarbij onder meer gezocht naar acceptatieprotocollen voor nieuwe technieken.

7 **Resumé en aanbevelingen**

In deze verkenning is gekeken naar de volgende onderzoeksvragen:

- Welke innovatieve dijkconcepten zijn er?
- Welke innovatieve dijkconcepten zijn er mogelijk in het Waddengebied?
- Waar zouden innovatieve dijkconcepten eventueel in het Waddengebied toepasbaar zijn?
- Wat zijn de bouwstenen voor de ontwikkeling van een afwegingsmethodiek voor de bepaling van de meerwaarde van innovatieve dijkconcepten?

Welke innovatieve dijkconcepten zijn er?

Er worden momenteel veel nieuwe dijkconcepten ontwikkeld onder meer door de aandacht voor de effecten van klimaatverandering en het toegenomen restrisico (vanwege meer mensen en kapitaal achter de dijken). Soms zijn er verschillende benamingen in omloop voor hetzelfde concept. Op basis van eerdere verkenningen is de volgende (niet uitputtende) 'longlist' van innovatieve dijkconcepten opgesteld:

Innovatieve dijken

Enkelvoudige dijk als onderdeel van dijkkring (serie systeem)

- Basisconcepten:
 - Overslagbestendige dijk
 - Overstroombare dijk (ook toepasbaar in parallel systeem)
- Robuuste concepten:
 - Onoverstroombare dijk
 - Deltadijk
 - Klimaatdijk/Multidijk
 - Superdijk/Terpendijk

Meerdere dijken achter elkaar (parallel systeem)

- Dubbele dijk/Tripplendijk (Waker-Slaper-Dromer)

Hybride keringen:

- Dijk-in-duin
- Dijk-in-boulevard

Eco-Engineering:

- Biobouwers
- Oeverdijk
- Drijvend moeras
- Rijke dijk
- Dijk met kwelderwal

Dynamisch stabiele oplossingen:

- Zandsuppleties
- Zandmotor
- Nieuwe duinen
- Zachte zeewering met sediment en vegetatie

Kunstwerken en bijzondere constructies:

- Kunstwerk geïntegreerd met bebouwing
- Functie scheidende schermen
- Demontabele kering
- Standaard dijk met innovatieve elementen

Welke innovatieve dijkconcepten zijn er mogelijk in het Waddengebied?

Naar aanleiding van de 'longlist' is in nauwe samenwerking met vertegenwoordigers van de waterschappen nagegaan welke innovatieve dijkconcepten op de verschillende dijkstrekkings in het Waddengebied mogelijk zijn. Dit vormt een eerste indicatieve 'shortlist' van concepten die voor de betreffende locatie mogelijk en qua lokale omstandigheden interessant zijn.

Uit deze eerste verkenning (zie tabellen) komt naar voren dat vooral de 'rijke dijk' en een 'standaard dijk met innovatieve elementen' op diverse plaatsen mogelijk en qua lokale omstandigheden interessant lijken. Vooral in bebouwd gebied zijn de concepten 'dijk geïntegreerd met bebouwing' en 'functie scheidende schermen' aangemerkt als mogelijk en interessant. Concepten als 'deltadijk', 'superdijk/terpendijk' en 'klimaat-/multidijk' zijn vooral interessant in bebouwd gebied waar zich geen historische bebouwing tegen of op de dijk bevindt, en waar enige ruimte is voor over-gedimensioneerde dijken. Concepten als 'overslagbestendige dijk' en 'overstroombare dijk' zijn vooral als mogelijk en interessant aangemerkt in landelijk gebied zonder veel bebouwing, met landbouwgronden, polders of water (bv. het Amstelmeer). Concepten als 'bio-bouwers', 'oeverdijk' en 'dijk met kwelderwal of kweldernok' zijn vooral aangemerkt op locaties waar al kwelders voor de dijk liggen, en waar natuurgebieden zijn. Concepten als 'dubbele/triple dijken' zijn interessant op locaties waar zich nog oude slaper en/of dromer dijken bevinden.

Waar zouden innovatieve dijkconcepten eventueel in het Waddengebied toepasbaar zijn?

Zoals aangegeven, is voor de verschillende dijkstrekkings in het Waddengebied in nauwe samenwerking met vertegenwoordigers van de waterschappen nagegaan welke innovatieve dijkconcepten mogelijk zijn. Dit is locatie specifiek.

In tabellen staat voor elke dijkstrekking aangegeven welke concepten mogelijk en interessant zijn. Dit vormt een eerste indicatieve 'shortlist' van innovatieve dijken in het Waddengebied. Het blijkt dat voor elke locatie in elk geval één of een paar innovatieve concepten mogelijk zijn.

Wat zijn de bouwstenen voor de ontwikkeling van een afwegingsmethodiek voor de bepaling van de meerwaarde van innovatieve dijkconcepten?

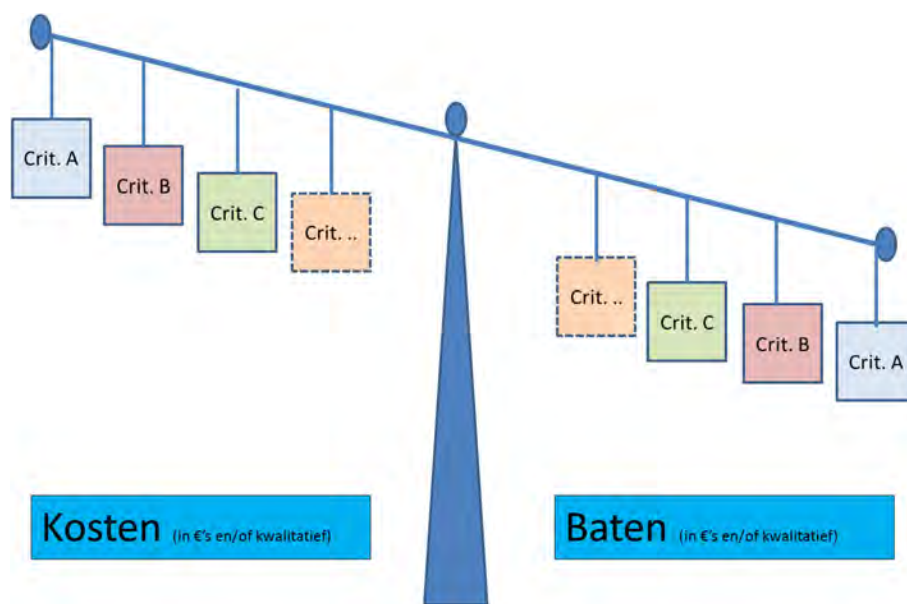
Voor iedere locatie moet worden gezocht naar de meest geschikte dijk aanpassing, c.q. dijkconcept, afgestemd op de waterveiligheidsopgave, de hydraulische omstandigheden, maar ook op de lokale fysische en sociaal-economische omstandigheden én op de plannen en wensen voor het gebied. Om een goede keuze te maken voor een dijkconcept, en de eventuele meerwaarde van een innovatief dijkconcept te bepalen, moeten de verschillende belangen tegen elkaar worden afgewogen. Daarbij zijn zowel de keuze van de wegingscriteria (de aspecten), de waardering van de criteria, en het gewicht dat aan elk criterium wordt toegekend belangrijk (figuur 7.1). Dit is locatie specifiek, en meestal spelen zowel experts als lokale stakeholders een belangrijke rol in het bepalen van de relevante beoordelingsaspecten in het afwegingsproces. Voor elke locatie moet worden vastgesteld welke aspecten belangrijk zijn. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van communicatietools als de *dyqualizer* of *serious gaming*. In elk geval vraagt elke situatie om maatwerk.

Mogelijke beoordelingsaspecten in de afweging:

- Waterveiligheid
 - Normen
 - Robuustheid
 - Flexibiliteit
- Beheer en onderhoud
- Passend bij fysische gebiedskenmerken
- Sociaal-Economische impact
- Ecologie
- Gebruiksfuncties (o.a. welke functies, multifunctionaliteit)
- Beleving gebruikers

- Ruimtelijke kwaliteit
- Cultuurhistorie
- Kosten
- Aansluiting met andere plannen en beleidsvoornemens
- Juridisch kader
-

Factoren om een afweging op te baseren zijn bijvoorbeeld kosten-baten, kosteneffectiviteit, beheer en onderhoud, multifunctionaliteit, robuustheid/duurzaamheid, risico-reductie, efficiëntie, implementeerbaarheid, gelijkwaardigheid, urgentie en trade-off effecten. Instrumenten om tot een afweging te komen zijn de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en/of multicriteria-analyse (MCA).



Figuur 7.1

Om een afweging te maken zijn belangrijk i) de wegingscriteria (aspect A, B, C, etc.), ii) de waardering van de criteria, iii) en het gewicht dat aan elk criterium (plaats op de weegschaal) wordt toegekend.

Aanbevelingen

De belangrijkste aanbeveling is om voor één of meer pilotlocaties een participatief proces te initiëren waarbij wordt geprobeerd om met stakeholders de meerwaarde van innovatieve concepten vast te stellen (in feite het vaststellen van de criteria en de wegingsfactoren voor een multi-criteria analyse), en de afwegingsmethodiek verder te ontwikkelen.

Deze pilot locaties dienen te worden gekozen door Cluster 2 Veiligheidsstrategieën en de Stuurgroep van het Deltaprogramma Waddengebied in samenspraak met de stakeholders en onderzoekers.

Wel komt uit de scoretabellen van de innovatieve concepten naar voren dat, afhankelijk van de situering van de dijk in het gebied een aantal oplossingsrichtingen interessant kunnen zijn voor een nadere uitwerking:

- basisconcepten in landelijk gebied zonder bebouwing;
- robuuste concepten in gebieden waar veel ruimte beschikbaar is;
- parallelle dijken in gebieden waar die nu ook al aanwezig zijn;
- eco-engineeringsconcepten bij dijken met kwelders of natuurgebieden;
- kunstwerken en bijzondere constructies in bebouwde gebieden met veel infrastructuur.

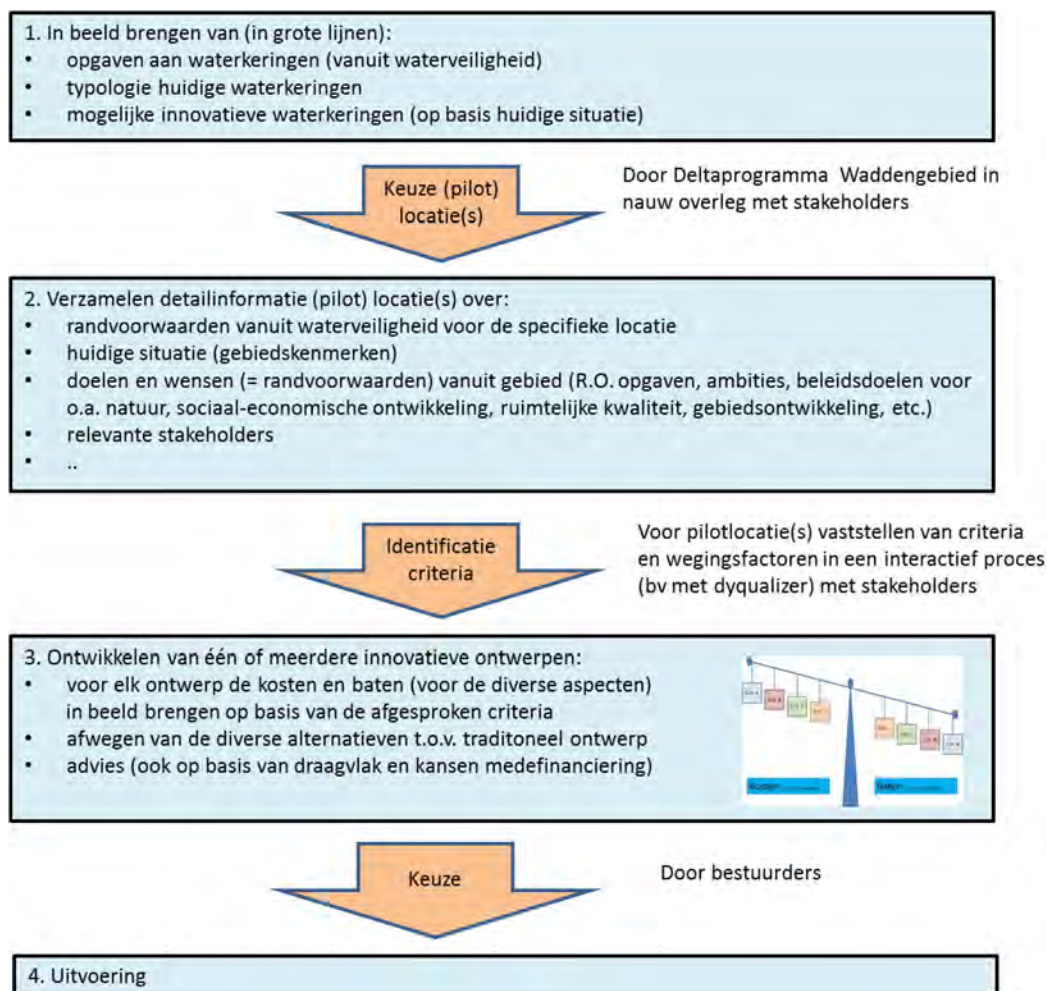
Het is belangrijk om een breed palet aan stakeholders in het proces te betrekken (van beleidsmakers, bewoners, bedrijven tot ook de ontwerpers van de waterkeringen binnen de waterschappen) voor de inbreng van expertise en het verkrijgen van draagvlak.

Vanzelfsprekend is het belangrijk om het participatieve proces met de stakeholders goed te begeleiden en te ondersteunen met kennis en informatie. Erg belangrijk is bijvoorbeeld om te onderzoeken wat de mogelijke impact is van de maatregelen op betreffende locaties en wat het betekent voor de belanghebbenden.

Samenwerking en afstemming met de andere onderzoeksprojecten in het Deltaprogramma Waddengebied (in alle drie clusters) is belangrijk.

Figuur 7.2 toont alle stappen in het proces van dijk aanpassing. Binnen het Deltaprogramma Waddengebied is in deelprogramma 'Innovatieve Dijken' in fase 1 (de onderhavige verkenning) vooral informatie verzameld voor stap 1. In andere deelprojecten is informatie verzameld over de opgaven aan de waterkering en de wensen en opgaven vanuit het gebied. In fase 2 van het deelproject wordt voor één of meerdere locaties overgegaan naar stap 2 en 3.

Stap 4, de uitvoering van een innovatief waterkeringsconcept, maakt geen onderdeel uit van het Deltaprogramma Waddengebied.



Figuur 7.2

Schematische weergave van een dijk aanpassingsproces.

Literatuur

Cleveringa, J. en A. Woudstra, 2010. Projectplan Klimaatbuffer Zuidwest Ameland; veiligheid, natuur en recreatie hand in hand rond de Veugelpolle. Staatsbosbeheer, Waddenvereniging, Wetterskip Fryslan.

Commissie Waterbeheer 21e eeuw, 2000. Waterbeleid voor de 21e eeuw : geef water de ruimte en de aandacht die het verdient. Commissie Waterbeheer 21e eeuw, Den Haag.

Cools, R.H.A., 1948. Strijd om den grond in het lage Nederland : het proces van bedijking, inpoldering en droogmaking sinds de vroegste tijden. Nijgh & Van Ditmar, Rotterdam [etc.].

Deltacommissie, 2008. Samen werken met water: een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst; bevinden van de Deltacommissie 2008. Rotterdam, Deltacommissie.

Deltares, 2008. Overslagbestendige variant in 'Geotechnische risico-evaluatie van vijf basisreferentie varianten voor versterking Afsluitdijk'. Deltares 432660-0007.

Deltares, 2011. DP Kust – Toekomstbestendige verharde zeeweringen Veiligheidshorizon en mogelijke maatregelen. Onderzoekfase 1, ten behoeve van het Deltaprogramma Kust. Deltares publicatie.

DHV, Wageningen IMARES en HOSPER, november 2008. Waddenwerken, een veilige kering die meegroeit met de zee. Eindrapportage marktverkenning Afsluitdijk - Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied

Ecoshape Foundation, 2011. Building with Nature. <http://www.ecoshape.nl/ecoshape-english/home>.

Expertise Netwerk Waterkeren (ENW), 2007. Leidraad Rivieren.

Fiselier, J., N. Jaarsma, T. van der Wijngaart, M. de Vries, M. van der Wal, J. Stapel en M.J. Baptist, 2011. Perspectief natuurlijke keringen; een eerste verkenning ten behoeve van het Deltaprogramma. Building with Nature – Ecoshape.

Gemeente Tiel, 200. Tiel Oost, Droger en mooier.

Hartog, M., J.M. van Loon-Steensma, H. Schelfhout, P.A. Slim en A. Zantinge, 2009. Klimaatdijk : een verkenning. Programmabureau Kennis voor Klimaat [etc.], Utrecht [etc.].

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report, Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.

Knoeff, H. Ellen G.J.E., november 2011. Verkenning Deltadijken (Deltares kenmerk 1205259-000-ZWS-0004).

Lammers, J., 2009. Dijk en meer: eindrapportage verkenning toekomst Afsluitdijk. Rijkswaterstaat.

Loon-Steensma, J.M. van, 2011. Kweldervorming langs de Terschellinger Waddendijk: een verkenning naar kansen, beperkingen en vragen rond kweldervorming langs de Waddendijk e.o. van Terschelling. Wageningen: Alterra, (Alterra-rapport 2172).

Loon-Steensman, J.M. van, 2011b. Robuuste multifunctionele rivierdijken: welke kansen en knelpunten zien stakeholders voor robuuste multifunctionele dijken langs de rivieren in het landelijk gebied? Wageningen: Alterra, (Alterra-rapport 2228).

Loon-Steensma, J.M. van, 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 Wageningen: Alterra, (Alterra-rapport 2267)

Marchand, P., J. Kind, F. Klijn, P. Lamberigts, L. de Bruin, H. van Duin en R. Knoben, in prep. Vergelijkingsystematiek Deltaprogramma; Structuur, inrichting en gebruik. Stuurgroep Deltaprogramma.

Ministerie van Economische zaken, Landbouw & Innovatie, 2011. Gebiedendocumenten Natura 2000-gebieden. www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007. Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen. Directoraat-Generaal Water, Den Haag. ISBN 978-90-369-5762-5.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, 2007. Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen: voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006). Directoraat-Generaal Water, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008. Visiebeeldboek 02 : klimaatdijk, het nieuwe dijkdenken. Ministerie van Verkeer en Waterstaat; WINN, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009. Nationaal Waterplan 2009 - 2015. Ministerie van Verkeer en Waterstaat etc., Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit en ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, 2010. Werk aan de delta: investeren in een veilig en aantrekkelijk Nederland, nu en morgen; Deltaprogramma 2011. Den Haag, Ministerie van Verkeer en Waterstaat [etc.].

Moel, de H., J. Beijersbergen, F. van den Berg, J. de Goei, R.C. de Koch, A.R. Koelewijn, J.M. van Loon-Steensma, I.M. Molenaar, J. Steenbergen-Kajabová, H. Schelfhout, S. Versluis en A.M. Zantinge, 2010. Klimaatdijk in de praktijk; Gebiedsspecifiek onderzoek naar nieuwe klimaatbestendige dijkverbeteringsalternatieven langs de Nederrijn en Lek. Kennis voor Klimaat.

Roggema, R., 2009. Eindrapportage Hotspot Klimaatbestendig Groningen. KvR 018/2009. ISBN 978-90-8815-014-2. Provincie Groningen en Klimaat voor Ruimte.

Rijkswaterstaat, 2007a. Leidraad rivieren. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Expertise Netwerk Waterkeren, Den Haag.

Rijkswaterstaat, 2007b. Technisch rapport ruimtelijke kwaliteit : de ruimtelijke kwaliteit van veiligheidsmaatregelen voor de rivier. Ministerie van Verkeer en Waterstaat etc., Den Haag etc.

Schelfhout, H.A., Duivenbode, J.D. van, Siemerink, T, en Bosch, R., 4 april 2010. Artikel in Land+Water nr. 4 april 2010: Klimaatdijk 100 keer zo veilig en 10 keer zo mooi.

Silva, W. en E. van Velzen, 2008. De dijk van de toekomst? : quick scan doorbraakvrije dijken. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, [S.l.].

Slijk, R., F. Heimeriks en T. Monster, 2009. Toepasbaarheid Superdijk. Afstudeerproject Hogeschool Rotterdam.

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), (concept) 2011. Factsheet Bouwen in en op Waterkeringen.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), januari 1998. Leidraad Grondslagen voor Waterkeringen.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2002. Leidraad zandige kust. Den Haag, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), 2003. Leidraad Kunstwerken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

Urbanisten, Gemeente Rotterdam, Arcadis, Royal Haskoning, Deltares, Krimpenerwaard, Gemeente Schiedam, Waterschap Hollandse Delta, en Hoogheemraadschap Delfland, 2010. Veilige en goed ingepaste waterkeringen in Rotterdam. Kennis voor Klimaat.

Vellinga, P., N. Marinova en J.M. Van Loon-Steensma, 2009. Adaptation to climate change; a framework for analysis with examples from the Netherlands. Built Environment 35, 452-470.

Vries, M. de, T. Bouma, M. van Katwijk, B. Borsje en B. van Wesenbeeck, 2000. Biobouwers van de Kust, Z4158, WL I Delft Hydraulics.

Waddenvereniging, 2010. Schetsschuit Groninger Waddendijken. Waddenvereniging, Harlingen.

Wouters, C.A.H. en T.J. Hoffman, 2006. Overstromingsmodel dijkkring 6. Modelbouw en scenarioberekeningen (nr. PR1134-10), HKV LIJN IN WATER. Opdrachtgevers: Provincie Fryslân en provincie Groningen.

Zwan, I. Van der en E. Tromp, 2010. Overzicht Innovatieve Dijken. Deltares publicatie, Delft.

Websites

www.comcoast.org

www.deltawerken.com

www.dezandmotor.nl

www.ecoshape.nl

www.helpdeskwater.nl/waterkeringen

www.levendewaterbouw.nl

www.rotterdam.nl

www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k

Bijlage 1 Faalmechanismen

Auteurs: Peter Mul (Atman Consult) en Harry Schelfhout (Deltares)

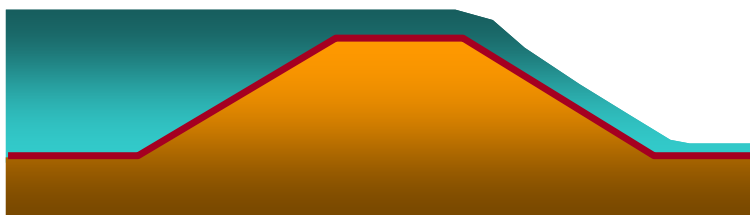
1 Inleiding

Voor dijken en dammen zijn de belangrijkste faalmechanismen overloop, golfoverslag, macro-instabiliteit en piping. Deze faalmechanismen kunnen door omstandigheden ook voorkomen bij de overige waterstaatswerken. In deze bijlage worden de belangrijkste faalmechanismen beschreven. Voor meer informatie over de faalmechanismen van primaire waterkeringen wordt verwezen naar de Katern 5 'Dijken en dammen' van het VTV-2006 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007) en naar de specifieke Leidraden en Technische Rapporten van de voormalige TAW (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen) en het huidige ENW (Expertise Netwerk Waterveiligheid) (www.helpdeskwater.nl/waterkeringen).

2 Faalmechanismen

2.1. Overloop

Bij overloop stijgt de buitenwaterstand boven de kruin uit en overstroomt de achter de waterkering liggende polder (figuur 1).



Figuur 1
Overloop.

Omdat bij dit faalmechanisme snel grote hoeveelheden water de polder instromen en de gevolgen daarvan groot zijn, wordt bij de bepaling van de minimaal vereiste kruinhoogte rekening gehouden met een veiligheidsmarge van 0,50 m boven het ontwerppeil of de maatgevende hoogwaterstand voor onzekerheden in de hoogwaterstand. Een andere reden is de bereikbaarheid van de kruin door de beheerder, zodat bij hoogwatersituaties tijdig maatregelen kunnen worden genomen.



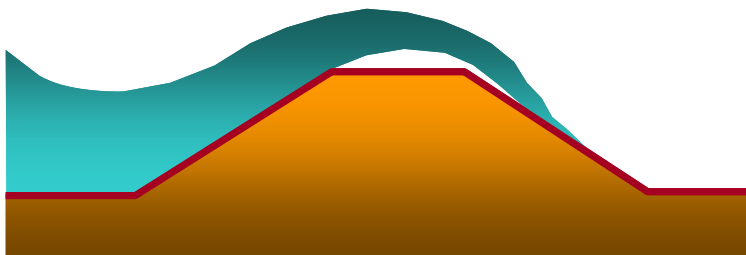
Figuur 2

Over de kruin stromend water.

2.2. Golfoverslag

Overslagdebiet over de kruin bij golfaanval.

De hoeveelheid golfoverslag is afhankelijk van erosiebestendigheid van de bekleding op de kruin en het binnentalud. Voor een grasbekleding wordt 1 l/s per strekkende meter dijk als criterium voor het gemiddeld overslagdebiet aangehouden.



Figuur 3

Golfoverslag.

Bij een overslaghoogte kleiner dan 0,5 m wordt de ondergrens van 0,5 m ten opzichte van het ontwerppeil of het maatgevend hoogwater (MHW) aangehouden vanwege de eis voor overloop.

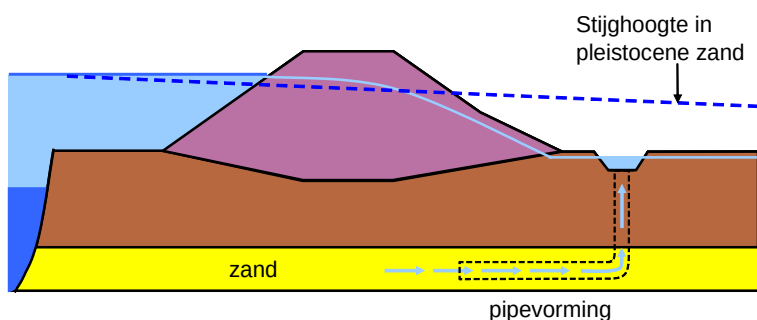


Figuur 4
Overslaande golven.

Voor meer informatie zie Technisch Rapport Golfoploop en golfoverslag bij dijken (TAW, 2002).

2.3. Piping

Als gevolg van een waterstandsverschil binnen- en buitendijks van de dijk is het mogelijk dat er in watervoerende lagen onder de dijk doorgaande kanaaltjes onder de grondconstructie ontstaan, waardoor gronddeeltjes met het kwelwater worden meegevoerd. Dit ondermijnt de dijk, waardoor deze kan bezwijken. Dit faalmechanisme wordt 'piping' of ook wel 'zandmeevoerende wellen' genoemd en is schematisch weergegeven in figuur 5.



Figuur 5
Piping.

Piping wordt in eerste instantie waargenomen doordat binnendijks welvorming achter de dijk plaatsvindt (figuur 6). Vanuit het grondlichaam onder de dijk komt water omhoog. Als dit water zand vanuit de bodem meevoert, wordt dit een zandmeevoerende wel genoemd (figuur 7). Een zogenaamde 'pipe' of zandmeevoerende wel ontstaat als de kanaaltjes onder de dijk het zand van het grondlichaam weghalen en meevoeren via de zandmeevoerende wel. Afhankelijk van de duur van het hoge water langs de dijk, kan de 'pipe' zelfs in verbinding komen te staan met het hoge water buitendijks. Doordat zand van onder de dijk wordt weggevoerd kan de kerende hoogte of de stabiliteit van de dijk worden aangetast. Dit kan zelfs leiden tot volledig bezwijken van de dijk.



Figuur 6

Kwel achter een rivierdijk.



Figuur 7

Zandmeevoerende wel.

Een uitgebreidere beschrijving van het faalmechanisme staat beschreven in paragraaf 3.1 van het 'Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen' (TAW, 1999).

2.4. Heave

Heave is een mechanisme, dat evenals bij piping ontstaat bij een groot waterstandsverschil tussen binnen- en buitendijks. In plaats van bij piping gaat het hierbij om een harde constructie. Gronddeeltjes in de watervoerende lagen onder de dijk worden meegevoerd door het kwelwater. Als gevolg van een te groot verticaal verhang vallen de korrelspanningen weg waardoor een soort drijfzand ontstaat. Dit wordt heave genoemd.

Een uitgebreidere beschrijving van het faalmechanisme staat beschreven in paragraaf 3.5 van het 'Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen' (TAW, 1999).

2.5. Macrostabiliteit

Macrostabiliteit is de weerstand tegen afschuiving van grote delen van een grondlichaam langs rechte of gebogen glijvlakken, dan wel het evenwichtsverlies door grote plastische zones (zie Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, TAW 2001, paragraaf 5.3). Met andere woorden: macrostabiliteit is het vermogen van een grondlichaam om belastingen te kunnen weerstaan, zonder daarbij zijn functie (als gevolg van grote vervormingen) te verliezen. Een aantal voorbeelden van grote vervormingen van grondlichamen zijn weergegeven in figuur 8 en figuur 9.



Figuur 8

Macro-instabiliteit vanwege een lekkende leiding.



Figuur 9

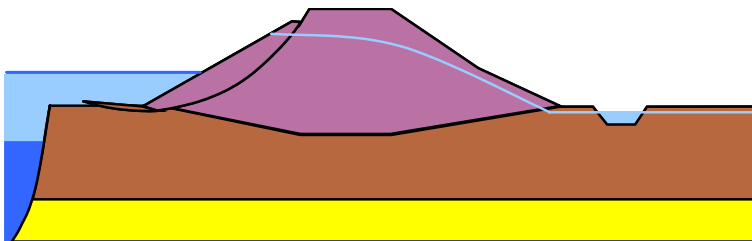
Macro-instabiliteit.

De stabiliteit van een dijk is van twee zaken afhankelijk: 1) de belasting tegen de dijk (b.v. hoge buitenwaterstand) of op de dijk (b.v. verkeersbelasting) en 2) de weerstand van de dijk tegen vervorming. De belasting op een dijk wordt bepaald door externe invloeden, zoals de waterstand en de golven tegen een

dijklichaam of de verkeersbelasting op een weg. De sterkte tegen vervorming van een dijk wordt bepaald door de geometrie en de grondeigenschappen (de samenhang, de doorlatendheid en het gewicht van het dijklichaam en de grondwaterstanden en grondwaterspanningen). De dijk moet zijn functie kunnen vervullen. Als de sterkte van en/of de belasting tegen de dijk verandert, wordt deze functie verstoord. Deze verstoring kan leiden tot een instabiele dijk met mogelijk het falen van functie tot gevolg.

Macro-instabiliteit buitenwaarts

Bij het faalmechanisme macro-instabiliteit buitenwaarts moet het grondlichaam weerstand bieden aan een belastingverlaging als gevolg van een snelle waterstandsval. Als de grondwaterstand langs de dijk hoog is (bijvoorbeeld als gevolg van langdurige regenval) en de buitenwaterstand daalt snel ('vallend water'), oefent het water in de dijk van binnen uit een druk uit op het buitentalud. Als gevolg hiervan kan een ondiepe schil afschuiven (zie figuur 10 aan de waterzijde) of zelfs een afdekkende laag of bekleding in zijn geheel afschuiven.



Figuur 10

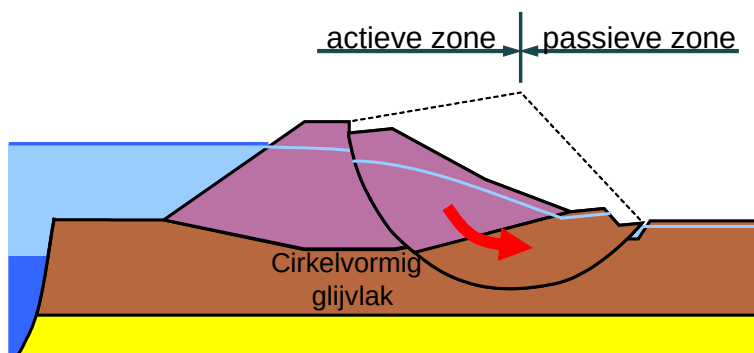
Macro-instabiliteit buitenwaarts.

Dit faalmechanisme komt niet snel voor bij grondlichamen met een zandkern, omdat zand goed draineert en het water in de dijk nagenoeg even snel zal dalen als het buitenwater.

Macro-instabiliteit binnenwaarts

Bij het faalmechanisme macro-instabiliteit binnenwaarts wordt het grondlichaam aan de binnenzijde instabiel. Dit is het gevolg van een belastingverhoging door een hogere waterstand of een belastingverlaging door het weggraven van grond direct binnenwaarts van het grondlichaam.

De kans op het optreden van dit mechanisme wordt berekend met het momentenevenwicht om het middelpunt van het cirkelvormig glijvlak. De verhouding tussen het tegenwerkend moment en het aandrijvend moment is de evenwichts- of stabiliteitsfactor en is een maat voor de stabiliteit van de dijk (figuur 11).



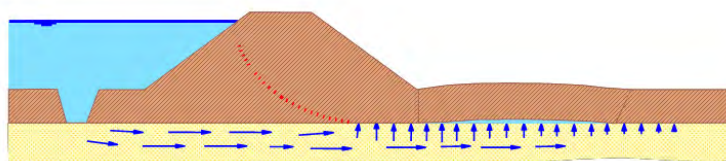
Figuur 11

Macro-instabiliteit binnenwaarts (cirkelvormig glijvlak).

Het gedeelte van het glijvlak aan de buitenzijde (links in figuur 11) van het middelpunt van de glijcirkel wordt de actieve zone genoemd en het gedeelte aan de binnenzijde de passieve zone. Bij een stijgende buitenwaterstand stijgt ook de grondwaterstand in de dijk. Bij toename van de grondwaterstand in de dijk neemt de waterspanning toe en de korrelspanning af. Dit resulteert in een afname van schuifweerstand langs het glijvlak, die wordt gevormd door de wrijving tussen de korrels (korrelspanning) en die afhankelijk is van de spanning loodrecht op het glijvlak. Dit resulteert in een verminderde sterkte van het grondlichaam, waardoor deze instabiel kan worden.

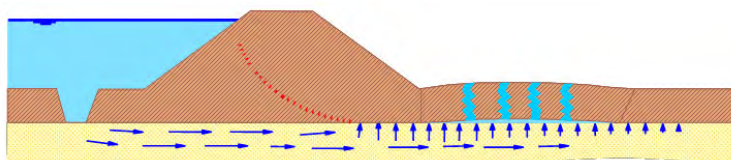
Ook neemt het gewicht van het grondlichaam toe, omdat de lucht in poriën wordt verdrongen door water. Als aan de binnenzijde grond wordt weggehaald, wordt het gewicht in de passieve zone verminderd. Het tegenwerkend moment wordt kleiner en de schuifweerstand neemt af. Als gevolg hiervan kan ook een macro-instabiliteit ontstaan, dat kan leiden tot afschuiving van een gedeelte van de dijk.

Een hoge buitenwaterstand leidt tot een verhoging van de grondwaterstand in het grondlichaam en een verhoging van waterspanningen in de ondergrond, waardoor de weerstand tegen afschuiven afneemt. Een bijzondere situatie kan optreden als een watervoerende zandlaag in de ondergrond wordt afgedekt met een slecht doorlatend klei- en veenpakket. Bij hoge buitenwaterstanden zal de waterspanning in de zandlaag relatief snel oplopen waardoor aan binnendijkse zijde het bovenliggende slecht doorlatende klei- en veenpakket door opwaartse waterdruk omhoog wordt gedrukt. Dit fenomeen wordt opdrijven genoemd en heeft een ongunstig effect op de faalmechanismen macro-instabiliteit binnenwaarts. Ingeval van opbarsten van de afdekkende lagen heeft dat ook een negatief effect op het faalmechanisme piping (figuur 13).



Figuur 12

Invloed opdrijven/opbarsten op macro-instabiliteit binnenwaarts en piping.

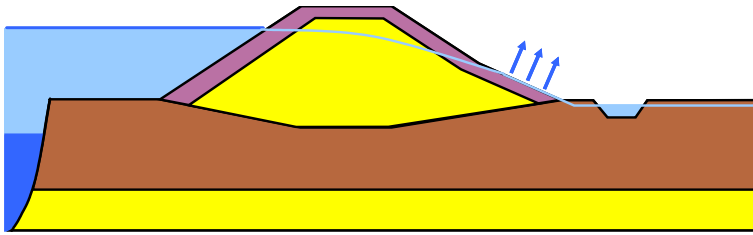


Figuur 13

Opdrijven en opbarsten.

2.6. Microstabiliteit

Microstabiliteit is de weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond (zie figuur 14). Een hoge waterstand langs het talud van de dijk zorgt voor een hogere freatische lijn in een grondlichaam. Deze freatische lijn veroorzaakt een grondwaterstroming naar de delen met een lagere freatische lijn in het grondlichaam door een lagere waterstand langs het talud. Hierdoor kunnen grondlagen aan de zijde van de lagere waterstand die zich nagenoeg bij de teen van het grondlichaam aan het oppervlak bevinden door afname van de korrelspanningen instabiel worden.



Figuur 14
Micro-instabiliteit.

Als gevolg van deze instabiliteit is het mogelijk dat de top laag op het binnentalud wordt afgedrukt of dat het water uit de dijk kan treden (zie figuur 15 en figuur 16). De top laag wordt afgedrukt als de doorlatendheid van de top laag kleiner is dan van de kern (bijvoorbeeld bij een top laag van klei op een zandkern). In het geval van uittredend water kunnen gronddeeltjes worden meegevoerd en dit kan leiden tot instabiliteit van het grondlichaam.



Figuur 15
Micro-instabiliteit.



Figuur 16
Micro-instabiliteit.

Een verdere beschrijving van het mechanisme is te vinden in paragraaf 5.4 van het 'Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies' (TAW, 2001).

2.7. Afschuiving voorland

Afschuiving van het voorland treedt op bij een vooroever die is opgebouwd uit samenhangende grond zoals klei en veen en/of al dan niet verwekingsgevoelig zand. De wrijvings eigenschap van deze grond is slecht. Deze grondlagen fungeren dan als smeermiddel voor een afschuiving van de daarboven gelegen lagen. In dit geval schuift de vooroever af langs een recht glijvlak (figuur 17).

Het is ook mogelijk dat de vooroever afschuift door de versteiling van het talud van de vooroever door erosie.



Figuur 17
Afschuiving vooroever van een rivierdijk langs de Oude Maas.

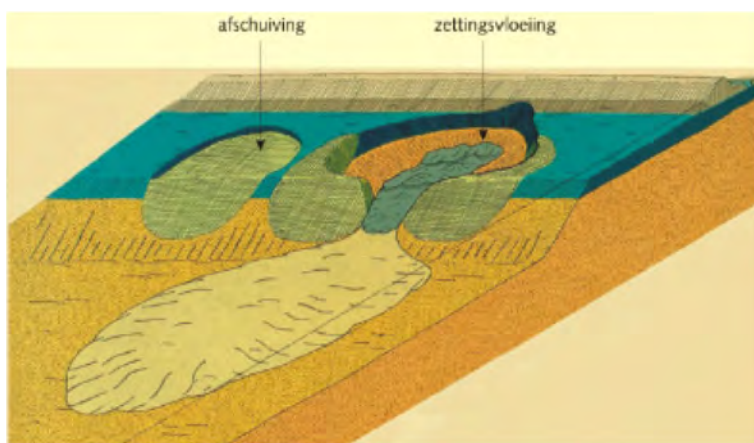
Zie voor een verdere beschrijving van het mechanisme paragraaf 5.7.3 van het 'Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies' (Technische Adviescommissie Waterkeringen, 2001).

2.8. Zettingsvloeiing

Zettingsvloeiing is het faalmechanisme waarbij een met water verzadigde massa zand een grote verplaatsing ondergaat. Het zand in de ondergrond ter plaatse van de dijk 'vloeit' als gevolg van verweking. Het wordt veroorzaakt door een ongunstige combinatie van een losse pakking van het zand in het grondlichaam en taludgeometrie. Een kleine verstoring van het evenwicht kan voldoende zijn om het faalmechanisme in gang te zetten.

Het faalmechanisme werkt als volgt: het losgepakte zand vervormt enigszins door een verstoring en wil zich weer verdichten. Het water in het grondlichaam kan niet direct weg uit het korrelskelet en gaat deze verdichting tegen. Er ontstaan wateroverspanningen met als gevolg een afname van de korrelspanningen. De korrels verliezen onderling het contact en het grondlichaam verliest sterkte. Het water gaat daarbij dienen als smeermiddel, waardoor het zand in het dijklichaam makkelijker gaat schuiven.

In figuur 18 is het verschil inzichtelijk gemaakt tussen zettingsvloeiing en afschuiving van het voorland. In figuur 19 is een luchtfoto van een zettingsvloeiing weergegeven.



Figuur 18

Schematische weergave verschil zettingvloeiing en afschuiving voorland.



Figuur 19
Zettingsvloeiing.

Zie voor een verdere beschrijving van het mechanisme paragraaf 5.7.3 van het 'Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies' (Technische Adviescommissie Waterkeringen, 2001).

Literatuur

- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007. Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen. Directoraat-Generaal Water, Den Haag. ISBN 978-90-369-5762-5.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), 1999. Technisch rapport Zandmeevoerende Wellen.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), 2001. Technisch rapport Waterkerende Grondconstructies.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), 2002. Technisch rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken.

Bijlage 2 Memo waterveiligheidsopgave

Memo Deltares. A.J. Smale, versie december 2011. Deltaprogramma Waddengebied

1. Inleiding

Achtergrond

In 2008 is door de commissie Veerman een advies geschreven over het in kaart brengen van de lange termijn waterveiligheid en zoetwatervoorziening, wat geleid heeft tot het Nationaal Waterplan. Voor het in kaart brengen van de lange termijn waterveiligheid en zoetwatervoorziening en het genereren van mitigerende maatregelen is een tweede Deltaprogramma opgestart onder leiding van de deltacommissaris. Een onderdeel van het Deltaprogramma is het deelprogramma Waddengebied.

Binnen het deelprogramma Waddengebied zijn drie onderzoeksclusters gedefinieerd: (i) veiligheidsopgave, (ii) veiligheidsstrategieën en (iii) monitoring en systeemkennis. Het onderzoekscluster veiligheidsopgave kent vervolgens drie hoofdonderzoeken:

- Inventarisatie en analyse huidige veiligheidsopgave
- Verkenning toekomstige veiligheidsopgave
- Experiment hydraulische randvoorwaarden Waddenzee

Dit memo heeft betrekking op de inventarisatie en analyse van de huidige veiligheidsopgave.

Doelstelling

Het doel van dit memo is het presenteren van een overzicht van de huidige veiligheidsopgave in het Waddengebied. Hierbij is voor dit project de huidige veiligheidsopgave gedefinieerd als het tekort aan kruinhoogte en/of stabiliteit van de bekleding op basis van uitkomsten van de derde toetsronde. Voor de volledigheid wordt bij de weergave van de huidige veiligheidsopgave ook aangegeven waar dijken zijn afgekeurd op basis van geotechnische stabiliteit, de dijken die zijn afgekeurd op basis van voorland/NWO en de duinen die zijn afgekeurd op basis van duinafslag. Verder wordt het resultaat van de derde toetsronde gekwantificeerd in totale lengte afgekeurde dijksecties en kosten gemoeid met het herstel van deze dijken.

Aanpak

Voor de bepaling van de huidige veiligheidsopgave wordt uitgegaan van het verschil tussen de toetsresultaten van de tweede en derde toetsronde. De huidige veiligheidsopgave wordt bepaald door te kijken naar die dijksecties die in de tweede toetsronde niet en in de derde toetsronde wel zijn afgekeurd. Verder wordt voor de volledigheid een overzicht gepresenteerd van alle in de derde toetsronde afgekeurde dijkvakken, inclusief de afkeuringen die al in de tweede toetsronde zijn geïdentificeerd. De veiligheidsopgave voor alleen de tweede toetsronde is onderdeel van HWBP 2 en wordt hier niet verder in detail gekwantificeerd.

Gebruikte informatie

Voor het uitvoeren van deze studies wordt gebruik gemaakt van de toetsresultaten zoals beschikbaar gesteld door de waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Fryslân. Zij gaven (onder embargo) toestemming voor het gebruik van de toetsrapportages en het gebruik van de informatie opgenomen in de applicatie 'Toetsrap'.

Leeswijzer

Dit memo beschrijft de huidige veiligheidsopgave van het Waddengebied. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de resultaten van de derde toetsronde en de veiligheidsopgave uitgedrukt in kilometers te versterken dijk. In hoofdstuk 3 wordt de vertaling gemaakt naar kosten voor deze veiligheidsopgave. Hoofdstuk 4 gaat in op de resterende veiligheidsopgave van de tweede toetsronde, waarna afgesloten wordt met conclusies in hoofdstuk 5.

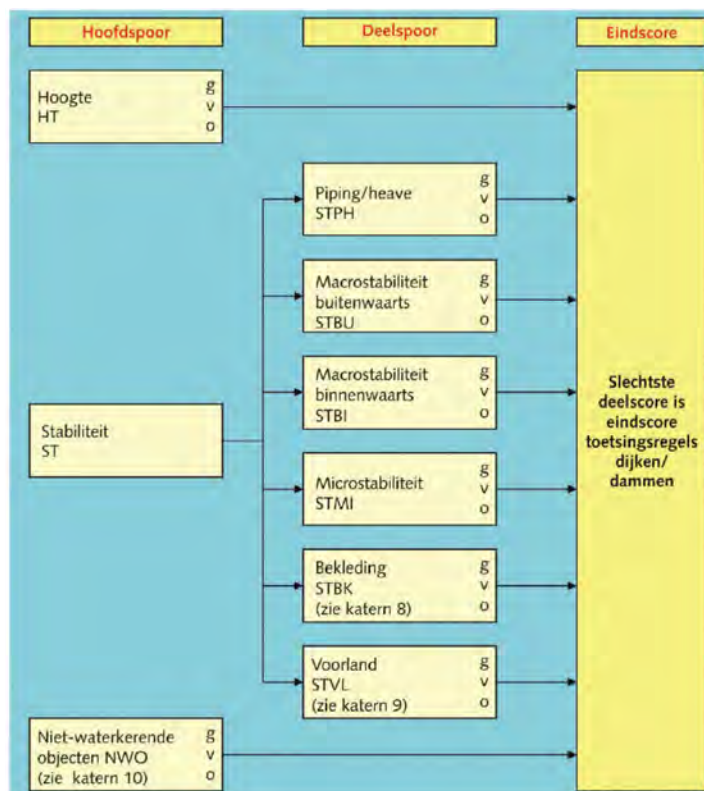
2. Nieuwe afkeuringen in derde toetsronde

Korte beschrijving toetssporen

Het toetsen van de primaire waterkeringen wordt uitgevoerd volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV-2006). Het toetsen van de primaire waterkeringen omvat het toetsen op verschillende faalmechanismen, met elk een eigen toetsspoor. In het VTV-2006 wordt het toetsschema gehanteerd voor dijken en dammen zoals weergegeven in figuur 2-1. In figuur 2-2 worden deze faalmechanismen grafisch weergegeven.

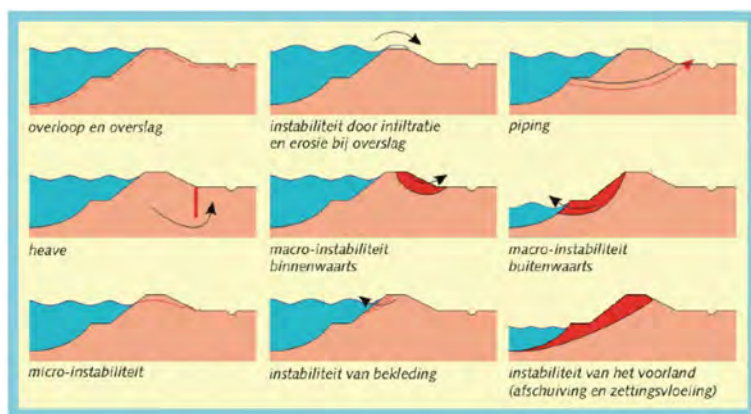
Voor duinwaterkeringen geldt het faalmechanisme duinafslag (niet weergegeven in figuur 2-1). Voor voorland, niet-waterkerende objecten (NWO's) en kunstwerken geldt een combinatie van de faalmechanismen gepresenteerd in figuur 2-2.

In de derde toetsronde is elke dijksectie in het Waddengebied beoordeeld op de bovenstaande faalmechanismen en is zowel het oordeel per deelspoor als het eindoordeel opgenomen in de applicatie 'Toetsrap'. De oordelen per deelspoor vormen de basis voor het vaststellen van de huidige veiligheidsopgave.



Figuur 2-1

Hoofdschema voor toetsing van dijken en dammen, bron: VTV (2006).

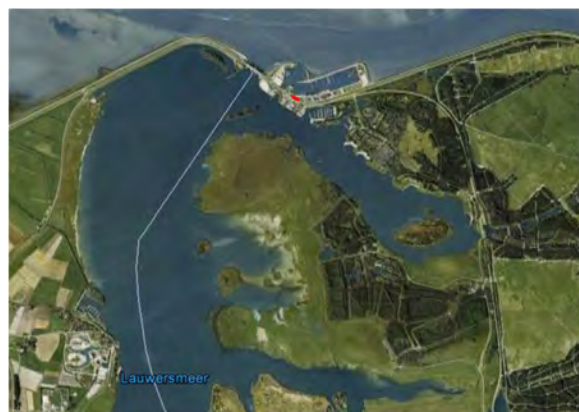


Figuur2-2

Faalmechanismen beschouwd bij het toetsen van dijken en dammen, bron: VTV (2006).

Scores toetsspoor hoogte

Uit de derde toetsronde voor het Waddengebied blijkt dat aanvullend op de tweede toetsronde circa 2,8 kilometer aan dijksecties is afgekeurd door de hoogtetoets, zoals weergegeven met rode lijnen in figuur 2-3. Het gaat daarbij om twee secties nabij Den Oever, één sectie nabij Lauwersmeer, één sectie in Delfzijl en drie secties langs de Dollard. Opgemerkt wordt dat de meeste van deze dijksecties niet alleen op hoogte maar ook op stabiliteit van de bekleding zijn afgekeurd.



Figuur 2-3

Dijksecties afgekeurd op basis van toetsspoor hoogte, a) den Oever, b) Lauwersmeer en c) Dollard.

Scores toetsspoor geotechnische stabiliteit

Voor deze rapportage zijn de toetsresultaten voor de toetssporen 'Piping en heave', 'Macro stabiliteit binnenwaarts', 'Macro stabiliteit buitenwaarts' en 'Microstabiliteit' gebundeld tot 'geotechnische stabiliteit'. De resultaten van de derde toetsronde laten zien dat er aanvullend op de tweede toetsronde in totaal vijf dijksecties zijn waarvoor geldt dat deze zijn afgekeurd op basis van één van de geotechnische toetssporen. Het is een dijkvak op Texel, twee dijkvakken bij Den Oever, een dijkvak bij Delfzijl en twee dijkvakken langs de Dollard. Deze vakken zijn weergegeven met rode lijnen in figuur 2-4. De totale lengte van dijkvakken afgekeurd op een geotechnisch toetsspoor bedraagt 19,4 kilometer. Het grootste deel van deze dijkvakken (18,4 kilometer) is afgekeurd op het toetsspoor microstabiliteit binnentalud.



Figuur 2-4

Dijksecties afgekeurd op basis van toetssporen gerelateerd aan geotechnische stabiliteit A) Texel, b) Den Oever, c) Delfzijl en d) Dollard.

Scores toetsspoor bekleding

Een talud kan verschillende typen bekleding hebben en op basis van één of meerdere bekledingstypen zijn afgekeurd. Bij het toetsen wordt onderscheid gemaakt tussen de bekledingstypen gras, asfalt en steen. Voor de presentatie van de resultaten van de derde toetsronde aanvullend op de tweede toetsronde zijn deze resultaten gebundeld tot één groep. De gecombineerde toetssporen leiden in totaal tot 92,2 kilometer additioneel afgekeurde dijksecties ten opzichte van de tweede toetsronde, waarbij een aantal dijksecties is afgekeurd op twee of meer bekledingstypen. Figuur 2-5 en figuur 2-6 geven de dijksecties die zijn afgekeurd op basis van het toetsspoor bekleding.

De figuren geven met een dikke rode lijn de dijksecties aan die additioneel in de derde toetsronde zijn afgekeurd op tenminste één van de toetssporen gerelateerd aan dijkbekledingen. Met een dunne zwarte lijn in het midden van de rode lijn zijn de dijksecties weergegeven die (mede) zijn afgekeurd op basis van de toets

van de asfaltbekleding, met een dunne groene lijn de dijksecties (mede) afgekeurd op de toets van grasbekleding en met een dunne bruine lijn de dijksecties (mede) afgekeurd op steenbekleding. Zo is bijvoorbeeld in figuur 2-5e te zien dat ten zuiden van Harlingen een dijksectie is afgekeurd op zowel steen- als grasbekleding. Figuur 2-6a laat zien dat er sprake is van afkeuring op basis van asfalt.

In totaal is er aanvullend op de tweede toetsronde 47,6 kilometer grasbekleding afgekeurd, 27,3 kilometer asfaltbekleding en 38,0 kilometer steenbekleding. Van de in totaal 92,2 kilometer additioneel afgekeurde dijksecties is circa 20 kilometer op meer dan één toetsspoor afgekeurd.



Figuur 2-5

Dijksecties afgekeurd op basis van toetssporen gerelateerd aan dijkbekleding a) Den Helder, b) Texel, c) Vlieland, d) Den Oever, e) Harlingen en f) Harlingen-Zwarte Haan.



Figuur 2-6

Dijksecties afgekeurd op basis van toetssporen gerelateerd aan dijkbekleding a) Oostelijke Waddenzee en b) Eems-Dollard.

Scores toetsspoor voorland/NWO

Als onderdeel van de toetsing wordt, indien noodzakelijk, ook gekeken naar het voorland en de niet-waterkerende objecten (NWO's). Uit de derde toetsronde volgen drie aanvullende locaties ten opzichte van de tweede toetsronde waarbij op basis van voorland is afgekeurd en zijn er zeven aaneengesloten dijksecties met additionele afkeuringen ten gevolge van NWO's. De ligging van deze afgekeurde dijksecties is gegeven in figuur 2-7 met gele 'punaises'. In een aantal gevallen liggen afgekeurde dijksecties naast elkaar en worden ze als één dijksectie geteld, terwijl in figuur 2-7 de afzonderlijke dijksecties worden gepresenteerd. Er staan dus meer dan 10 'punaises' in de figuur. Het zijn in het geval van Den Oever voornamelijk afkeuringen op basis van voorland. Voor de overige locaties zijn het voornamelijk afkeuringen op basis van NWO's.



Figuur 2-7

Dijksecties afgekeurd op basis van toetssporen gerelateerd aan voorland en NWO's a) Den Oever, b) Lauwersmeer, c) Uithuizen, d) Delfzijl/Farmsum en e) Termunten.

Scores toetsspoor duinafslag

In het kader van de derde toetsronde zijn ook de duinwaterkeringen getoetst. In het Waddengebied is één sectie duinwaterkeringen van 300 m extra afgekeurd ten opzichte van de tweede toetsronde (figuur 2-8). Het is een duinsectie aan de noordzijde van Texel.



Figuur 2-8

Duinwaterkeringen afgekeurd in de derde toetsronde.

Samenvatting nieuwe veiligheidsopgave in de derde toetsronde

In de voorgaande paragrafen is aangegeven welke dijksecties in de derde toetsronde aanvullend zijn afgekeurd ten opzichte van de tweede toetsronde. Het betreft in totaal 100,1 kilometer aan dijk- en duinsecties, waarbij de afkeuring kan worden onderverdeeld naar toetsspoor, zoals weergegeven in tabel 2-1. Opgemerkt wordt dat de som van deze lengtes meer bedraagt dan de totale lengte aan in de derde toetsronde additioneel afgekeurde dijksecties. Dit komt voort uit het feit dat sommige dijksecties zijn afgekeurd op basis van meer dan één toetsspoor. Uit deze tabel wordt duidelijk dat er twee grote bijdragen zijn aan de veiligheidsopgave: macrostabiliteit binnentalud en dijkbekleding.

Tabel 2-1

Aantal en lengte afgekeurde dijksectie per toetsspoor, derde toetsronde.

Toetsspoor	Aantal secties	Lengte afgekeurd [km]
Hoogte	10	2,8
Piping en heave	4	0,2
Macrostabiliteit binnentalud	26	18,4
Macrostabiliteit buitentalud	2	0,2
Microstabiliteit	5	1,7
Dijkbekleding, gras	67	47,6
Dijkbekleding, asfalt	31	27,2
Dijkbekleding, steen	42	38,0
Voorland	3	0,7
NWO's	7	0,2
Duinafslag	1	0,3

3. Kosten veiligheidsopgave door de derde toetsronde

In hoofdstuk 2 is de ligging en omvang (uitgedrukt in meters dijk) van de veiligheidsopgave door de derde toetsronde gepresenteerd. De veiligheidsopgave is vervolgens omgerekend naar een veiligheidsopgave uitgedrukt in Euro's op basis van de systematiek gebruikt binnen het deelprogramma Veiligheid van het Deltaprogramma. In het kader van het deelprogramma Veiligheid zijn de kosten bepaald voor het uitvoeren van versterkingen voor het realiseren van een tien maal hoger beschermingsniveau (de zogenaamde decimeringshoogte).

Deze gemiddelde kosten zijn inclusief de per kilometer omgerekende kosten van in de trajecten gelegen kunstwerken. Een uitgebreide toelichting over de manier waarop de kosten zijn bepaald is te vinden in het rapport 'Kosten van maatregelen – Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21^e eeuw (De Grave en Baarse, 2011). In figuur 3-1 zijn de gemiddelde kosten weergegeven voor het realiseren van een dijkversterking met één decimeringshoogte.

In het kader van voorliggende studie is een overzicht gemaakt van de kosten per dijksectie die in de derde toetsronde is afgekeurd (en niet in de tweede toetsronde is afgekeurd), volgens de systematiek beschreven in De Grave en Baarse (2011). In combinatie met de in hoofdstuk 2 gepresenteerde lengtes afgekeurde dijkvakken leidt dit tot een totale kostenpost van circa 900 MEuro (exclusief BTW) voor het gehele Waddengebied (bij benadering 9 MEuro/kilometer, exclusief BTW).

Opgemerkt wordt dat de genoemde bedragen indicatief zijn en opgesteld zijn op basis van generieke oplossingen en diverse bronnen.



Figuur 3-1

Gemiddelde kosten van de versterking van waterkeringen (dijken en kunstwerken) met één decimeringshoogte (in miljoen euro per km, prijspeil 2009, exclusief BTW) (basisvariant) (bron: De Grave en Baarse, ,2011).

4. Verschil tweede en derde toetsronde

In de hoofdstukken 2 en 3 is gekeken naar die dijksecties die wel in de derde toetsronde, maar niet in de tweede toetsronde zijn afgekeurd. Figuur 4-1 geeft met een rode lijn die dijkvakken aan die bij aanvang van de derde toetsronde nog niet verbeterd zijn naar aanleiding van afkeuring in de tweede toetsronde. De blauwe lijn geeft de dijksecties die additioneel bij de derde toetsronde zijn afgekeurd. Merk op dat sommige dijksecties zijn afgekeurd en versterkt naar aanleiding van de tweede toetsronde en in de derde toetsronde wederom zijn afgekeurd op een ander deelspoor. Deze dijksecties zijn dan dus blauw gekleurd in figuur 4-1.



Figuur 4-1

Verschil tweede en derde toetsronde (rood: afgekeurd tweede toetsronde, blauw: aanvullend afgekeurd derde toetsronde) a) Noord-Holland en Texel, b) Vlieland, Terschelling en Friese kust, c) Ameland, Schiermonnikoog en Friese Kust en d) Ems-Dollard.

Net als voor de resultaten voor de derde toetsronde kan voor de tweede toetsronde onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende toetssporen, zie tabel 4-2. Merk op dat dijksecties afgekeurd kunnen zijn op meerdere toetssporen. In totaal gaat het in de tweede toetsronde om ongeveer 40,2 kilometer (het zijn de dijksecties afgekeurd in de tweede toetsronde, maar nog niet versterkt na afloop van de derde toetsronde). Opvallend is het feit dat het net als voor de derde toetsronde voornamelijk om het toetsspoor bekleding gaat. Verder valt op dat in de tweede toetsronde slechts een beperkte hoeveelheid dijksecties is afgekeurd op macrostabiliteit binnentalud (dit in tegenstelling tot de derde toetsronde).

Tabel 4-1

Aantal en lengte afgekeurde dijksectie per toetsspoor, tweede toetsronde na afloop van derde toetsronde.

Toetsspoor	Lengte afgekeurd [km]
Hoogte	1,6
Piping en heave	3,2
Macrostabiliteit binnentalud	2,9
Macrostabiliteit buitentalud	0,8
Microstabiliteit	1,2
Dijkbekleding, gras	35,8
Dijkbekleding, asfalt	1,1
Dijkbekleding, steen	34,0
Voorland	0,8
NWO's	0,8
Duinafslag	0

De veiligheidsopgave volgend uit de tweede (dat deel dat gedurende de derde toetsronde niet is verbeterd) en derde toetsronde samen geeft een beeld van de totale veiligheidsopgave die opgelost moet worden na uitvoering van het dijkversterkingsprogramma naar aanleiding van de derde toetsronde (orde van grootte 140 kilometer). Daarbij geldt dat het grootste deel van de nu nog uit te voeren versterkingen (circa 100 kilometer) volgt uit de derde toetsronde.

5. Conclusies

Op basis van de resultaten van de derde toetsronde is vastgesteld dat de op te lossen veiligheidsopgave circa 100,1 kilometer bedraagt. Op basis van de kostensystematiek gehanteerd binnen Deltaprogramma Veiligheid wordt de totale omvang van deze opgave geschat op circa 900 MEuro (exclusief BTW). Additioneel moet ook nog rekening worden gehouden met de nog niet uitgevoerde verbeterwerkzaamheden naar aanleiding van de tweede toetsronde, dat circa 40 kilometer dijkverzwaring omvat. Op basis van dezelfde kostensystematiek (resultierend in een kostenpost van 9 MEuro/km) is hiermee een bedrag gemoeid van rond 360 MEuro (exclusief BTW).

Opgemerkt wordt dat de genoemde bedragen indicatief zijn en opgesteld zijn op basis van generieke oplossingen en diverse bronnen. Gedetailleerde uitwerking van alternatieven leidt mogelijk tot andere kosten gerelateerd aan de veiligheidsopgave.

6. Referenties

Grave, P. de en G. Baarse, 2011. *Kosten van maatregelen – Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw*. Projectnummer 1204144. Deltares, Delft.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007. *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV-2006)*. Directoraat-Generaal Water, Den Haag. ISBN 978-90-369-5762-5.

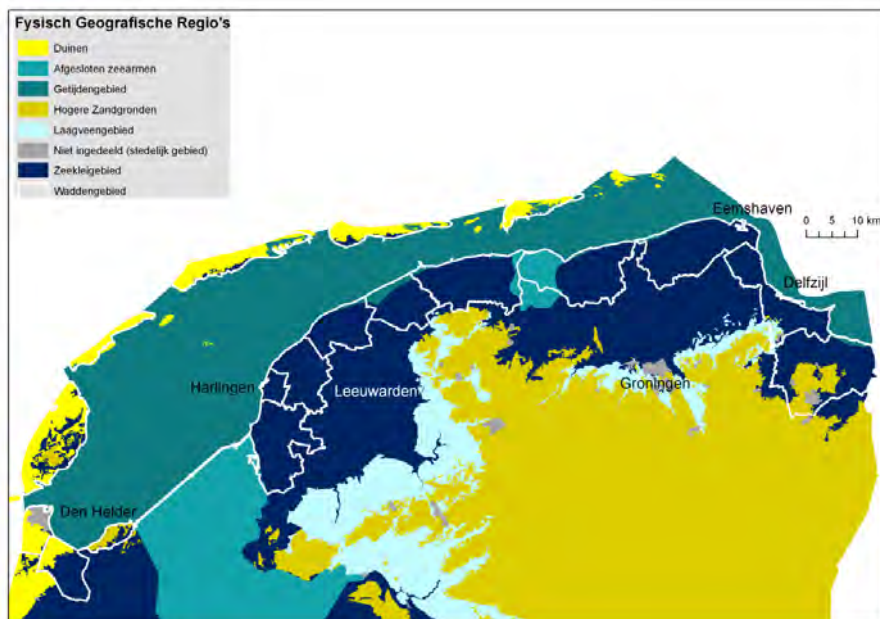
Bijlage 3 Karakteristieken van het Waddengebied

1. Landschap

Dijken vormen een belangrijk kenmerk van het Waddengebied: door bedijkingen en landaanwinningswerken is in de loop der eeuwen het natuurlijke kwelderlandschap veranderd in een vruchtbaar landbouwgebied. De eerste dijken werden in de Middeleeuwen aangelegd en liepen van terp tot terp. Pas later ging men, gedwongen door groei van de bevolking, de verschillende dijkdelen onderling verbinden, zodat een aaneengesloten waterkering ontstond. Later begon men ook met landaanwinning en inpoldering via bedijking. Landaanwinning werd in het Noorden overgelaten aan de eigenaren van aangrenzende landerijen. Maar er werden ook octrooien gegeven aan kloosters en particulieren om nieuwe grond in te dijken. Omstreeks 1300 was de Middelsee voor een groot deel via indijkingen geschikt gemaakt voor landbouwkundig gebruik, evenals de natte gebieden in Humsterland en Middag. In de loop van de 14^e eeuw werd door indijkingen zeewaarts, waarbij eerdere zeedijken veranderden in slaperdijken, steeds meer land gewonnen (Cools, 1948). De terpen, wierden en warf(t)en bleven echter nog lange tijd de veiligste plek om te wonen. De oudste dorpen en steden in het gebied zijn allemaal ontstaan op terpen of wierden, wat vaak nog is te herkennen in de namen met daarin 'wierde' zoals Leeuwarden, Bolsward, Aduard, Holwerd, Ferwerd, etc. Door het aanleggen van een zogenaamde inlaagdijk achter een doorgebroken dijk, kwam eerder gewonnen land soms weer buitendijks te liggen.

2. Fysisch-geografische kenmerken van het Waddengebied

Het Waddengebied strekt zich uit over meerdere fysischgeografische regio's (figuur 2.1).

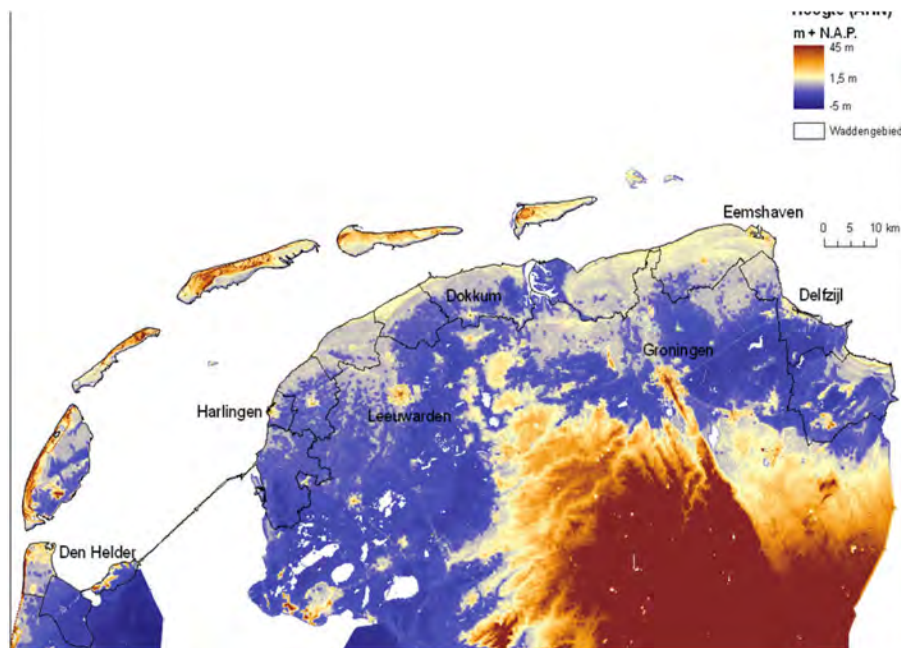


Figuur 2.1

De fysischgeografische regio's in het Waddengebied.

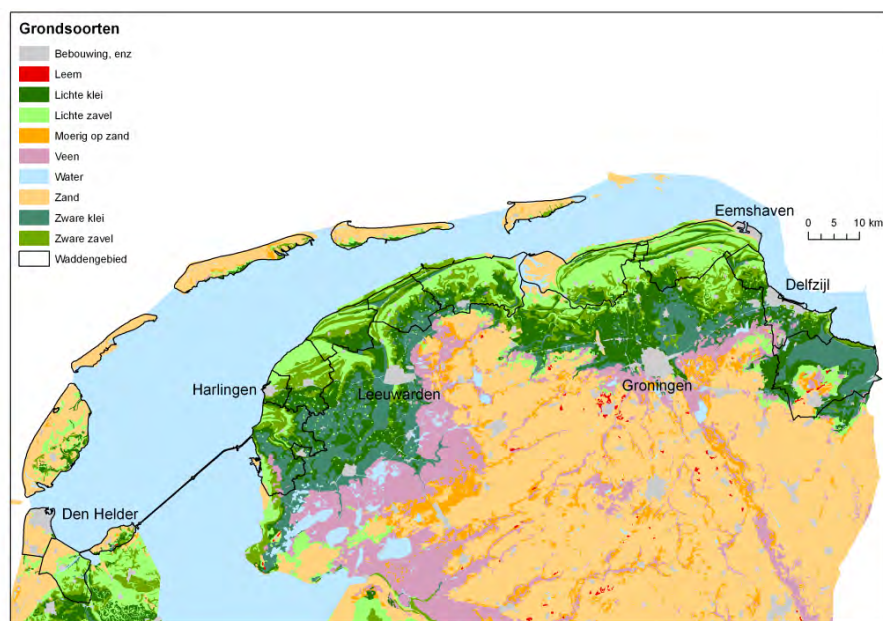
De gemiddelde maaiveldhoogte van de poldergebieden langs de kust neemt globaal toe van west naar oost (figuur 2.2). Waar het zeekleigebied ten zuiden en zuidoosten van Den Helder vaak net onder N.A.P. ligt, vinden we in het Hogeland van Groningen maaiveldhoogten van gemiddeld 1 tot 1,5 m boven N.A.P. Een zelfde beeld zien we in de landbouwpolders op de Waddeneilanden. Waar de maaiveldhoogte in de polders op Texel varieert tussen ca. -0,5 en 0,5 m (soms tot 1 m) boven N.A.P., is de gemiddelde hoogte op Terschelling al ca. 0,5 tot 1 m boven N.A.P. en op Schiermonnikoog 1,5 tot 2 m boven N.A.P.

In de polders op de Waddeneilanden en op het vasteland van Noord-Holland vinden we naar verhouding veel zandgronden, daarnaast zavel- en overwegend lichte kleigronden (figuur 2.3). Langs de Friese en Groninger vastelandskust zijn zavel- en lichte kleigronden dominant in een zone van ca. 5 à 10 km achter de zeedijk. Alleen in het meest oostelijke deel van het Groninger waddengebied, het Oldambt en Reiderland, vinden we zware kleigronden achter de Dollarddijk (figuur 2.3).



Figuur 2.2

Maaiveldhoogte Waddengebied. Bron: Geodatabase Alterra, Algemeen Hoogtebestand Nederland.

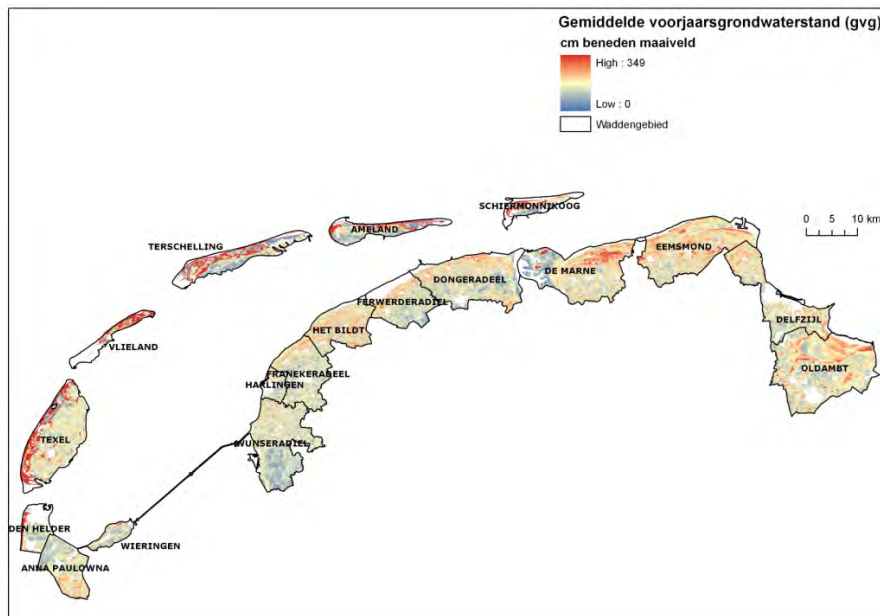


Figuur 2.3

Grondsoortenkaart. Bron: Geodatabase Alterra, Grondsoortenkaart 2006.

Op het vasteland van Noord-Holland vinden we in het Waddengebied overwegend lichte kwel (figuur 2.4). Uitzonderingen vormen de duinen en Wieringen, waar hoger gelegen keileemafzettingen voorkomen. Achter de Friese zeedijk overheersen situaties met geen noemenswaardige kwel of wegzijging, of met lichte kwel. Op de buitendijkse zomerpolders (Noord-Friesland Buitendijks, Peazemerlannen, Bantpolder) is duidelijk sprake van wegzijging. Langs de Groninger kust is het beeld afwisselender. In het oostelijk deel van het

Lauwersmeergebied, vlak achter de afsluit- en zeedijk is sprake van kwel. Oostelijker, in het Hogeland, zien we een kleinschalige afwisseling van wegzijging en kwel, die verklaard kan worden door lokale verschillen in maaiveldhoogte.



Figuur 2.4

Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand. Bron: Alterra.

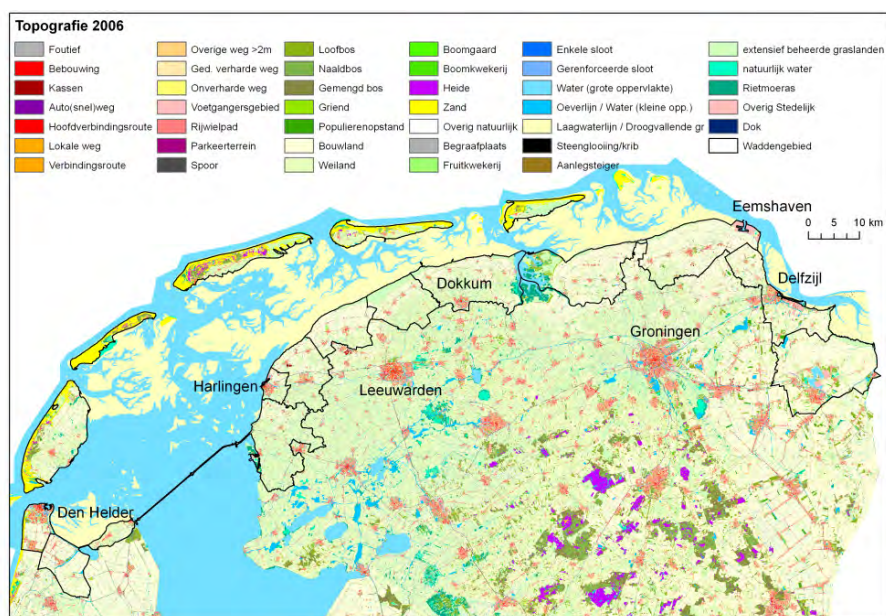
3. Socio-economische kenmerken van het Waddengebied

In het Waddengebied liggen vier havensteden direct aan de Waddenzee: Den Helder, Den Oever, Harlingen en Delfzijl (figuur 2.5). Ten noorden van Delfzijl ligt bovendien het Eemshavengebied, zonder woonkern, maar met een industrieel karakter. Voor het overige ligt een beperkt aantal kleinere plaatsen direct aan de Waddendijk. Ze beschikken meestal over een kleine (veer)haven (bijvoorbeeld Den Oever en Lauwersoog) of liggen aan een gemaal of afwateringspunt (bijvoorbeeld Termunterzijl). Er is een interessant verschil tussen de Noord-Hollandse en Friese vastelandskust enerzijds en de Groninger vastelandskust anderzijds. Bij de Groninger kust is over een groot deel, van Lauwersmeer tot Eemshaven, sprake van ‘schillen’ van (jonge) landbouwpolders zonder nederzettingen van enige omvang. De binnendijken (slaperdijken) zijn vaak nog aanwezig. Langs de Noord-Hollandse en Friese vastelandskust is er nauwelijks sprake van ‘schillen’ van dunbevolkte landbouwpolders langs de Waddenzee. Alleen tussen Paesens en Oostmahorn (ten noorden van de Alddyk, net ten westen van het Lauwersmeer) en in de gemeente Het Bildt treffen we een situatie met dunbevolkte en gecompartmenteerde polders. Langs delen van de Friese vastelandskust bevinden zich buitendijkse zomerpolders. Voor deze zomerpolders liggen vaak kwelders die het resultaat zijn van kwelderwerken. Ook langs de Groninger kust bevinden zich kwelders.

Aan de randen van de grotere Waddeneilanden Terschelling en vooral Texel vinden we lokaal kleine en dun- of niet-bevolkte polders of bedijkte poldercompartimenten. Op Ameland en Schiermonnikoog zijn de landbouwpolders niet via slaperdijken gecompartmenteerd. In het westelijk deel van het onderzoeksgebied, Texel en de Kop van Noord-Holland zijn enerzijds veel percelen in gebruik als agrarisch grasland of natuurgrasland (Wieringen en een groot deel van Texel) (figuur 2.6). Anderzijds vinden we ook akkerbouwgebieden: de Polder Eijerland op Texel met granen, maïs, bieten en aardappelen, het gebied in het

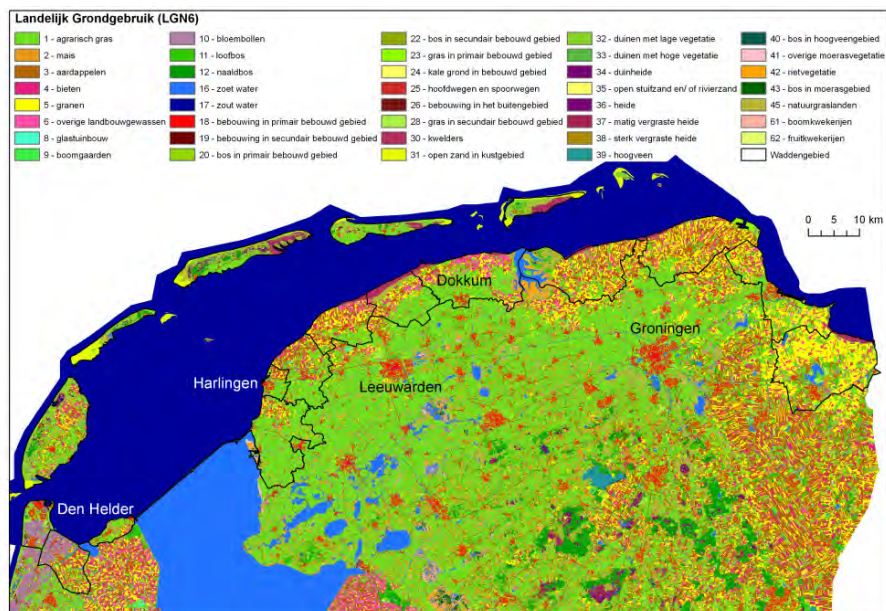
zuiden van de gemeente Den Helder en het westen van de gemeente Anna Paulowna met bloembollen, het oosten van Anna Paulowna met akkerbouw (vooral granen, aardappelen, bieten) naast percelen met bloembollen.

In de landbouwpolders van de Waddeneilanden ten oosten van Vlieland (landbouwpolders ontbreken op Vlieland) domineert agrarisch grasland. Dit is vooral prominent op Terschelling. Op Ameland en Schiermonnikoog vinden we naast agrarisch grasland in de polders ook maïs- en aardappelpercelen.



Figuur 2.5

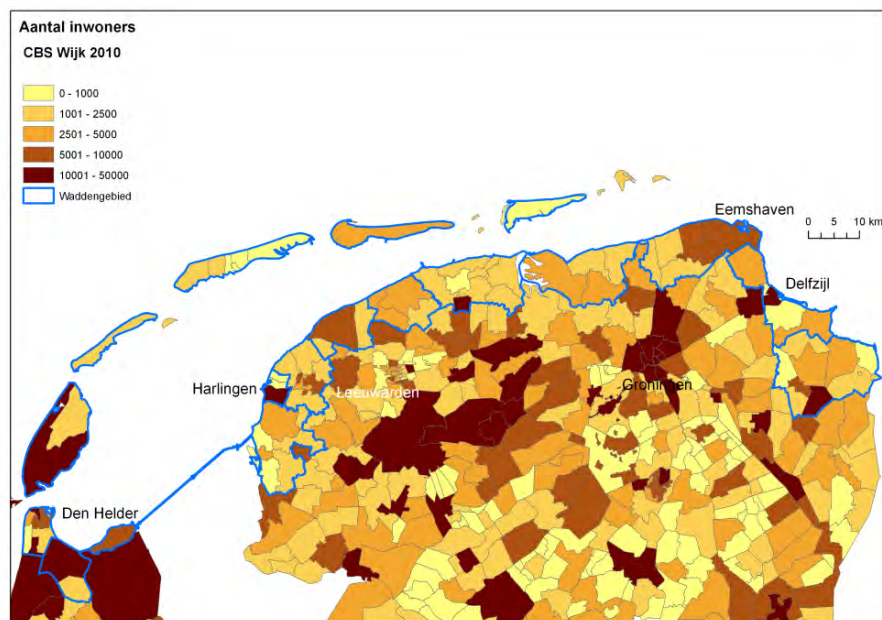
Topografische kaart. Bron: Geodatabase Alterra, Top10Smart 2006.



Figuur 2.6

Landelijk grondgebruik. Bron: Geodatabase Alterra, LGN6.

Langs de Friese en Groninger vastelandskust bevindt zich achter de zeedijk een strook met overwegend akkerbouwpercelen. Deze strook varieert in breedte van ca. 3 à 4 km langs de Friese kust tot 5 à 15 km langs de Groninger kust. Granen en aardappelen zijn hier belangrijke gewassen, waarbij in Groningen lokaal ook bieten een rol spelen en in het Oldambt en Reiderland granen domineren.

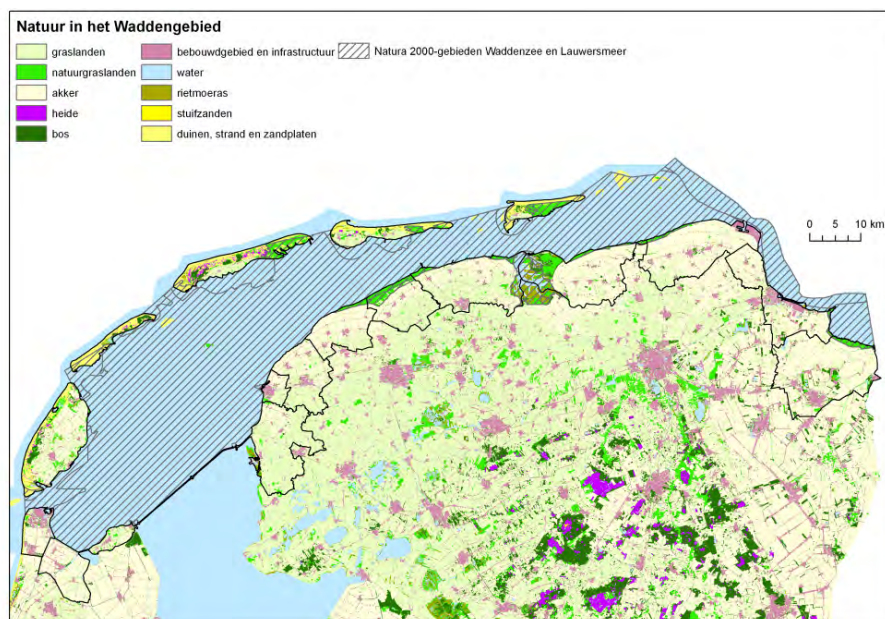


Figuur 2.7

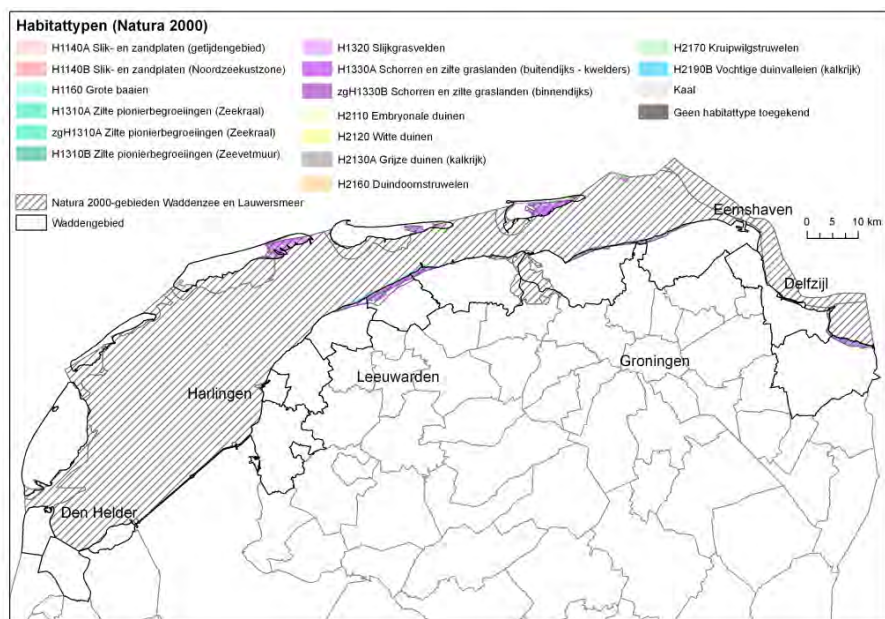
Aantal inwoners per wijk binnen de gemeenten. Bron: Geodatabase Alterra, CBS Wijk 2010.

4. Ecologische kenmerken van het Waddengebied

Het Waddengebied heeft belangrijke natuur en landschapswaarden (figuur 2.8). De Waddenzee en delen van de kustzone en het Lauwersmeer (tevens Nationaal Park) zijn aangewezen als Natura 2000-gebied. In figuur 2.9 zijn de habitattypen aangegeven.



Figuur 2.8
Natuur in het Waddengebied.



Figuur 2.9
Habitattypen (bron: www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase/).

Bijlage 4 Kaarten van dijktrajecten in het Waddengebied en tabellen met mogelijke innovatieve dijken

Fryslân

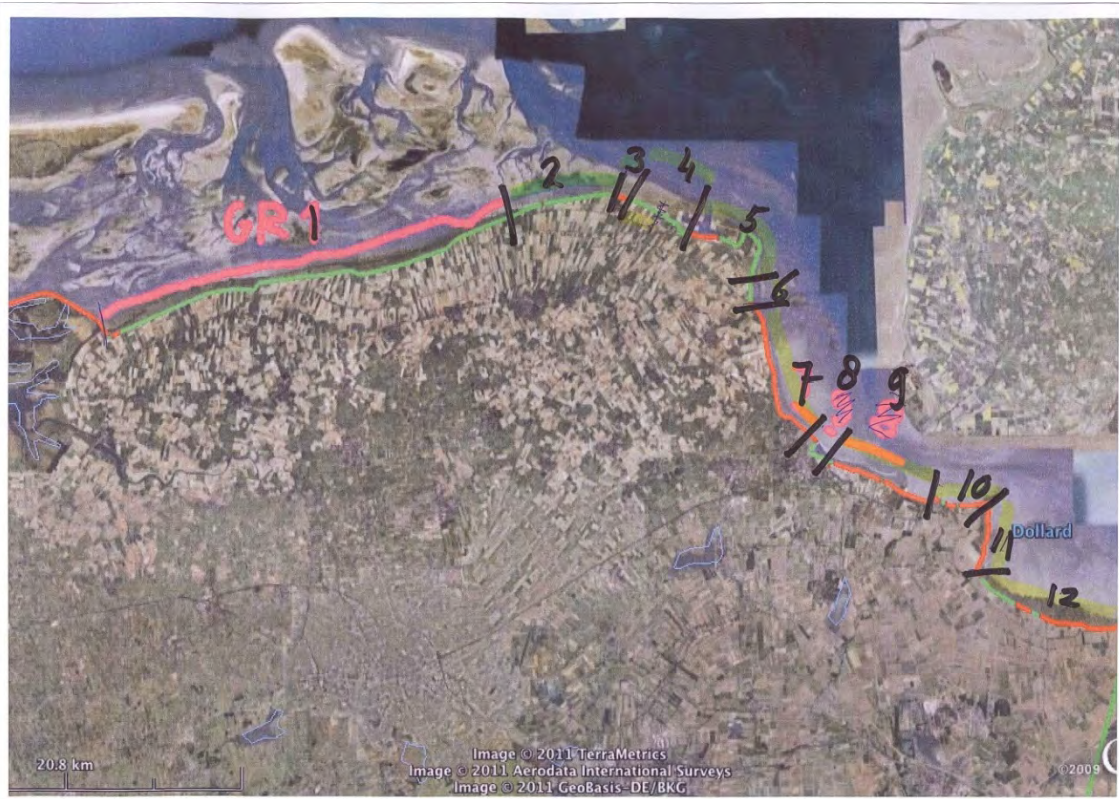


Tabel

Score Innovatieve dijkconcepten per onderscheiden dijktraject, waarbij groen = mogelijk en interessant om nader te onderzoeken; geel = mogelijk, maar lijken qua lokale omstandigheden niet interessant; rood = technisch of ruimtelijk niet mogelijk.

Type Innovatieve Dijk		FR0	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5	FR6	FR7	FR8
Basisconcepten	Overslagbestendige dijk									
	Overstroombare dijk									
Robuust	Deltadijk									
	Klimaat- / Multidijk									
	Superdijk/terpendijk									
Parallele dijken	Dubbele dijk/triple dijk									
Hybride keringen	Dijk-in-duin									
	Dijk-in-boulevard									
Eco-Engineering	Biobouwers									
	Oeverdijk									
	Rijke dijk									
	Dijk met kwelderwal									
Dynamisch stabiel	Zand suppleties									
	Zand motor									
	Nieuwe duinen									
Kunstwerken	Integratie met bebouwing									
	Functie scheidende scherm									
	Demontabele kering									
	Standaard met inn. elementen									

Groningen



Tabel

Score Innovatieve dijkconcepten per onderscheiden dijktraject, waarbij groen = mogelijk en interessant om nader te onderzoeken; geel = mogelijk, maar lijken qua lokale omstandigheden niet interessant; rood = technisch of ruimtelijk niet mogelijk.

Type Innovatieve Dijk		GR1	GR2	GR3	GR4	GR5	GR6	GR7	GR8	GR9	GR10	GR11	GR12
Basisconcepten	Overslagbestendige dijk												
	Overstroombare dijk												
Robuust	Deltadijk												
	Klimaat- / Multidijk												
	Superdijk/terpendijk												
Parallele dijken	Dubbele dijk/triple dijk												
Hybride keringen	Dijk-in-duin												
	Dijk-in-boulevard												
Eco-Engineering	Biobouwers												
	Oeverdijk												
	Rijke dijk												
	Dijk met kwelderwal												
Dynamisch stabiel	Zand suppleties												
	Zand motor												
	Nieuwe duinen												
Kunstwerken	Integratie met bebouwing												
	Functie scheidende schermen												
	Demontabele kering												
	Standaard met inn. elementen												

Noord-Holland



Tabel

Score Innovatieve dijkconcepten per onderscheiden dijktraject, waarbij groen = mogelijk en interessant om nader te onderzoeken; geel = mogelijk, maar lijken qua lokale omstandigheden niet interessant; rood = technisch of ruimtelijk niet mogelijk.

Type Innovatieve Dijk		NH1	NH2	NH3	NH 4	NH5	NH6	NH7	NH8	NH9	NH10
Basisconcepten	Overslagbestendige dijk	Yellow	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Red	Red
	Overstroombare dijk	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Red
Robuust	Deltadijk	Red	Green	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	Klimaat- / Multidijk	Red	Green	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	Superdijk/terpendijk	Red	Green	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Parallele dijken	Dubbele dijk/triple dijk	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Hybride keringen	Dijk-in-duin	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Dijk-in-boulevard	Red	Yellow	Red	Red	Yellow	Red	Red	Red	Yellow	Yellow
Eco-Engineering	Biobouwers	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow
	Oeverdijk	Red	Red	Red	Red	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green
	Rijke dijk	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red	Red
	Dijk met kwelderwal	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red
Dynamisch stabiel	Zand suppleties	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Zand motor	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Nieuwe duinen	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
Kunstwerken	Integratie met bebouwing	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Green	Green
	Functie scheidende scherm	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green
	Demontabele kering	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Yellow	Green
	Standaard met inn. elementen	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Texel



Tabel

Score Innovatieve dijkconcepten per onderscheiden dijktraject, waarbij groen = mogelijk en interessant om nader te onderzoeken; geel = mogelijk, maar lijken qua lokale omstandigheden niet interessant; rood = technisch of ruimtelijk niet mogelijk.

Type Innovatieve Dijk		TX1	TX2	TX3	TX4	TX5	TX6	TX7
Basisconcepten	Overslagbestendige dijk	■	■	■	■	■	■	■
	Overstroombare dijk	■	■	■	■	■	■	■
Robuust	Deltadijk	■	■	■	■	■	■	■
	Klimaat- / Multidijk	■	■	■	■	■	■	■
	Superdijk/terpendijk	■	■	■	■	■	■	■
Parallele dijken	Dubbele dijk/triple dijk	■	■	■	■	■	■	■
Hybride keringen	Dijk-in-duin	■	■	■	■	■	■	■
	Dijk-in-boulevard	■	■	■	■	■	■	■
Eco-Engineering	Biobouwers	■	■	■	■	■	■	■
	Oeverdijk	■	■	■	■	■	■	■
	Rijke dijk	■	■	■	■	■	■	■
	Dijk met kwelderwal	■	■	■	■	■	■	■
Dynamisch stabiel	Zand suppleties	■	■	■	■	■	■	■
	Zand motor	■	■	■	■	■	■	■
	Nieuwe duinen	■	■	■	■	■	■	■
Kunstwerken	Integratie met bebouwing	■	■	■	■	■	■	■
	Functie scheidende schermen	■	■	■	■	■	■	■
	Demontabele kering	■	■	■	■	■	■	■
	Standaard met inn. elementen	■	■	■	■	■	■	■

Terschelling



Tabel

Score Innovatieve dijkconcepten per onderscheiden dijktraject, waarbij groen = mogelijk en interessant om nader te onderzoeken; geel = mogelijk, maar lijken qua lokale omstandigheden niet interessant; rood = technisch of ruimtelijk niet mogelijk.

Type Innovatieve Dijk		TR1	TR2	TR3
Basisconcepten	Overslagbestendige dijk	rood	geel	geel
	Overstroombare dijk	rood	rood	rood
Robuust	Deltadijk	geel	geel	geel
	Klimaat- / Multidijk	geel	geel	geel
	Superdijk/terpendijk	geel	geel	geel
Parallele dijken	Dubbele dijk/triple dijk	rood	rood	rood
Hybride keringen	Dijk-in-duin	geel	rood	rood
	Dijk-in-boulevard	geel	rood	rood
Eco-Engineering	Biobouwers	geel	rood	geel
	Oeverdijk	geel	rood	rood
	Rijke dijk	geel	geel	geel
	Dijk met kwelderwal	rood	rood	rood
Dynamisch stabiel	Zand suppleties	geel	rood	geel
	Zand motor	geel	rood	geel
	Nieuwe duinen	geel	rood	rood
Kunstwerken	Integratie met bebouwing	geel	geel	geel
	Functie scheidende schermen	geel	geel	geel
	Demontabele kering	rood	rood	rood
	Standaard met inn. elementen	geel	geel	geel

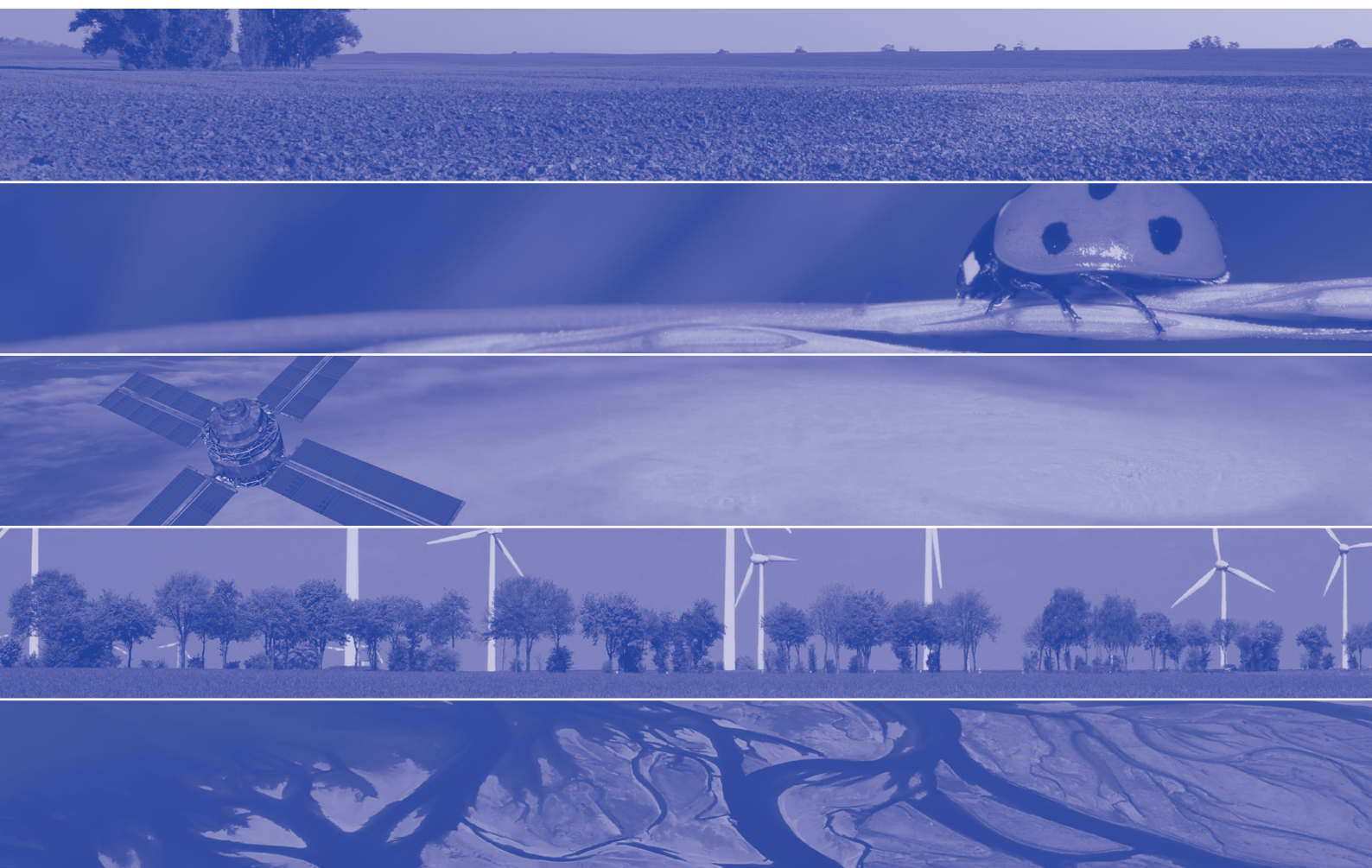
Ameland



Tabel

Score Innovatieve dijkconcepten per onderscheiden dijktraject, waarbij groen = mogelijk en interessant om nader te onderzoeken; geel = mogelijk, maar lijken qua lokale omstandigheden niet interessant; rood = technisch of ruimtelijk niet mogelijk.

Type Innovatieve Dijk		AM1	AM2
Basisconcepten	Overslagbestendige dijk		
	Overstroombare dijk		
Robuust	Deltadijk		
	Klimaat- / Multidijk		
	Superdijk/terpendijk		
Parallele dijken	Dubbele dijk/triple dijk		
Hybride keringen	Dijk-in-duin		
	Dijk-in-boulevard		
Eco-Engineering	Biobouwers		
	Oeverdijk		
	Rijke dijk		
	Dijk met kwelderwal		
Dynamisch stabiel	Zand suppleties		
	Zand motor		
	Nieuwe duinen		
Kunstwerken	Integratie met bebouwing		
	Functie scheidende schermen		
	Demontabele kering		
	Standaard met inn. elementen		



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.alterra.wur.nl