



Niels Eernink
Deltares



Harry Schelfhout
Deltares



Geotechnische innovaties klimaatbestendig

Figuur 1 Bouwen met de natuur.

Inleiding

De zeespiegelstijging en toename van de rivierafvoeren worden in verband gebracht met de klimaatverandering. Ze zorgen voor ruimtedruk op de gebruiksfuncties en investeringen in gebieden met een overstromingsrisico.

In deze gebieden is er een breed draagvlak om te investeren in aanpassingsmaatregelen tegen de gevolgen klimaatverandering en zeespiegelstijging. Het is lange tijd gebruikelijk geweest om technische maatregelen af te stemmen op het overstromingsrisico dat men wil beheersen. Deze traditionele besluiten over de te nemen maatregelen worden vooral getoetst aan de technische haalbaarheid en kosten-baten. Deze afwegingen kunnen soms beperkend werken voor andere ontwikkelingen die in de te beschermen gebieden een rol spelen, zoals economische of ecologische ontwikkelingen. In een vernieuwende kijk op het veiligheidsdenken, waarbij waterbeheer en ruimtelijke orderingsvraagstukken in beginsel als gelijken worden gezien, zijn er verschillende technische maatregelen mogelijk om het risico tegen overstroming te reduceren en tevens ruimte te geven aan andere ontwikkelingen. Door deze manier van ruimtegebruik en innovatieve technische maatregelen te combineren kan beter op flexibiliteit en duurzaamheid worden geanticipeerd. Nieuwe, niet eerder toegepaste adaptatiemaatregelen met

eenzelfde of beter resultaat dan conventionele maatregelen kunnen hierdoor aan het licht komen¹. Klimaatverandering geeft in de eerste plaats aanleiding tot het nemen van maatregelen, maar geeft in tweede instantie ook de gelegenheid om te kijken hoe we deze maatregelen nemen.

Dit artikel poogt een overzicht te geven van het kader waarin geotechnische innovaties succesvol kunnen zijn. Hierbij schetsen wij een beeld van de kenmerken van de werelden van overstromingsveiligheid en Ruimtelijke Ordening. De mogelijkheid bestaat om klimaatverandering geleidelijk op te vangen kan men herkennen hierin gezamenlijk kansen en geven hiermee een nieuwe zienswijze.

Als laatst geven van enkele geotechnische innovaties aan wat het potentieel binnen deze nieuwe zienswijze zou kunnen zijn.

Lange tijdschaal

De lange tijdschaal van klimaatverandering stelt ons in staat om op de langere termijn een robuuste strategie tegen overstromingsrisico toe te passen. Deze lange termijnstrategie vereist robuuste oplossingen, die een bepaalde invloed hebben op de ruimtelijke ontwikkeling van gebieden. In het geval dat een maatregel grote invloed op de ruimtelijke ontwikkelingen van een gebied kan hebben is het zinvol ook flexibele

Samenvatting

Door het integreren van waterbeheervraagstukken in het bredere kader van de Ruimtelijke Ordening met al haar ruimte-lijke opgaven is er grotere kans op het verkrijgen van breed maatschappelijk draagvlak voor nieuwe veiligheidsmaatregelen. Geotechnische innovaties als woonterpen, superdijken en eilanden voor de kust zijn hiervan voorbeelden. Door het benutten van de kennis van waterbeheer, water- en geotechniek en ruimtelijke ontwikkelingen in een integrerende benadering staan de mogelijke adaptatiemaatregelen in verband met klimaatverandering in een bredere maatschappelijke context. Door geotechnische innovaties een bredere context te plaatsen kunnen win-win-situaties in de ruimtelijke ordening worden verkregen. Naast het nemen van maatregelen tegen overstroming biedt dit in het kader van integrale gebiedsontwikkeling extra mogelijkheden voor toepassing van technologische innovaties.

le korte termijnoplossingen (no regret maatregelen) uit te voeren om deze robuustheid geleidelijk te kunnen bereiken. Dit kan een belangrijke randvoorwaarde zijn voor de implementatie van technische innovaties. Door de mogelijkheden van ruimtelijk grondgebruik en innovatieve technische concepten te combineren kan beter op flexibiliteit en duurzaamheid worden geanticipeerd. Het nemen van maatregelen die in dit opzicht het accommoderen van meerdere functies toestaan, heeft in het algemeen een positieve uitwerking op het maatschappelijk en politiek draagvlak voor deze maatregel. Het betekent namelijk dat meerdere belanghebbenden in een gebied in hun behoefte voorzien worden.

Overstromingsrisico en Ruimtelijke Ordening

Bij de oorspronkelijke veiligheidsbenadering vlak na de stormramp van 1953 was er een koppeling tussen het overstromingsrisico en de inrichting van het te beschermen gebied. Op basis daarvan is voor Centraal-Holland een economisch optimale overstromingskans afgeleid, zie *figuur 2*. Vervolgens is daaruit de veiligheidsnorm van

1/10.000 per jaar afgeleid. Op basis daarvan zijn in de loop van de 20e eeuw veel waterkeringen versterkt. In veel gevallen hield men daarbij in mindere mate dan nu rekening met de leefomgeving, wat veel maatschappelijke weerstand veroorzaakte. Veiligheid tegen overstroming werd vaak geplaatst boven de andere gebruiksfuncties, zodat daar bij de planvorming de grootste prioriteit aan werd gegeven. Nieuwe werken zoals de Oosterscheldekering, de rivierdijkversterkingen en de aanleg van de Markerwaard ondervonden steeds meer maatschappelijke weerstand. Geleidelijk groeide het besef dat een proces van integratie, participatie en samenwerking met belanghebbenden beter in de maatschappelijke behoefte kan voorzien. Deze tendens is nog steeds gaande, maar is nog niet overal gemeengoed.

Een belangrijk inzicht, dat bij deze bredere ruimtelijke aanpak ontstaat, is de ervaring dat alle belanghebbenden bij waterveiligheid en ruimtelijke ordening beter vanaf het begin van besluitvormingsprocessen moeten samenwerken. Alleen op die manier kan men komen tot breedgedragen oplossingen met wederzijdse winst en ontstaat er vertrouwen in de oplossingen en groeit de bereidheid om samen uitdagingen aan te gaan. Het natuurontwikkelingsplan Ooievaar en het project Ruimte voor Rivier zijn voorbeelden in het rivierengebied van een bredere ruimtelijke aanpak waarbij waterbeheer, natuurbeheer, recreatie, scheepvaart, industrie en bewoning hun plaats krijgen. Innovaties op het gebied van veiligheid tegen overstroming bieden veel mogelijkheden om gebruiksfuncties en daarmee de behoeften van belanghebbenden, te combineren.

Gemeenschappelijke mogelijkheden

Bij het aanpassen van de openbare ruimte aan de nieuwe omstandigheden, die klimaatverandering kan veroorzaken, kan een benadering, die de

aspecten van de Ruimtelijke Ordening combineert met een benadering op basis van overstromingsrisico een positieve bijdrage leveren aan duurzaam grondgebruik. Het vinden van meervoudig ruimtegebruik in combinatie met het bieden van een bepaald veiligheidsniveau voor de gebruiksfuncties is een voorbeeld hiervan. Een meer structurele toepassing van zo'n benadering kan leiden tot het met succes herkennen en benutten van de potenties, die in gebieden aanwezig zijn. Op deze manier kunnen technische innovaties in combinatie met andere gebiedsfuncties naast het bieden van veiligheid ook de ruimtelijke kwaliteit verbeteren. (Geo)technische innovaties kunnen in deze gecombineerde aanpak een stimulans zijn om deze benadering breder en vaker te hanteren.

Gelijkheidsprincipe

Bij een integrale aanpak ligt de nadruk op de ontwikkelingsmogelijkheden in het gebied. Alle gebruiksfuncties, die in het gebied kunnen voorkomen, zijn in beginsel gelijkwaardig. Om een veilig, aantrekkelijk en duurzaam gebied te verkrijgen is het mogelijk om bepaalde functies een hogere prioriteit te geven dan andere functies en tegemoet te komen aan specifieke behoeften en wensen voor ontwikkelingen in het gebied.

Voor het nemen van maatregelen, die invloed hebben op het landschap, is maatschappelijk en politiek draagvlak nodig. Er zijn veel verschillende visies (of percepties), die de mate van draagvlak voor deze maatregelen bepalen. Naast het onderzoeken van technische haalbaarheid zijn ook de verschillende visies van alle belanghebbenden in het gebied belangrijk en is het nodig om deze visies te identificeren. Wanneer al in de planfase rekening wordt gehouden met de gebiedskennis en ontwikkelwensen en ook alternatieven worden bekeken, die daaraan (in een zekere mate) tegemoet komen, zullen belanghebbenden sneller geneigd zijn om een maat-

regel te accepteren.

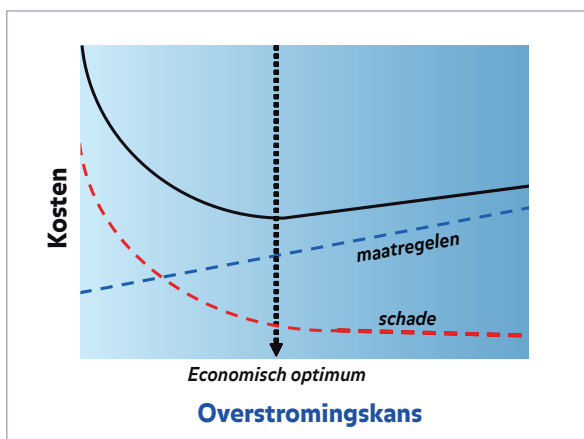
Aan de veiligheid tegen overstroming en de economische, ecologische en sociaal-culturele functies kan een gelijkwaardige rol worden toebedeeld. Zodoende kunnen de verschillende visies van alle belanghebbenden in beeld worden gebracht. Op basis van het completere gebiedsbeeld dat hierdoor ontstaat kan een beter afgewogen beslissing worden genomen over de binnen een bepaald gebied te maken keuzes.

Integrale aanpak

Economische, ecologische en sociaal-culturele functies en waterveiligheid leggen een bepaalde druk op de mogelijkheden voor ruimtegebruik, waarvoor ook ruimtelijke investeringen nodig zijn. Dit is schematisch weergegeven in *figuur 3*.

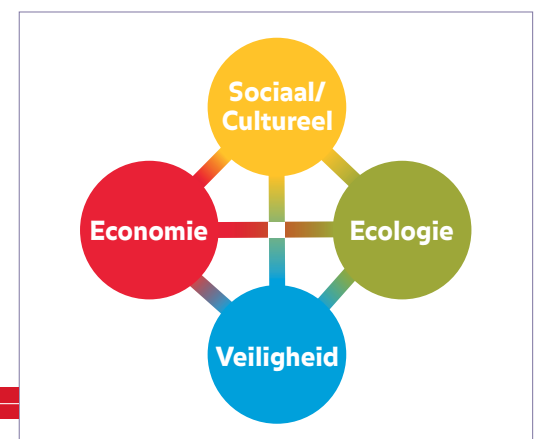
Deze functies zijn belangrijk voor de besluitvormingsprocessen bij de ruimtelijke planvorming. Een overzicht van de verschillende bestaande en potentiële functies in het gebied geeft buiten het technische veiligheidsdomein inzicht in de uitbreidingsmogelijkheden van andere functies en de mogelijkheden om deze te beïnvloeden. In de overwegingen bij het stellen van prioriteiten voor bepaalde functies zijn er verschillende mogelijkheden.

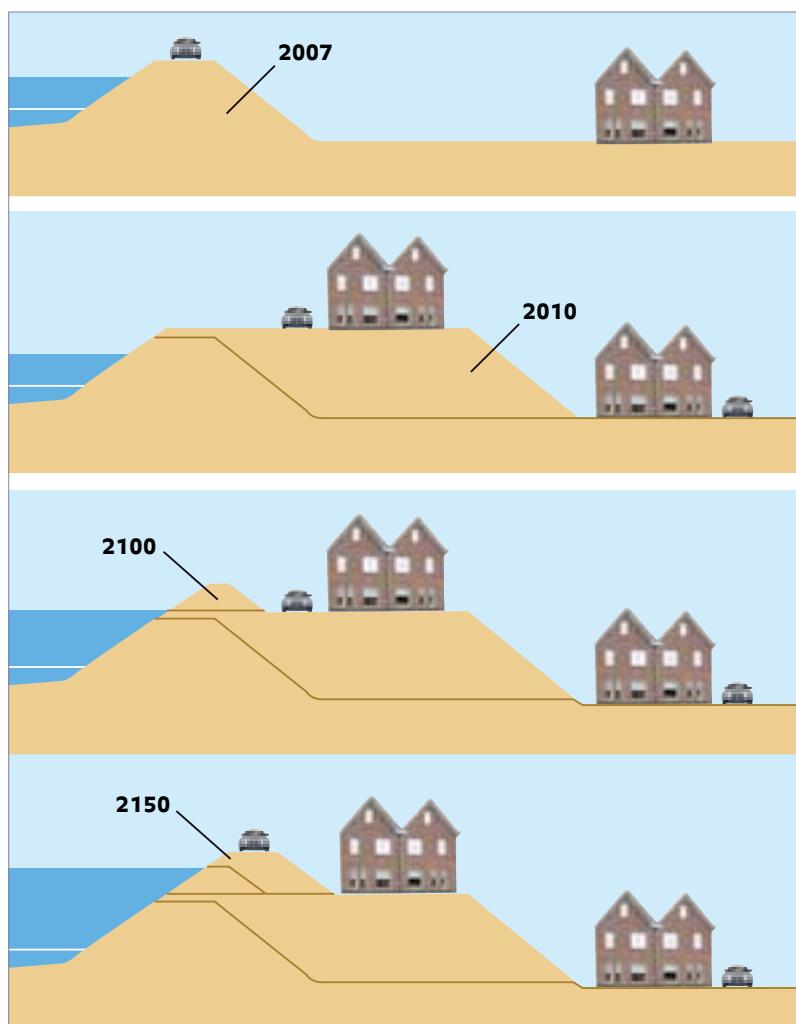
Het kan aantrekkelijk zijn om bepaalde functies met elkaar te combineren dan wel de toedeling van ruimte en investeringen af te stemmen op bepaalde functies. In dat verband is technologie niet een doel maar een middel. Deze integrale benadering maakt het mogelijk om verschillende ruimtelijke visies en oplossingen vanuit de optiek van ruimtedruk, potenties en investeringen voor alle functies in beeld te brengen. In *figuur 4* wordt getoond hoe het mogelijk is om nieuwe technische ideeën samen te voegen met een duurzame visie op gebiedsontwikkeling voor de toekomst.



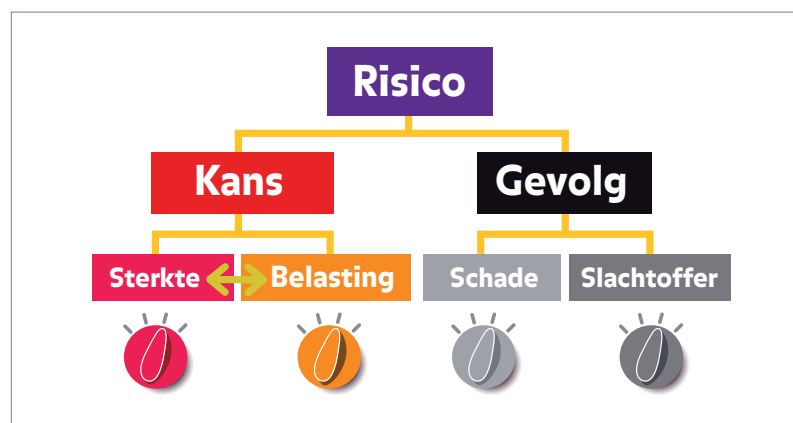
Figuur 2 Hiernaast is weergegeven hoe op basis van een kosten-baten-analyse de keuze is gemaakt voor een economisch optimum voor het veiligheidsniveau van een te beschermen gebied. In de afweging heeft men het optimum van de overstromingskans bepaald aan de hand van de kosten van maatregelen en de bij een overstroming te verwachten economische schade.

Figuur 3 Ruimtedruk door de verschillende functies.





Figuur 4 Flexibele brede dijken.



Figuur 5 Risicobenadering.



Figuur 6 'Kansenkant' van de risicobenadering en de verbonden vakgebieden.

In het geschetste tijdsbeeld van de oplossingsstrategie is zowel waterbeheer opgenomen als woningbouw en mobiliteit. De mogelijkheid om te kunnen reageren op bijvoorbeeld een waterstandverhoging maakt deze strategie flexibel. Om in de praktijk tot een integrale benadering te komen, zullen de vertegenwoordigers uit de verschillende sectoren de integrale denkwijze in hun beleid, gezamenlijk bestuur, procesmanagement en andere dagelijkse praktijk moeten inbedden.

Overstromingsrisico

Overstromingsrisico kan worden beschouwd als een onderdeel van een integrale veiligheidsfunctie en kan worden gekwantificeerd op basis van een risicobenadering. Daarbij wordt het risico bepaald door de kans en het effect van een overstroming. De kans wordt beïnvloed door de sterkte (van een technische constructie) en de belasting (waterstand en golfaanval) bij het falen van de waterkering. Het effect is het gevolg van een overstroming in termen van schade en slachtoffers. In *figuur 5* is de opbouw van de traditionele risicobenadering schematisch

weergegeven. De draaiknoppen die onder de verschillende onderdelen staan, geven aan dat er verschillende mogelijkheden zijn om het risico te beïnvloeden.

Wat voor mogelijkheden?

In de meeste risicobenaderingen worden de in een gebied aanwezige waarden en de kosten van de maatregelen om deze te beschermen beoordeeld op basis van een kosten-baten-analyse. Dit is een belangrijk onderdeel van de integrale aanpak en leidt vanuit de optiek van kosten voor veiligheid tot economisch optimale oplossingen.

Maatregelen voor het beperken van het overstromingsrisico zijn van oudsher vooral gericht op technische oplossingen met als hoofddoel het verlagen van de kans op overstroming door het vergroten van de sterkte en/of het verlagen van de belasting. De traditionele dijkversterkingen en het nemen van rivierverruimende maatregelen zijn daar een voorbeeld van. In de risicobenadering liggen zowel in de 'kans' als in het 'gevolg' mogelijkheden om maatregelen te introduceren. Vooropgesteld dat dit moet functioneren binnen

een integrale benadering is het combineren van kansen en gevolgen en technische expertise nodig. De dominante vakgebieden in het 'kans' gedeelte van de risicobenadering zijn weergegeven in *figuur 6*.

Expertise op het gebied van watersystemen, geotechniek en diepe ondergrond worden op dit moment ontwikkeld volgens een integrale aanpak, waarbij belasting en sterkte complementair zijn. Deze werkwijze maakt het mogelijk dat technische expertise en innovatie breder geaccepteerd en toegepast worden.

Autonome ontwikkelingen

Door de klimaatverandering stijgt de zeespiegel en nemen de stormintensiteit en de rivierafvoeren toe. Daardoor wordt de kans op de belasting van de waterkering door waterstanden en golven groter en neemt het overstromingsrisico toe. Bijkomende problemen zijn de waterhuishouding, verzilting en het opbarstrisico, waardoor een integrale aanpak van alle problemen vanuit een gebiedsbenadering nodig is.



Figuur 7 Traditionele terp.

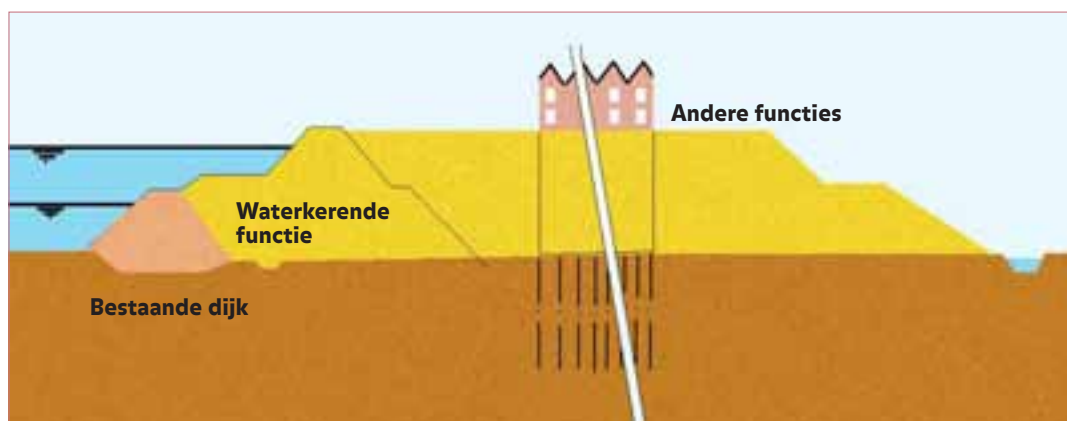
Tegelijkertijd vinden in te beschermen gebieden veranderingen plaats als gevolg van economische investeringen, wijziging van het grondgebruik en bevolkingsgroei. Daardoor neemt de gevolgschade en het aantal potentiële slachtoffers bij een overstroming toe. Dit wordt versterkt door de bodemdaling, die op sommige plaatsen net zo snel gaat als de zeespiegelstijging. Dit betekent dat een integrale aanpak ten bate van toekomstige ontwikkelingen moet worden gebaseerd op een driedimensionale benadering van de grond- en watersystemen, inclusief de huidige en toekomstige inrichting van de gebieden.

Strategieën

Bij de risicobenadering zijn verschillende strategieën mogelijk. In de veiligheidsketen worden de begrippen pro-actie, preventie, preparatie, repressie en nazorg gehanteerd. Traditioneel wordt de 'strijd tegen water' door middel van dijkversterkingen gekenmerkt door een preventieve strategie. Deze strategie begint echter langzamerhand steeds meer plaats te maken voor 'leven met water', een meer adaptieve en pro-actieve strategie. Naar aanleiding van de klimaatdiscussie dienen zich nieuwe kansrijke strategieën aan, die niet alleen zijn gebaseerd op een watervisie maar ook op het oplossingsrichtingen vanuit een visie op basis van het verplaatsen van grond of mensen. Het principe van compartimentering van de te beschermen gebieden sluit daar goed bij aan. Daarbij kan tevens door middel van risico- en normdifferentiatie recht worden gedaan aan de kwetsbaarheid van functies en potentiële slachtoffers in de verschillende gebieden.

Brede concepten

Bouwen met de Natuur en Ruimte voor de Rivier zijn voorbeelden van brede concepten. Dit soort concepten zijn de bouwstenen voor de integrale benadering, waarbij strategische ruimtelijke functies elkaar kunnen overlappen. Door ze in



Figuur 8 Superbrede dijk.

een ruimtelijke context te plaatsen kan de interactie tussen verschillende functies worden versterkt. Brede concepten zijn de verbindende schakel tussen de integrale benadering en technologische innovaties. Bouwen met de natuur met zand als grondstof begint bij baggeren, zie *figuur 1*.

De integratie van kennis over overstromingsrisico en ruimtelijke ordening opent de weg voor toepassing van deze bredere concepten. 'Bouwen met de Natuur' maakt bij veiligheidsmaatregelen gebruik van de dynamiek van het natuurlijke systeem. Voor dergelijke initiatieven is bij de huidige discussies over klimaatverandering vaak al een breed maatschappelijk draagvlak aanwezig.

Geotechnische innovaties

Voor elke innovatie in een brede ruimtelijke context is draagvlak nodig. De brede concepten openen de weg voor toepassing van technische innovaties. Deze innovaties leveren een bijdrage in de beperking van het overstromingsrisico vanuit de kansenkant en/of de gevolgenkant. Enkele actuele voorbeelden zijn hieronder beschreven.

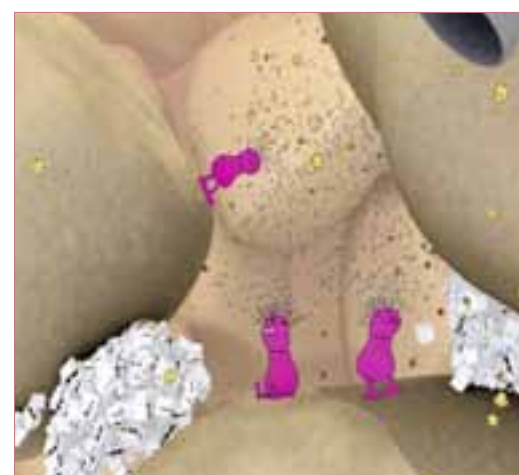
Terpen

Terpen zijn grote grondlichamen met een verhoogde aanleghoogte ten opzichte van het omringende maaiveld. Ze kunnen worden ingericht voor verschillende (meestal kwetsbare) functies. Een traditioneel voorbeeld is te zien in *figuur 7*.

Terpen leveren een bijdrage in de beperking van het overstromingsrisico aan de gevolgenkant omdat de schade bij een overstroming kleiner is. Bovendien kunnen de terpen bij een calamiteit worden gebruikt als veilige vluchthaven.

Superbrede dijken

Superbrede dijken zijn een voorbeeld van het integreren van meerdere functies. Een superbrede



Figuur 9 Smart Soils: bacteriën maken grond sterker.

de dijk is een primaire waterkering, waarop vanwege de forse afmetingen andere functies op basis van het restbreedteprincipe mogelijk zijn. Dit houdt in dat de andere functies zodanig in het grondmassief worden geprojecteerd dat de waterkerende functie niet in het geding is. Een impressie van een superbrede dijk is te zien in *figuur 8*.

Ze leveren een dubbele bijdrage in de beperking van het overstromingsrisico, namelijk verlagings van de kans op overstroming en beperking van de gevolgschade van de functies op de superdijk.

Smart Soils

SmartSoils^{®2} is een kosteneffectieve manier om bestaande grond te gebruiken. Door de aanwezigheid van micro-organismen in grond is het mogelijk om de grondeigenschappen, zoals de sterkte of de doorlatendheid te veranderen, zie *figuur 9*. Een voorbeeld daarvan is het gebruik van biogrout in zogenoemde bioduinen.

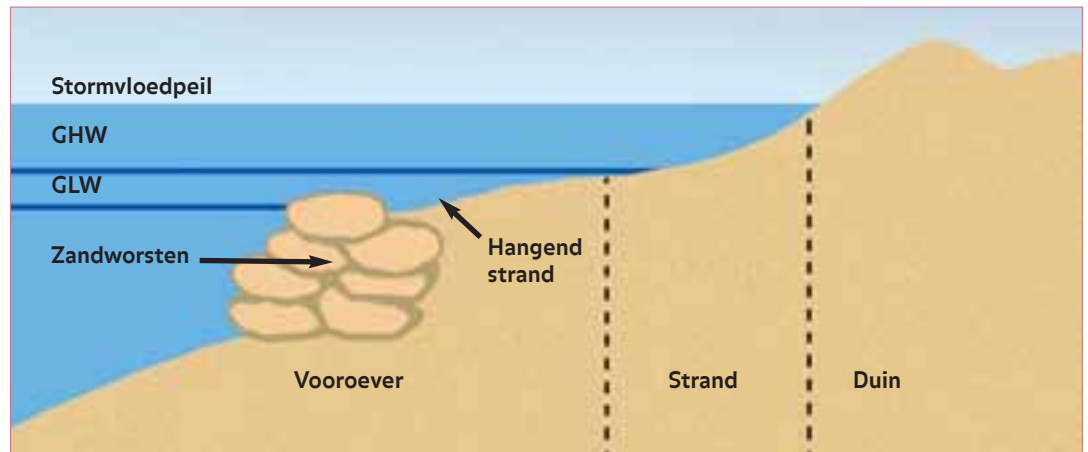
Geotextielen

Geogrids, geotubes, geobags en geocontainers zijn verschillende toepassingsvormen van

geotextielen. Het zijn maatregelen die de erosiebestendigheid van klei of zand vergroten. Ze kunnen bijdragen aan de realisatie van innovatieve ruimtelijke maatregelen (Bezuijen, 2004). In *figuur 10* zijn Geotubes toegepast in het kader van zogenoemde 'hangende stranden', een concept dat erosie op een gedeelte van een strand toelaat.

Implementatie van innovaties

Innovatie bewijst vaak zijn meerwaarde wanneer dat wordt gehanteerd als een middel om de gebiedskwaliteit te verbeteren. Het creëren van bewustwording en draagvlak bij beleidsmakers, politici en andere belanghebbenden, middels het aantonen van deze kwaliteitstoename (en het kader waarin dit gebeurt), vergroot het inzicht in de toepasbaarheid en winstkansen van innovatie. De oplossingsrichting heeft bij voorbaat een positieve invloed op de leefomgeving van de belanghebbenden en tegelijkertijd vormt de oplossingsrichting in het kader van de integrale benadering een duurzame oplossing. Wanneer deze innovaties en de bijbehorende kwaliteitstoename in de verschillende perspectieven van belanghebbenden worden geplaatst, kan het vertrouwen in de oplossingsrichtingen



Figuur 10 Geotubes in dienst van hangende stranden.

worden opgebouwd. Dit kan onder andere worden gerealiseerd aan de hand van haalbaarheidstudies in samenwerking met alle belanghebbenden over de toepasbaarheid van de innovaties. Een belangrijke randvoorwaarde daarbij is dat de innovaties worden gekoppeld aan huidige knelpunten, kansen en ontwikkelingen. De kans op slagen is mede afhankelijk van de manier waarop de innovaties worden geïntroduceerd. Dit kan worden bevorderd door daarbij

de nadruk te leggen op win-win-situaties, die tot stand kunnen komen vanuit een integrale benadering. ■

¹ In dit kader kunnen ook (geo)technische innovaties een breder maatschappelijk draagvlak verkrijgen.

² Smartsoils is een product van Deltares.

Reageren op dit artikel? Stuur dan uw reactie vóór 31 oktober a.s. naar info@uitgeverijedu.com.

- Geotechnisch ontwerp en detailengineering
- Risicobeschouwing
- Uitvoeroptimalisatie en kostenramingen
- Geofysische metingen, zoals een uniek systeem voor lekdetectie

**Gefundeerd bouwen
aan de toekomst!**

VWS Geotechniek



Postbus 525, 3440 AM Woerden, t +31 (0)348 43 52 54, info@vws.nl