

Nederland inpolderen om de kust te beschermen

6 juli 2007, *De Ingenieur*

IN EEN KORT FRAGMENT IN DE FILM *An inconvenient Truth* van de Amerikaanse oud-vicepresident en auteur Al Gore is te zien hoe Nederland tot ver voorbij Amersfoort vanaf de zee onder water loopt. 'Dit kan er gebeuren wanneer de zeespiegel 6 m stijgt', aldus de dwingende stem.

'Overdreven' en 'demagogisch', schreven de commentaren daags na de premiere van de film in het Amsterdamse Tuschinski. En inderdaad, wie louter en alleen op de meetgegevens afgaat, moet concluderen dat zo'n grote zeespiegelstijging er op korte termijn niet in zit. De afgelopen honderd jaar steeg het zeeniveau 18 cm, en versnelling van die stijging is door

Rijkswaterstaat niet geconstateerd.

Toch is het niet onverstandig na te denken over de consequenties van het Al Gore-scenario. Al was het alleen maar om te weten of de vaderlandse waterbouwers van de 21e eeuw in staat zullen zijn met een doeltreffend antwoord te komen. Kan Nederland zijn kustlijn verdedigen, of is een volksverhuizing tot beneden de grote rivieren de enige optie?

SUPPLETIE

Ing. Rob van den Haak en dr.ir. Pieter Stokman, beiden gepensioneerd, vonden het probleem al in 2003 uitdagend genoeg om een geheel nieuw kustverdedigingsconcept te ontwerpen: de Haakse Zeedijk. ([zie www.haaksezeedijk.nl](http://www.haaksezeedijk.nl)) Het brede en hoge zandlichaam, 25



km uit de kust, komt vanaf het Zeeuwse eiland Walcheren en haakt bij Den Helder weer aan het oude land vast, en gaat vervolgens verder als afsluiting tussen de Waddeneilanden. Voor de Nieuwe Waterweg en het Noordzeekanaal zitten er in de waterkering bedijkte kanalen. Binnen de luwe zone achter de zeedijk is plaats voor grote binnenmeren, woningenbouw, recreatie, energiewinning, een Maasvlakte en een nieuw vliegveld.

Het plan werd welwillend maar toch met enig schouderophalen ontvangen door de waterstaatwereld. 'Ze vonden het erg ingrijpend en vooral duur', herinnert Stokman zich. Dr. Jan Mulder, senior kustspecialist bij het Rijks Instituut voor Kust en Zee (RIKZ), de denktank van Rijkswaterstaat voor de kustverdediging, snapt die afwijzende reacties wel. 'Het huidige kustonderhoud werkt met zandsuppletie, en dat gaat prima.' Sinds 1990 wordt per jaar gemiddeld zes miljoen, en vanaf 2001 zo'n twaalf miljoen m³ zand gedeponeed. 'Daarmee houden we de kust niet alleen in stand, op veel plaatsen is de duinvoet zelfs met 15 m verbreed', laat Mulder weten.

Suppletie met zand gaat allang niet meer alleen door het direct op het strand te spuiten. De grootste hoeveelheid komt terecht in een zone op ruim 500 m vanaf de kust, waar de zee tussen 5 en 7 m diep is. De filosofie daarachter is het benutten van processen die zich langs de kust afspelen. 'We brengen op bepaalde plekken grote hoeveelheden zand in het dynamische systeem', vertelt Mulder. 'Het verdelen laten we vervolgens aan de natuur over. En dat blijkt te werken.' De kosten zijn volgens de kustdeskundige goed te overzien: jaarlijks staat een bedrag van 44 miljoen euro op de begroting voor kustonderhoud, waarvan een deel, gemiddeld vijf miljoen, voor het in goede staat houden van steenbekleding, strekdammen en dergelijke.

KRITISCH GELUID

Het meest duidelijke kritische geluid op zandsuppletie is

te horen van ir. Kees Boorsma, die in de waterstaatwereld geldt als een markant figuur. Toen iedereen de schoonheid van de Waddenzee bejubelde bijvoorbeeld, presenteerde hij een plan om delen ervan in te polderen. Soms kan men echter niet om hem heen, zoals toen vorig najaar een kudde paarden voor de kust van Friesland bij hoogwater kwam vast te zitten. Volgens de betrokken dijkgraaf had een meetboei zulke hoge golven geconstateerd dat het bestaande regime van de kustverdediging op de schop moest. 'Dat kan niet kloppen', legde Boorsma direct in een uitvoerig document uit. En inderdaad, onlangs is geconstateerd dat de meetboei zijn werk niet goed deed.

'Zandsuppletie is buitengewoon inefficiënt', stelt de raadgevend ingenieur. 'Van alles wat we neerleggen, komt hooguit 10 % op de goede plaats, de rest verdwijnt richting de Waddenzee, tot in Duitsland aan toe. Het direct aanleggen van een robuuste kustlijn is veel verstandiger. Bovendien wordt de onderzeese oever steeds steiler, waardoor suppletie steeds minder helpt.' Voorlopig blijft Rijkswaterstaat door gaan met het aanbrengen van zand. Ook bij de aanpak van de huidige zwakke plekken, bijvoorbeeld de Hondsbossche en Pettermer Zeewering en de kust bij Ter Heijde in het Westland, zet extra zandversterking de toon.

'Prachtig allemaal', vindt plannenmaker Stokman van de Haakse Zeedijk, 'maar het blijft knip- en plakwerk. De betrokken bestuurders letten alleen op hun eigen badplaats of stukje kust, bedenken wat voor maatregelen nodig zijn om tot 2050 voort te kunnen, en het resultaat is een lappendeken van halve maatregelen. Kijk eerst naar het grotere geheel: wat komt er de komende eeuwen op ons af, en wat doen we daarmee? Pas als dat bekend is, heeft lokaal herstelwerk ook voor de toekomst zin.'

Dat kijken naar het grotere geheel is de insteek van de duurzaamheidsverkenning Nederland Later, waaraan drs. Willem Ligtvoet, programmaleider Water en Ruimte van het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) heeft

gewerkt. 'De komende jaren krijgen we te maken met een uitbreiding van 20 tot 30 % van bestaand bebouwd gebied', vertelt hij. 'We willen weten of dat goed valt te combineren met de voorspelde klimaatverandering.' Ligtvoet vat de gevolgen van die verandering in twee woorden samen: zeespiegelstijging en rivierafvoer. 'Voor de stijging van de zeespiegel is in eerste instantie gekeken naar 2100. Het KNMI komt op een bandbreedte van 35 tot 85 cm, waarbij de bovenkant van het bereik waarschijnlijker is.

Een onverwacht snel smelten van het Noordelijke poolijs maakt zelfs een stijging van 1,5 m mogelijk.' Ook de periode tot 2300 is in kaart gebracht. 'De totale bandbreedte loopt dan van 1 tot 2,5 m, met in het slechtste geval 4,5 m. Maar het is een tijdvak erg ver weg, waarover geen enkele harde uitspraak is te doen.' Onbekend terrein of niet, het MNP wilde weten wat voor zeespiegelstijging onze kustverdediging aankan en vroeg deskundigen van de TU Delft en het Waterloopkundig Laboratorium om advies. 'Een stijging van 6 tot 8 m kunnen we met duin- en dijkversterking wel aan, zolang het tempo maar niet hoger ligt dan 1,5 m per eeuw', geeft Ligtvoet aan.

BOSVARIANT

In het verleden zijn al verschillende modellen op tafel gekomen voor een meer robuuste kustversterking. Een daarvan is de Haakse Zeedijk, een andere is bedacht door ir. Willem Bos, die eerder bekendheid verwierf met een alternatief trace voor de hogesnelheidslijn langs Den Haag (de Bosvariant) en een nieuw ontwerp voor het kassengebied in het Westland (Crystal City). De kustverdediging van de civieltechnisch ingenieur, de Nieuwe Hollandse Zeelinie, bestaat uit een aaneenschakeling van halve zandcirkels aan de kust, onderbroken door baaien. 'Zandsuppletie zie ik als de belangrijkste oplossing, want dat werkt goed', licht hij toe. 'En regelmatig aanvullen is ook geen probleem: een harde kustwering heeft eveneens onderhoud nodig, en zand is veel goedkoper.' De bollen van Bos hebben een straal van 2 tot 8 km uit de kust. 'Die 8 km maakt

ook ander ruimtegebruik mogelijk. Het is een gebied met een totale omvang van het Groene Hart.' De lengte van de bollenkust beslaat 150 km. 'Uiteraard is er veel zand nodig, veel meer dan met de huidige suppletie. Ik kom op 7,5 miljard m³ in een eeuw, wat 150 miljoen euro per jaar kost.' Met de opbrengsten van recreatie en woningbouw op de zandbollen ('wel op voldoende afstand van de zee') zijn volgens Bos de kosten grotendeels te dekken.

Dankzij de baaien kunnen de huidige badplaatsen hun functie behouden. De openingen zorgen ook voor afvoer van het rivierwater en toegang tot de havens. 'En bij het Haringvliet ontstaat een gigantische brakwaterkreek.' Het betekent wel dat de kuststeden, en ook de zeetoegangen onbeschermd blijven. 'Ophogen van de badplaatsen is noodzakelijk', geeft Bos toe. 'maar daar is bij een flinke zeespiegelstijging toch niet aan te ontkomen.' Vanwege de beschermde rigging van de baaien zullen ze volgens de civieltechnicus wel verzanden. 'Het is een onvermijdelijk effect van ingrijpen in de kust. Je moet dus regelmatig baggeren, maar dat zand is elders nuttig te gebruiken. Het zou mooi zijn de baaien zo in te richten dat het water helder is. De toeristenbranche zal daarvan profiteren.'

De kustversterking waar het milieuplanbureau MNP aan denkt, lijkt wel een beetje op de Nieuwe Hollandse Zeelinie, maar dan zonder de baaien. 'We overwegen een zandvlakte van 5 m hoog, tot 5 km in zee', vertelt Ligtfoot van het MNP. 'Dat kost tachtig miljard euro, maar ook in dit model zijn grote bedragen terug te verdienen met woningen en recreatie,' Zo'n zandwal betekent het opgeven van de huidige badplaatsen. 'Binnenwateren kunnen uitkomst bieden om iets van de boulevard te behouden.'

Door 25 km uit de kust te gaan laat de Haakse Zeedijk de badplaatsen grotendeels intact. 'De golfslag langs de huidige kust neemt wel af, en bedraagt dan maximaal 1 tot 1,5 irf, geeft Van den Haak aan. 'Ook krijgt zoet water een grotere invloed. Maar verder verandert er weinig.' De dijk, 2 tot 3 km breed en 165

km lang, komt te liggen op een plek waar de Noordzee 20 m diep is. Daarvoor is ruim 16 miljard m³ zand nodig. De totale aanlegkosten inclusief kunstwerken worden op 35 miljard euro begroot, wat veel minder is dan die voor de verbrede kust van het MNP. 'Dat komt omdat wij het zand voor een kwart van de prijs kunnen suppleren, voor 0,75 eurocent per kuub', verklaart Van den Haak, zelf jarenlang werkzaam bij het baggerbedrijf Van Hattum en Blankevoort. Als het begin van de zanddijk er eenmaal ligt kunnen baggerschepen in de luwte hun suppletiewerk doen. 'Ze halen het materiaal direct achter de dijk vandaan, waardoor er geen transportkosten zijn. Een geul van 70 m diep en 4 km breed levert voldoende zand.' Twee bedijkte kanalen houden de havens toegankelijk. 'Daar zijn dan wel pieren en sluizen nodig.' Vanwege de positie van de Rotterdamse haven moet er een Maasvlakte komen met directe toegang tot zee. De aanlegkosten zijn ook hier terug te verdienen met onder meer woningen en recreatie op het enorm oppervlak aan beschermd gebied dat achter de zeedijk ontstaat.

WADDEN

Van den Haak en Stokman behoren tot de weinigen die zich duidelijk uitspreken over de toekomst van de Waddenzee. 'Om toch nog zo veel mogelijk van het Waddenkarakter in stand te houden komt de zeedijk niet op grote afstand, maar tussen de eilanden te liggen. Spuisluizen, en bij hoger zeeniveau pompen, moeten zorgen voor voldoende verversing van het water, waarbij het wantij, de plaats waar twee vloedstromen bijeenkomen die essentieel is voor het ontstaan van zandplaten, kunstmatig in stand wordt gehouden.'

Ook de Friese ingenieur Boorsma noemt afsluiting van de Waddenzee bij zeespiegelstijging onvermijdelijk. 'Een gesloten kustlijn is het meest veilig en efficiënt.' Hij is somber over de toekomst van de Waddenzee als natuurgebied. 'Als we niets doen, verzuipt die toch.' Daarom wil hij voor de Hollandse kust een nieuwe Waddenzee creëren door een rij eilanden op 10 km

afstand aan te leggen. Die eilanden dragen volgens Boorsma ook bij aan de veiligheid. 'Je haalt daarmee de golfoploop vanaf zee weg, dat scheelt al gauw een waterhoogte van 2 m.'

Dat effect op de golven is voor kustdeskundige Mulder van het RIKZ nu juist de reden om geen eilanden te willen. 'De zee heeft niet alleen vernietigende, maar ook opbouwende kracht. Van het sediment waarmee Nederland is opgebouwd, is 80 % afkomstig uit zee. Met een rij eilanden in zee degradeer je de duinen, de belangrijkste verdedigingslinie van onze kust.' Mulder vertrouwt daarom vooral op plannen die de opbouwende kracht van de zee benutten, en wil ze actief een handje helpen. 'Eeuwen geleden had de zee alle ruimte om sediment op het land af te zetten, nu kan dat niet meer. Daarom moeten we het zelf gaan doen.' Hij denkt dat de veiligheid van Nederland het beste is gediend met ophoging van de lager gelegen gebieden. 'Als ergens een nieuwe wijk komt, gaat eerst 50 cm zand op de bodem. Waarom maken we daar geen 5 of 6 m van?' Materiaal is er volgens hem genoeg. 'De Noordzee is een grote bak met een honderden meters dikke laag zand. Dat is uniek, het is het witte goud dat we moeten uitbaten. Een plak van 2 m van het Nederlandse continentale plat is voldoende om heel laaggelegen Nederland 5 m op te hogen.'

Het is een nieuw geluid in het waterstaatkundig denken. 'Bij de discussie over de gevolgen van zeespiegelstijging neemt niemand de zandbak in de Noordzee mee, waardoor de helft van de oplossing uit zicht verdwijnt', stelt Mulder. Als voorbeeld noemt hij de bebouwing van de Zuidplaspolder bij Gouda. Die is omstreden omdat het gebied 6 m onder de zeespiegel ligt. 'De waterschappen garanderen een veiligheidsnorm van een op tienduizend. Maar wat zegt dat de bewoners? Eerst de grond ophogen met 6 m zand of meer en pas dan de huizen erop, zal iedereen als een stuk veiliger ervaren. De ondergrondse infrastructuur is tijdens het ophogen in een keer aan te leggen, dat bespaart enorm.' Uiteraard biedt ophoging geen soulaas voor bestaand bebouwd gebied. 'De komende decennia komt er heel veel nieuwbouw bij,

dus daar is mee te beginnen. Herstructureringswijken bieden ook mogelijkheden. Rond de oude stadskernen zijn dijkenherstel van de oude stadswallen of een ring van opgehoogde stadsdelen mogelijk.'

RIVIEREN

Wat tot nu toe bij de discussie ook uit het zicht verdween, is wat de zeespiegelstijging betekent voor de rivieren. Uit de studie van het MNP is inmiddels duidelijk dat die het grootste veiligheidsprobleem vormen. Elke meter zeespiegelstijging betekent dat het rivierpeil in de benedenloop even hard mee stijgt, terwijl de afvoer stagneert door geringer verval. 'Zelfs bij een zeespiegelstijging van 2 m komt het water in de Rijn en de Maas al op veel plekken boven de dijk uit', zegt dr. Jaap Kwadijk, hydroloog van het Waterloopkundig Laboratorium. 'En dat is niet het enige: het karakter van de rivieren in de benedenloop verandert. Over een veel groter gebied, bij een stijging van de zeespiegel met 6 m zelfs tot aan Nijmegen, krijgen de waterbeheerders de Noordzee voor de deur, inclusief getijdenverschillen.' Een van de consequenties daarvan is dat een aanpak als Ruimte voor de Rivier op de langere termijn geen enkele zin heeft. 'Het wateraanbod vanuit zee is gigantisch', geeft Kwadijk aan. 'Het verhogen en robuuster maken van de rivierdijken is noodzakelijk. Maar in bijvoorbeeld het Rijnmondgebied is daar eigenlijk geen ruimte voor.'

Ook in de bovenloop van de rivieren moeten de dijken omhoog. Niet vanwege extra afvoer vanaf het Duitse achterland, maar omdat het verval geringer wordt en het water zich ophoopt. 'Bij forse zeespiegelstijging kan een moment komen waarop het verstandiger is de zeegaten af te sluiten en van Nederland een grote polder te maken met een gecontroleerde water stand', aldus Ligtfoot van het MNP.

Dat is precies wat Van den Haak en Stokman met hun Haakse Zeedijk voor ogen hebben. 'Wij controleren de waterstand achter de zeedijk met gemalen. De

zeespiegelstijging heeft dan geen enkele invloed meer op het peil in de rivieren', aldus de ingenieurs. Voor deze waterstaatkundige coup is een pompcapaciteit van 4000 m³/s nodig, een veelvoud van het gemaal bij IJmuiden dat met 280 m³/s al het grootste van Europa is. Het vermogen van de pompen moet gezamenlijk 1,5 GW bedragen, wat gelijk staat aan twee grote elektriciteitscentrales. Beide ingenieurs zijn zich terdege bewust van de omvang van hun megaproject. 'Daarom combineren we waterafvoer met energieopwekking en gebruiken we een gecombineerde turbinepompgenerator', geeft Stokman aan. Achter de zeedijk komen energiemeren van 100 m diep, 4 km breed en 10 km lang. Die zijn groot genoeg om bij normale afvoer een etmaal lang het rivierwater op te vangen. 'De meren functioneren als een energiebuffer. Overdag, wanneer ze vollopen, wekt de turbine-pompgenerator met het vallende water elektriciteit op. 's Avonds, wanneer het net een overcapaciteit aan elektriciteit heeft en de prijs dus laag is, wisselen de turbinepompgeneratoren van functie en gaat al het rivierwater van dat etmaal de zee in.'

Het klinkt fantastisch: beheersing van het waterpeil combineren met energie uit de rivierafvoer, maar dat is tegelijkertijd ook de makke van de Haakse Zeedijk. 'Het is wel erg veel in een keer', vindt Bos, zelf toch ook niet vies van 'wilde' plannen. 'Elk megaplan is heel duur', oordeelt Mulder van het RIKZ. Beiden verwachten niet dat Van den Haak en Stokman ooit de politieke handen voor de Haakse Zeedijk op elkaar krijgen. 'Je moet een aanpak kiezen waarbij je grote dingen stap voor stap kunt bereiken, zodat je geleidelijk kunt meegroeien met de zeespiegelstijging', stelt Mulder. 'Dat doen we met zandsuppletie. Als het nodig is, deponeren we een onsje meer. De onzekerheden over zeespiegelstijging zijn zo groot dat een grote sprong je alleen maar in het ongewisse brengt over welk probleem je nu precies wilt oplossen.' Bos denkt er net zo over. 'Je moet ergens beginnen, bijvoorbeeld met zandversteving van de kust bij Delfland. Later is dat dan ook elders te doen. De hele kust in een keer aanpakken lukt nooit.'

De waterstaatgeschiedenis van Nederland geeft beiden

gelijk: de Afsluitdijk en de Deltawerken leren dat grote sprongen in het waterstaatkundig systeem alleen na een ramp zijn te maken.

MOTOR VAN ZAND

Op een aantal plekken langs de Nederlandse kust is, door hogere golfbelasting en klimaateffecten, op korte termijn versteviging nodig. Dat geldt bijvoorbeeld voor de Hondsbossche en Pettemer Zeewering die volgens de normen niet voldoende bestand is tegen golfoverslag, en voor de smalle duinenrij bij plaatsen als Callantsoog, Noordwijk, Ter Heijde en Breskens. Voor zover er al plannen bestaan, is de Zeeuwse stad Breskens de enige die de kust aan de landzijde gaat versterken. In de Oud-Breskenspolders komt een extra rij duinen die de komende tweehonderd jaar de kustveiligheid moet garanderen. Elders gaat zandsuppletie vanuit zee het werk doen.

Zo krijgt de Hondsbossche en Pettemer Zeewering een zanddrempel, die de golfkracht op het dijklichaam moet dempen. Bij de Delflandse kust worden de duinen zeewaarts verbreed en de vooroever met zand versterkt. Los hiervan zijn er ideeën over een zandmotor. Dat is een mega-aanvulling in de orde van 10 tot 20 miljoen m³ zand, dat ergens, bijvoorbeeld 4 a 5 km uit de kust, wordt gesuppleerd en vervolgens dankzij de dynamiek van de golven de kust versterkt, iets wat bij die hoeveelheden zo'n 150 jaar duurt. Als mogelijke locatie van een proef is de kust bij Ter Heijde in het vizier. 'In principe hebben we groen licht om ergens voor de Delflandse kust met dit unieke experiment te starten', vertelt dr. Jan Mulder van het Rijks Instituut voor Kust en Zee (RIKZ). 'We moeten nog onderzoeken wat de beste plek is om het zand te deponeren, of we de suppletie in een keer of in stappen doen, en of er andere partijen zijn die de nieuwe mogelijkheden voor natuur en recreatie willen mee-financieren.'

SCHEEP RIF BIJ SCHEVENINGEN

Scheveningen is een voorbeeld van een badplaats waar het vrijwel ondoenlijk is grootschalige kustversterking uit te voeren zonder het bijzondere karakter van het Haagse stadsdeel aan te tasten. Voor de komende decennia houden nieuwe damwanden de kustverdediging op peil, maar in de toekomst kan een rif wel eens een aantrekkelijk alternatief vormen om het Kurhaus en de boulevard in stand te houden. Het idee is afkomstig van ingenieursbureau Royal Haskoning, dat veel ervaring heeft opgedaan met het ontwerp van een kunstrijf rond de bij Dubai in aanleg zijnde eilandengroep The World. 'Daar fungeert het rif als primaire kustverdediging, in Nederland moet het vooral de kracht van de golven bij zware stormen dempen', legt ing. Sjaak Jacobse, projectleider van de adviesgroep Kust en Rivieren van het ingenieursbureau uit. Royal Haskoning presenteerde vorig jaar een plan met een parelsnoer van riffen langs de hele Nederlandse kust. Het project waaraan Jacobse nu werkt, is een stuk bescheidener.

'Het is een proeftuin, waarin we het effect van een rif op de kustbescherming in de praktijk kunnen toetsen.' De golfbreker, gemaakt van steenblokken zo groot als die van de zeedammen bij IJmuiden, komt op enkele kilometers uit de kust, met een kruin van circa 10 m op een paar meter onder de zeespiegel. 'Het rif is geen remedie tegen zeespiegelstijging', geeft Jacobse aan.

Om de dynamiek van de zee, die zo belangrijk is voor de duinvorming, niet te verstoren wordt het rif ontworpen als een reeks lamellen. 'De openingen moet de normale golfwerking, die vooral uit zuidwestelijke richting komt, zo veel mogelijk ongemoeid laten.' De onderwaterdammen komen onder een dusdanige hoek te liggen 'dat ze de golven van zware noordwesterstormen tot aanvaardbare proporties reduceren'. Of het kunstrijf er ooit komt, is nog niet zeker. 'We zitten nu in de verkenningsfase', geeft Jacobse aan.

OPENSCHUREN EN OPBORRELEN

Een hoger zeeniveau leidt aan de landzijde tot een

grotere opwaartse druk op het grondwater. Vandaar de vrees dat zeespiegelstijging kan leiden tot forse toename van de kwel, het spontaan opborrelen van water. Onderzoek van TNO en het Waterloopkundig Laboratorium wijst uit dat het effect meevalt. 'Het is logischerwijs het grootst vlak langs de kust en de randen van de IJsselmeerpolders', zegt dr. Jaap Kwadijk, hydroloog van het Waterloopkundig Laboratorium. 'Maar wat is groot? Vergeleken met de wateroverlast bij een stortbui valt het allemaal wel mee. Het bestaande drainagesysteem is op de meeste plaatsen ruim voldoende om het kwelwater weg te werken.' Een hogere zeespiegel leidt ook tot een grotere druk op de deklagen die geen water doorlaten. 'Die lagen kunnen openscheuren, waardoor een gebied plotseling onder water komt te staan', geeft Kwadijk aan. Vooral bouwactiviteiten verstoren die deklagen. 'Een spraakmakend voorbeeld is de nieuwbouwwijk Cetsewoud bij Nieuw Vennep. Het doorboren van de deklaag leidde ertoe dat de kruipruimtes van de nieuwe woningen onder water liepen.' In welke mate zeespiegelstijging leidt tot het openbreken van de deklagen is volgens Kwadijk nog onduidelijk. 'De eerste berekeningen zijn geruststellend', laat hij weten. 'Maar het is vooral een lokaal verschijnsel, en tot nu toe gebruikte modellen zijn niet in staat om dat op voldoende detailniveau te simuleren.'

Laag Nederland is sinds de laatste ijstijd, zo'n 11.500 jaar geleden, vooral gevormd door afzetting van zand en slib vanaf zee. Door een jaarlijkse sedimentatie van gemiddeld 13 miljoen m³ is gaandeweg een laag van 10 tot 25 m dikte ontstaan. 'Sinds de aanleg van dijken en het afsluiten van de zee is dat proces stopgezet', zegt dr. Jan Mulder, senior kustspecialist bij het Rijks Instituut voor Kust en Zee (RIKZ). 'Drainage en ontginning maakten bovendien een eind aan de veenvorming en leidden tot inklinking van de bodem.' Uit berekeningen van TNO Bouw en Ondergrond blijkt dat het bedijkte gebied, met een oppervlakte van 20 000 km², het afgelopen millennium 13,3 miljard m³ sediment is misgelopen. Dat staat gelijk aan een deklaag van gemiddeld 65 cm. 'Herstel van het natuurlijke afzettingsproces door de zee is niet meer

mogelijk, dus we zullen het land nu kunstmatig moeten ophogen', stelt Mulder. Uit geologisch onderzoek blijkt dat de natuurlijke afzetting van sediment de zeespiegelstijging die het gevolg was van het smelten van het landijs, niet kon bijhouden. Tot zesduizend jaar geleden was die stijging meer dan 60 cm per eeuw en moest de kustlijn steeds verder terugwijken. Pas daarna ontstond een min of meer stabiele situatie en groeide het land met het zeeniveau mee.

STAPSGEWIJZE SUPERDIJK

Net als Nederland heeft het laag gelegen gebied van Japan te maken met overstromingsrisico, en nog sterker dan hier concentreren de economische activiteiten zich in de weinige delta's en polders waarover het Aziatische land - vooral een berggebied - beschikt. Om zich beter tegen de oprukkende zee te beschermen zijn de Japanners overgegaan tot de bouw van superdijken, hoge en brede zeeweringen met een extreem flauw binnentalud (1:30). Anders dan in Nederland staan in Japan ook huizen vlak achter de top van de dijk. Die gebouwen geven de dijk extra stevigheid, wat het risico dat de zee een bres in de waterkering slaat, veel kleiner maakt. Ook wordt de ruimte die de dijk in beslag neemt, goed benut, met een prachtig uitzicht op zee.

In Nederland zou de superdijk een uitkomst zijn voor een stad als Den Helder. Een versterking van de zeedijk aldaar is de komende decennia nodig, waardoor de woningen achter een soort Atlantikwall (de verdedigingslinie van de Duitsers in de Tweede Wereldoorlog) komen te staan. Aanleg van een superwaterkering houdt wel sloop van de bestaande woningen in, maar die zijn eventueel later op de dijk zijn te herbouwen. Het creëert een oplossing waarmee de stad honderden jaren verder kan.

De aanleg van de superdijken hoeft niet in een keer te gebeuren, zoals in Nederland met het op deltahoogte brengen van alle zeewaterkeringen na de watersnoodramp in 1953. De Japanners doen het stapsgewijs, net zoals het uitkomt. Soms worden

stukjes oude dijk van hooguit 200 tot 300 m
omgebouwd.