



Boven: overstromde straat in North Ruimveldt.
Onder: een markkraampje, achtergelaten tijdens een plotselinge overstroming.



FOTO'S: ASSANKE KOEDAM

het centrum. Omdat veel mensen hier aangewezen zijn op het openbaar vervoer dat dikwijls uitvalt door de wateroverlast, kunnen we niet naar ons werk of naar school.' In Subryanville bezitten mensen vaak een eigen auto, waardoor zij zich makkelijker in het overstromingswater kunnen voortbewegen.

Veerkracht

Pogingen om de kwetsbaarheid voor overstromingen te verminderen zijn vaak individuele acties op gezinsniveau. Velen hebben het land rondom hun huis opgehoogd met cement of aarde. Wanneer de benedenverdieping in gebruik is, leggen mensen een groot betonblok voor hun deur, of ze verhogen de vloer met cement. Anderen klagen dat 'doordat onze burens hun land met cement hebben verhoogd, al het water naar ons toe stroomt'. En als het ene huishouden het stukje drainagekanaal voor de deur schoonhoudt, maar de burens dat nalaten, heeft het eigenlijk ook

weinig zin. Op buurtniveau worden nauwelijks acties ondernomen. Veel gemeenschapsorganisaties zijn informeel, met onregelmatige bijeenkomsten en onduidelijke doelen. In Subryanville beperkt de collectieve participatie zich hoofdzakelijk tot een groepje wijkbewoners dat barbecues organiseert. 'Ik heb weinig vertrouwen in gemeenschappelijke organisaties omdat na een paar keer toch niemand meer meedoet' en 'ik heb helemaal geen tijd omdat ik moet werken en voor mijn kinderen moet zorgen'.

Als er al collectief actie wordt ondernomen, is deze vooral reactief. Mensen helpen elkaar, zoals in 2005, toen 'de verschillen tussen rijk en arm compleet vervaagden, omdat iedereen getroffen werd. Sociale barrières waren ineens verdwenen; rijk en arm leefde hier in de buurt met elkaar onder één dak'. Anderen hielpen elkaar met het sjouwen van zandzakken en huisraad en deelden eten, drinken en transport. Na een overstroming richten bewoners

zich echter weer snel op het eigen huishouden om de schade te repareren en de boel schoon te maken.

In Georgetown zijn dus niet alleen huishoudens met lage inkomens kwetsbaar voor overstromingen; iederéén heeft er mee te maken. Toch bestaat er weinig samenwerking tussen huishoudens op buurtniveau en is het aangaan van allianties met bijvoorbeeld de lokale overheid in Georgetown nog onontgonnen gebied.

In het huidige debat over de capaciteit van steden om zich aan klimaatverandering aan te passen, speelt samenwerking tussen verschillende actoren een belangrijke rol. Huishoudens zijn zelf belanghebbenden als het gaat om het reduceren van overstromingsgevaar. Daarnaast wordt de veerkracht van een stad bij een plotselinge schok of klimaatverandering op de lange termijn verhoogd als men in staat is snel te schakelen tussen verschillende actoren. Als één systeem (de lokale overheid) uitvalt, kan een sterke gemeenschap dit opvangen. In de context van klimaatverandering zullen deze punten voor stadsbesturen steeds belangrijker worden. Meer onderzoek is nodig naar hoe steden veiliger kunnen worden, welke netwerken daarvoor nodig zijn en hoe de veerkracht voor klimaatverandering zo vergroot kan worden. •

Bronnen

- IPCC 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge.
- Koedam, A. 2009. *Flooding and Vulnerability: a Research on Experiences and Perceptions of Households in Georgetown, Guyana*. Master Thesis, University of Amsterdam.
- McGranahan, G., D. Balk & B. Anderson 2007. *The Rising Tide: Assessing the Risks of Climate Change and Human Settlements in Low Elevation Coastal Zones*. *Environment and Urbanization* 19(17): 17-37.
- Pelling, M. 2003. *The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience*. Earthscan, London.
- UNDP & ECLAC 2005. *Guyana, Socio-Economic Assessment of the Damages and Losses caused by the January-February 2005 Flooding*. Georgetown, Guyana.
- Wisner, B., P. Blaikie, T. Cannon & I. Davis 2004. *At Risk – Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*. Routledge, London.

Susanne Quartel & Gerben Ruessink
Movares, Utrecht & Departement Fysische Geografie, Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht

waterproblemen

De kust met ARGUSogen bekeken

Onze kust moet sterk genoeg zijn om het achterland te beschermen tegen een flinke storm. Maar het strand en de onderwateroever pal voor de kust zijn dynamisch. Elke verandering wordt nauwlettend in de gaten gehouden met het ARGUS-videosysteem.

De duinen, het strand en de onderwateroever veranderen continu onder invloed van golven, stroming en menselijke ingrepen. In haar rapport *Samen werken met water* noemt de tweede Deltacommissie het absoluut noodzakelijk het gedrag van onze kust te doorgronden. We moeten het effect van menselijke ingrepen in de kustzone kunnen voorspellen om onze kust 'klimaatveilig' te maken. Kustgedrag speelt zich echter af op verschillende tijdschalen. Zo kan een zware storm de duinen en het strand afslaan in het tijdsbestek van een paar uur. Zandbanken – ruggen van zand op de onderwateroever – reageren echter nauwelijks op stormen.

Hun verplaatsingen zijn pas merkbaar over seizoenen en jaren. Dit geldt ook voor de vele menselijke ingrepen in de kustzone, en vooral voor zandsuppleties.

Het verschil in tijdschalen compliceert de metingen in de kustzone. Rijkswaterstaat maakt van de kust jaarlijks elke 200-250 m een dwarsprofiel vanaf de duintop tot onge-

Met *remote sensing* kunnen we vaker, langere tijd én goedkoper meten.

veer 1000 m uit de kust. Deze metingen zijn adequaat om langjarige trends in bodemveranderingen te bepalen. Ze worden dan ook gebruikt om de kustveiligheid te toetsen. De metingen zijn echter niet precies genoeg om het effect van individuele stormen te bepalen. De sectie Kustonderzoek binnen het Departement Fysische Geografie van de Faculteit Geowetenschappen in Utrecht verricht metingen specifiek gericht op zulke stormen. De methode is echter zo ingewikkeld en kostbaar dat je die niet kunt inzetten om langjarige trends boven water te krijgen.

De introductie van *remote sensing*-technieken maakt het mogelijk om frequenter én goedkoper vele jaren tegen lage kosten metingen uit te voeren. Het ARGUS-videosysteem is hiervan een uitstekend voorbeeld. ARGUS is een wereldwijd wetenschappelijk netwerk, geleid door de Oregon State University in de Verenigde Staten. Het omvat ongeveer twintig videosystemen, waarvan twee in Nederland, bij Egmond aan Zee en Noordwijk. Daarnaast zijn wereldwijd tientallen commerciële stations

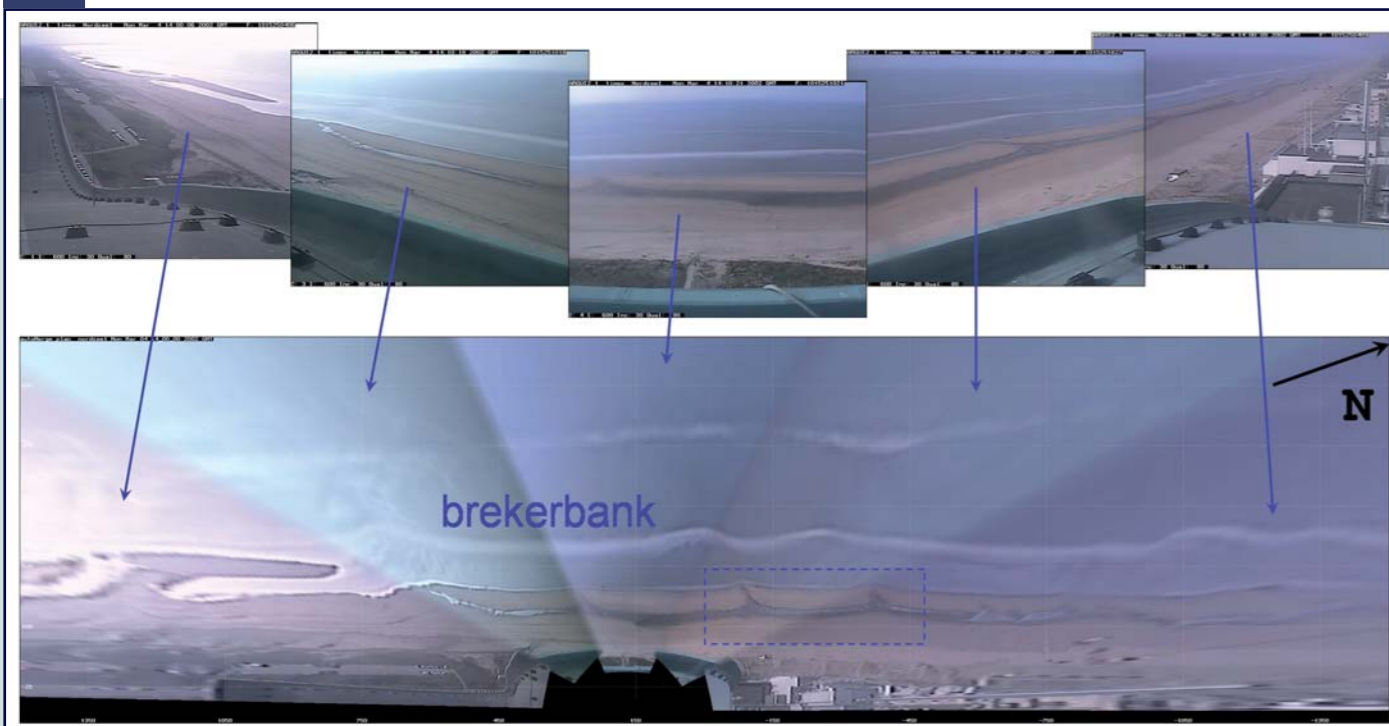
Figuur 1: ARGUS-videosysteem op het dak van hotel Huis ter Duin in Noordwijk aan Zee.



Figuur 2: De drie typen ARGUS-opnamen: (a) momentopname, (b) tijdsgemiddeld beeld en (c) variantiebeeld.



Figuur 3: Vijf schuine ARGUS-beelden samengevoegd en getransformeerd naar een bovenaanzicht van de kust over een lengte van 3 km. In het bovenaanzicht is de brekerbank zichtbaar als een witte lijn.



geïnstalleerd ter ondersteuning van het werk van lokale kustbeheerders. Binnen de ARGUS-gemeenschap nemen de Universiteit Utrecht en Deltares een vooraanstaande plaats in.

ARGUS-videosysteem

Een ARGUS-videosysteem bestaat uit vijf digitale videocamera's (figuur 1), die samen ongeveer 3 tot 6 km kust dekken. Elk uur van de dag worden er drie typen opnamen gemaakt. Allereerst een gewone foto, als momentopname van de kust (figuur 2a). Hierop zien we de afzonderlijke golven, maar ook mensen en auto's. Daarnaast worden er tien minuten lang elke halve seconde foto's gemaakt die worden samengevoegd tot een tijdgemiddeld beeld (figuur 2b). Het grote voordeel is dat de afzonderlijke golven zo tot een gladde brekerlijn worden gemiddeld. Bovendien verdwijnen bewegende mensen en voertuigen uit beeld. Tot slot worden de veranderingen over dezelfde tien minuten zichtbaar in het variantiebeeld (figuur 2c). Pixels die over tien minuten niet of nauwelijks variëren in intensiteit worden zwart, pixels met veel variatie worden wit. De drie beelden komen via internet op een centrale server terecht, waar wetenschappers en kustbeheerders ermee aan de slag kunnen. Kustveranderingen worden voornamelijk bestudeerd aan de hand van de tijdgemiddelde beelden. De schuine camera-beelden worden samengevoegd in een bovenaanzicht (figuur 3). Zo ontstaat een volledig ruimtelijk beeld van de kust.

Monitoring brekerzone

Veel remote sensing-technieken leveren geen direct bruikbare gegevens op. Zo willen kust-

beheerders gegevens over zandvolumes en de ligging van de kustlijn in plaats van een tijdgemiddeld beeld met intensiteiten. Er is dus een vertaalslag nodig. Hoe gaat dat in zijn werk?

Een belangrijk deel van het zandvolume voor de kust wordt gevormd door zandbanken die zich aan de zee kant van de laagwaterlijn bevinden. De zandbanken zelf zijn niet zichtbaar. Zandbanken tonen zich indirect in videobeelden door het breken van golven, wat vooral op de ondiepte boven de zandbanken gebeurt. Er verschijnt daar schuim op het water, zodat de brekende golven de zandbanken in de tijdgemiddelde beelden zichtbaar maken als witte lijnen (figuur 3). Zowel golven als stroming kunnen zand verplaatsen en dat leidt tot veranderingen van de bodem. De zandbanken bewegen elke dag langzaam landwaarts bij mooi weer en sneller zeewaarts tijdens stormen. Maar er kunnen lokale verschillen optreden. Daardoor verandert de zandbank: de vorm kan variëren van recht tot maanvormig. De dagelijkse zee- of landwaartse bewegingen en de vormveranderingen zijn goed te zien en te kwantificeren met de ARGUS-beelden.

Metingen over langere tijd tonen aan dat strandbanken niet bij elke storm weggevaagd worden

Het schuim van de brekende golven geeft ook informatie over de waterdiepte op een bepaalde locatie. De beeldintensiteit, ofwel de witheid in een tijdgemiddeld beeld, is een maat voor de hoeveelheid energie die de golven verliezen. Hoe witter, des te meer energieverlies en in het algemeen des te ondieper het water. De vertaling van beeldintensiteit naar diepte is echter verre van eenvoudig. De beeldintensiteit hangt namelijk ook af van de stand van de zon en de bewolking. Bovendien is de beeldintensiteit op sommige plekken zeer gering, bijvoorbeeld in de diepere delen tussen de zandbanken, de troggen. Hier breken amper golven. Omdat de omzetting van intensiteit naar waterdiepte daar dus moeilijk is, zijn de geschatte waterdieptes in de troggen onnauwkeurig. In het dagelijkse kustbeheer wordt remote sensing dan ook nog niet veel gebruikt om de waterdiepte te bepalen.

Op langere tijdschaal (jaren) schuiven de banken netto zeewaarts volgens een cyclisch patroon. De zandbank ontstaat dicht bij het strand (de laagwaterlijn) en beweegt zeewaarts tot een bepaalde afstand, waarna de golven de bank weer afbreken. Alleen al langs de Nederlandse kust is er een duidelijke variatie in de duur van die cyclus. Zo duurt een cyclus ten noorden van IJmuiden circa veertien jaar en ten zuiden van IJmuiden rond de vier jaar. Deze kennis is verkregen uit de jaarlijkse bodemhoogtemetingen van Rijkswaterstaat. Het waarom van dit cyclische patroon is nog niet helemaal duidelijk. Door het dagelijkse (tot wekelijkse) gedrag van de zandbanken met ARGUS-beelden over een langere periode te volgen, hopen we inzicht te krijgen

in het effect van de kortetermijnveranderingen op het langetermijngedrag van zandbanken.

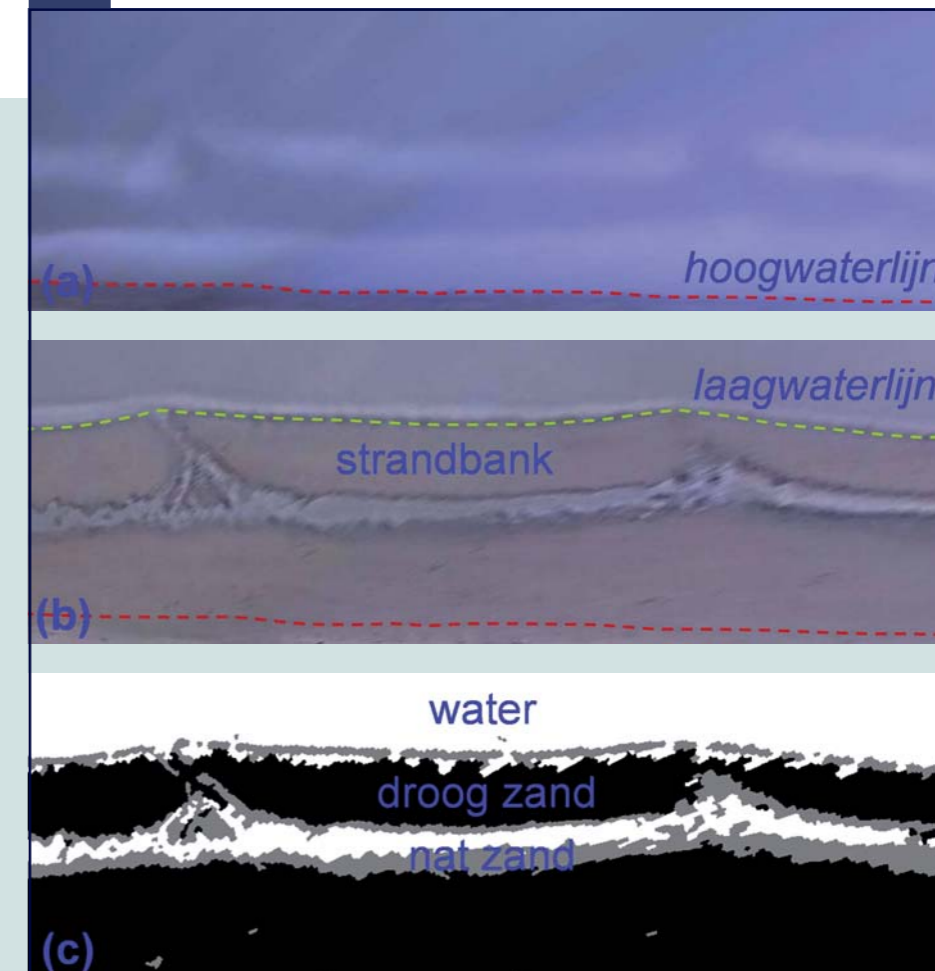
Monitoring strand

Delen van het strand staan regelmatig onder water en veranderen dan onder invloed van getij, stromingen en golven. De delen die droog blijven, staan vooral bloot aan de wind die het zand langs de kust of in de richting van de duinen vervoert. De waterlijn markeert de scheiding tussen het natte en het droge strand. De kleurverschillen van het natte en het droge strand zijn zichtbaar op de ARGUS-beelden (figuur 4a en b) waardoor de (horizontale) ligging van de waterlijn bepaald kan worden. Aan een waterlijn kunnen we een hoogte ten op zichte van NAP koppelen, omdat aan de Nederlandse kust op verschillende plekken elk uur getijgegevens gemeten worden. De waterlijn in een ARGUS-beeld is dus een hoogtelijn. Met het getij schuift de waterlijn het strand op en af. Door voor elk uur een waterlijn te bepalen, ontstaat een verzameling van hoogtelijnen, één voor elk uur. Met al deze hoogtelijnen kunnen we het volume van het strand bepalen. Wanneer we de waterlijnen op verschillende dagen bepalen, worden veranderingen in de bodemligging en het zandvolume van het strand waarneembaar.

De ARGUS-beelden van laagwater laten – eveneens door kleurverschillen – de positie en de vorm van de zandbanken op het strand zien. De zandbanken op het strand draineren goed bij laagwater door hun relatief hogere ligging en zijn zichtbaar als een vlakte van droog zand (figuur 4b). De omgeving bestaat dan uit nat zand en water. Door de ARGUS-beelden in te delen op basis van de samenstelling van het grondoppervlak in droog zand, nat zand en water (figuur 4c) zijn de dagelijkse veranderingen van de strandbanken vast te stellen. De strandbank beweegt net als de zandbanken op de vooroever met mooi weer landwaarts, maar kan met stormen worden weggevaagd. Een paar dagen na een storm ontstaat weer een nieuwe strandbank bij de laagwaterlijn.

Metingen over langere tijd maken duidelijk dat, anders dan handboeken beweren, strandbanken niet bij elke storm weggevaagd worden. Dat gebeurt alleen als stormen langer dan 30 uur aanhouden en de golfhoogte gemiddeld hoger is dan 2 meter en de waterstandverhoging meer dan een halve meter is.

Figuur 4: Zoom (500 m kustlängs, 165 m kustdwars) van het ARGUS-beeld genomen tijdens hoogwater (a) en laagwater (b) met de waterlijnen en strandbank. Het laagwaterbeeld is vervolgens geïntegreerd (c).



Bovendien blijken de hoogtelijnen rond laagwater (het onderste deel van het strand) vrij snel weer dezelfde positie te hebben als vóór de storm. Maar bij hoogtelijnen op het hogere deel van het strand kan dat soms maanden duren. Hoe deze dagelijkse veranderingen van strandbanken en het strand bijdragen aan langetermijnontwikkeling van de kust zal nog moeten blijken uit verder onderzoek.

Menselijk ingrijpen

Er bestaan nog veel onduidelijkheden over de natuurlijke ontwikkeling van de kustzone. Menselijk ingrijpen in de vorm van zandsuppleties op het strand en onder water blijkt noodzakelijk om de veiligheid van de Nederlandse kust duurzaam te handhaven. Het ARGUS-videosysteem biedt de mogelijkheid de effectiviteit van de suppleties te volgen en

kennis te ontwikkelen over zulke ingrepen. Zo heeft het ARGUS-videosysteem bij Noordwijk laten zien dat de suppletie daar de langjarige, zeewaartse migratie van zandbanken gestopt heeft. Of dat ook een veiligere kust heeft opgeleverd is echter de vraag. De zandbanken verderop langs de kust verplaatsten zich naar zee, waardoor ze op een gegeven moment losbraken van de stabiele zandbanken bij Noordwijk. Op de ARGUS-beelden zijn allerlei zandbankpatronen te zien die wijzen op sterke, zeewaarts gerichte 'muisstromingen'. Deze zijn vooral gevaarlijk voor zwemmers. Het is dus duidelijk dat een suppletie het natuurlijke gedrag van de kust sterk verstoort. Het is nu de uitdaging om de enorme schat aan gegevens die het ARGUS-videosysteem oplevert te integreren met voorspelmodellen om de veiligheid van onze kust te toetsen en het effect van additionele maatregelen in te schatten. Alleen zo kunnen we ook in de toekomst van onze kust blijven genieten. •

Nuttige websites

- <http://ci.wrl.unsw.edu.au/index.php>
- <http://argus-data.wldelft.nl/index.html>
- <http://cil-www.coas.oregonstate.edu/>
- www.coastalresearch.nl

De ARGUSbeelden laten zien dat zandsuppletie het natuurlijke gedrag van de kust danig verstoort