TU Delft

Delft University of Technology

Over de grens van water en land

Aarninkhof, Stefan

Publication date
2017

Document Version
Final published version

Citation (APA)
Aarninkhof, S. (2017). *Over de grens van water en land*. Delft University of Technology.

Important note
To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright
Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy
Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

This work is downloaded from Delft University of Technology.
For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to a maximum of 10.

Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen

Prof. dr. ir. S.G.J. Aarninkhof

Over de grens van water en land



TU Delft

Intreerede, 10 Mei 2017

Over de grens van water en land

Intreerede

Uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Kustwaterbouwkunde aan de Technische Universiteit Delft

Op woensdag 10 mei 2017

door

Prof.dr.ir. S.G.J. Aarninkhof

Mijnheer de Rector Magnificus, leden van het College van Bestuur, Collegae hoogleraren en andere leden van de universitaire gemeenschap, beste familieleden en vrienden, zeer gewaardeerde toehoorders, dames en heren,

De kust laat maar weinig mensen onberoerd. Velen van u zullen met weemoed terugdenken aan zomerse familie-uitjes naar het strand, of koesteren de rust en de ruimte bij een wandeling in het avondlicht. Plannen voor bebouwing, economische activiteiten of anderszins ingrepen in de kustzone kunnen steevast rekenen op een stevig debat tussen voor- en tegenstanders. Nederlandse waterbouwers voelen een tinteling van trots wanneer ze nieuw land boven water brengen in verre, exotische oorden - en daarmee de horizon van landen letterlijk verleggen. Diezelfde zee kent echter ook een veel grimmiger gezicht, tijdens een stormvloed waarbij golven op de kust beuken en de veiligheid van het land op het spel staat[1]. Al deze aspecten – veiligheid tegen overstromingen, infrastructuur, natuurontwikkeling, recreatie, ruimtelijke ordening – spelen een rol binnen het vakgebied van de kustwaterbouwkunde.

Volgens de Coastal Engineering Manual van de US Army Corps of Engineers (USACE, 2002) begint de historie van de kustwaterbouwkunde in de klassieke oudheid, in de landen rond de Middellandse Zee. Drijfveer hierachter is de opkomst van de scheepvaart, rond 3500 voor Christus. In eerste instantie betrof het de ambachtelijke bouw van aanlegplaatsen, golfbrekers en andere haveninfrastructuur. De haven van Alexandrië, gebouwd rond 1800 voor Christus met een capaciteit voor 400 schepen, was waarschijnlijk de meest geavanceerde van zijn tijd. In latere tijden voerden de Romeinen talloze innovaties door in havenontwerp, waaronder het bouwen van muren onder water. Door de combinatie van hoge welvaart en uitstekende infrastructuur ontstond een nieuw fenomeen: strandrecreatie. Dit leidde tot een ongekende bloei van de badplaats Baiae in de Golf van Napels.

Met het toenemen van de bevolking in kustgebieden en de behoefte aan grond voor landbouw werd bescherming tegen overstromingen een steeds belangrijker drijfveer voor de ontwikkeling van de kustwaterbouwkunde. Grote overstromingen, zoals de Zuiderzeevloed en de Watersnoodramp (Fig. 1a) in Nederland maar ook de tsunami in Zuid-Oost Azie en orkaan Katrina in de Verenigde Staten veranderen blijvend de kustlijn. Ze vormen de opmaat voor grote investeringen in dijken en waterkeringen. Deze geven een enorme boost aan het kustonderzoek.

1 Om te ervaren wat dit voor mensen betekent raad ik u aan een bezoek te brengen aan het indrukwekkende Watersnoodmuseum in het Zeeuwse Ouwerkerk.

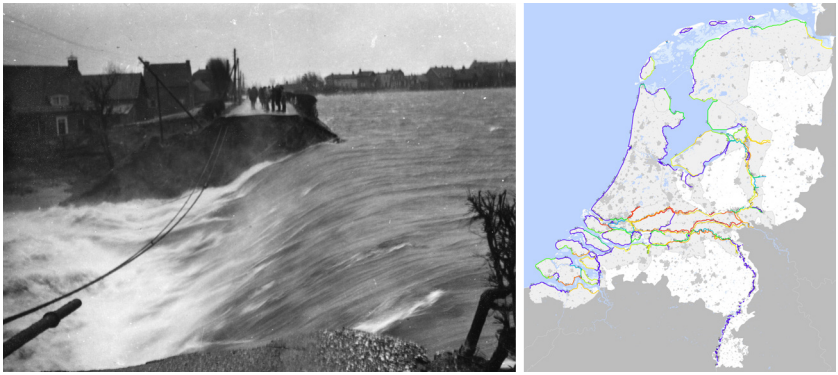


Fig. 1: Dijkdoorbraak tijdens Watersnoodramp in 1953 (Bron: Beeldbank Rijkswaterstaat, links) en scope van het Nederlandse Hoogwaterbeschermings-programma 2017-2022 (rechts)

Dit alles speelt bij uitstek in Nederland, waar de kust met haar duinen, dammen en dijken de laaggelegen polders beschermt tegen overstroming. Het merendeel van de bevolking woont en werkt in de Randstad, de economische motor van Nederland – en dit belang neemt alleen maar toe. Het garanderen van de kustveiligheid heeft dan ook de hoogste prioriteit binnen het Nederlandse kustbeheer. Tegelijkertijd heeft het beheer een integraal karakter: Naast kustveiligheid beoogt het ook aanvullende doelen zoals wonen, natuur en recreatie te dienen. Om de veiligheid van het land te borgen toetst de overheid elke zes jaar de sterkte van dijken en duinen voor de maatgevende stormcondities.

In de periode 2011-2016 zijn alle primaire keringen getoetst. De uitkomst daarvan geeft de verwachte opgave van het Hoogwater Beschermingsprogramma 2017-2022 (Fig. 1b). Deze opgave is tot stand gekomen door toepassing van de vernieuwde veiligheidsstandaarden waarbij niet alleen rekening is gehouden met de kans op bezwijken van een kering, maar ook met de gevolgen daarvan. Alle keringen in blauw zijn beoordeeld als veilig. Onwillekeurig dringt de vraag zich op: Is de kust klaar?

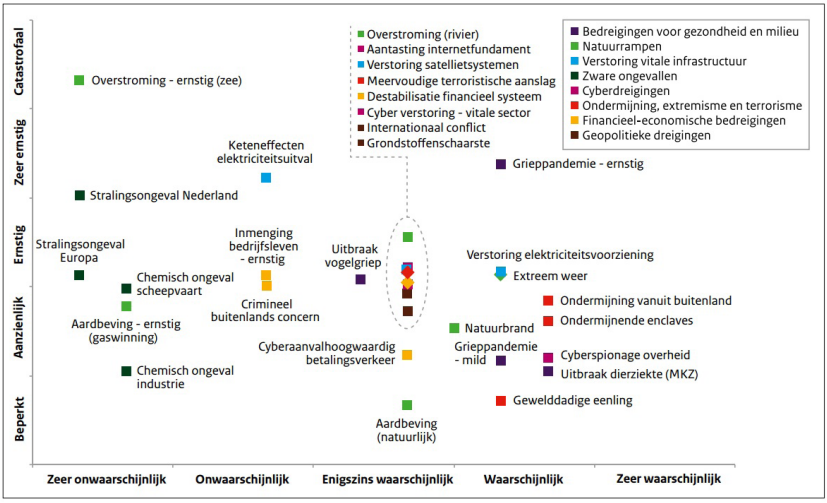


Fig.2: Risicodiagram voor verschillende rampscenario's (Ministerie van Veiligheid en Justitie, 2017)

Het antwoord op deze vraag laat zich raden: Integendeel! Een recente analyse door de Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid laat zien dat van alle mogelijke rampscenario's die ons land kunnen treffen een overstroming uit zee de meest catastrofale gevolgen zal hebben (Fig. 2). Gezien het ontwrichtende effect van een dergelijke ramp op de samenleving moet deze kost wat kost voorkomen worden. Dit verdient onze voortdurende aandacht, juist omdat onze kust van *nature* erosief is en dus onderhoud vergt in de vorm van zandsuppleties (Fig. 3). Op dit moment wordt zo'n 12 miljoen kubieke meter zand per jaar aangebracht, maar dit volume zal naar verwachting toenemen. Al met al reden te over om de aandacht voor de kust niet te verslappen, hier kom ik later in deze rede op terug.



Fig. 3: Kustsuppletie Zoutelande (NL, links) en landaanwinning Bahrain (rechts)

Wereldwijd is sprake van een concentratie van de bevolking in kwetsbare, laag gelegen gebieden. Dit legt grote druk op de beschikbare ruimte en het gebruik van natuurlijke bronnen. Door klimaatverandering en menselijke ingrepen neemt de druk op delta's verder toe. Een stad als Jakarta heeft als gevolg van grondwateronttrekking te kampen met een bodemdaling in de orde van 10 cm per jaar, waardoor de gevolgen van overstromingen hand over hand toenemen. Naast investeringen in veiligheid is wereldwijd blijvend behoefte aan nieuwe waterbouwkundige infrastructuur zoals havens, vaarwegen en grootschalige landaanwinningen. Daarbij worden steeds hogere milieueisen gesteld aan ontwerp en uitvoering, waardoor de complexiteit toeneemt. De grote uitdagingen van de toekomst liggen in het ontwikkelen en implementeren van moderne, duurzame oplossingen voor dit soort waterbouwkundige vraagstukken.

Deze rede verhaalt over de grens van water en land. Over de fascinerende dynamiek van de zone waar golven, getij en sediment elkaar ontmoeten en de condities scheppen voor de ontwikkeling van adembenemende kustlandschappen. En over het werk van ingenieurs die waterbouwkundige infrastructuur ontwikkelen en aanleggen om te voorzien in allerhande maatschappelijke behoeftes. Een verhaal kortom over de uitdagingen en kansen voor de leerstoel Kustwaterbouwkunde aan de TU Delft, nu en in de toekomst.

De context van de moderne kustwaterbouwer

Onlangs was ik op Terschelling voor een bezoek aan de Boschplaat met vijf vakgenoten van divers pluimage. Een karrespoor van 10 km brengt je naar een van de meest afgelegen plekken van Nederland. Al stuiterend op de fiets ontvouwt zich een adembenemend landschap van een bijna on-Nederlandse ongereptheid. Het gebied bevat alle elementen die karakteristiek zijn voor onze Waddeneilanden: stuifduinen, een indrukwekkend washover complex, brede stranden, grote zandplaten op de delta, sterke erosie op de oostpunt en uitgestrekte kwelders die verruigen door de aanleg van de Stuifdijk in de jaren '30 van de vorige eeuw. Het is dit soort dynamische systemen dat kustwaterbouwers voor de uitdaging stelt hun werk op een verantwoorde manier uit te voeren.

Van oudsher zijn ingenieurs geneigd om monofunctioneel te denken. Bij het ontwerpen van waterbouwkundige infrastructuur was de primaire functie leidend, bijvoorbeeld veiligheid of navigatie. Er was weinig aandacht voor omgevingseffecten. Met de toename van het milieubewustzijn in de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw ontstonden discussies over de impact van waterbouwkundige werken. Deze werden erg defensief gevoerd, en leidden tot

lange procedures en vertragingen. Geleidelijk aan ontstond onder overheden, aannemers, kennisinstellingen en milieugroeperingen het gedeelde besef dat we te veel bezig waren met het beheersen van negatieve effecten, en te weinig met het benutten van kansen die infrastructuurontwikkeling met zich mee brengt. Een nieuwe, pro-actieve aanpak was geboren: *Building with Nature*.

Het concept *Building with Nature* is reeds in de jaren ’80 van de vorige eeuw geïntroduceerd door Waterman en Svaşek (Waterman, 2008). De laatste tien jaar is het tot volle wasdom gekomen door een aantal grootschalige kennis- en innovatieprogramma’s, waaronder het *Building with Nature* programma van de Stichting EcoShape (De Vriend et al, 2014) en het Engineering with *Nature* programma van de US Army Corps of Engineers (Bridges et al, 2014). De achterliggende concepten zijn zeer identiek: Alle nemen ze het natuurlijk systeem als vertrekpunt voor ontwerp en realisatie van waterbouwkundige werken. Daarbij proberen ze slim gebruik te maken van natuurlijke processen en meerwaarde te realiseren voor mens en milieu. De naam suggereert wellicht een focus op engineering en ecologie, maar in de praktijk gaat *Building with Nature* veel verder en vormt vooral de socio-economische component integraal onderdeel van de aanpak.

Een goed voorbeeld van een succesvolle *Building with Nature* aanpak is het Cliffe Pools project langs de Theems in het Verenigd Koninkrijk (Fig. 4). Als gevolg van zandwinning voor de Britse cementindustrie was hier in de loop der jaren een groot aantal plassen ontstaan met een diepte van circa 8 meter. De plassen waren gescheiden door aarden wallen, die zorgden voor een beperkte circulatie en slechte waterkwaliteit. Tegelijkertijd werd de rivier verdiept en moest de vaargeul onderhouden worden, waardoor er in het gebied sprake was van een overschot aan gebaggerd materiaal. Traditioneel werd dit afgevoerd naar de Noordzee, maar door steeds strengere wet- en regelgeving namen de kosten hiervan hand over hand toe.



Fig. 4: Cliffe Pools wetland restoration project (UK)

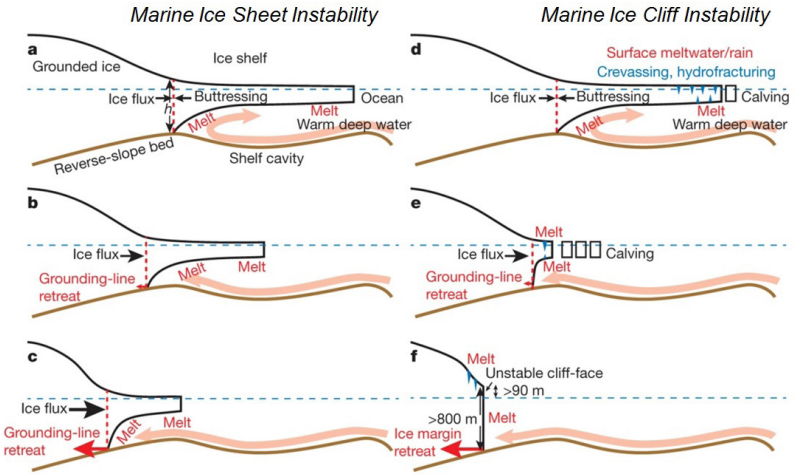


Fig. 5: Mechanismes voor het opbreken van ijsplaten (overgenomen van Pollard en De Conto, 2016)

De sleutel tot succes lag in het combineren van de belangen van de baggerindustrie en de Britse vogelbescherming. Beide waren gediend bij het opvullen van de nabij gelegen wingaten met gebaggerd materiaal, in plaats van het weg te varen naar zee. Met het ondieper worden van de plassen en de toename van het zoutgehalte nam de waterkwaliteit toe, keerde het mariene leven terug en vormden zich grootschalige *wetlands*. Tegenwoordig is het een beschermd natuurgebied waar steltlopers broeden en overwinteren.

Dit voorbeeld laat zien dat succesvolle toepassing van *Building with Nature* begint bij gedegen inzicht in het functioneren van het natuurlijke systeem. Daarnaast zijn er nog andere factoren die van belang zijn voor succesvolle ontwikkeling en implementatie van *Building with Nature* oplossingen (Aarninkhof en Bridges, 2015). Denk hierbij aan de beschikbaarheid van tools en richtlijnen voor ontwerp, inpasbaarheid van oplossingen binnen vigerende wet- en regelgeving en de bereidheid om over institutionele grenzen heen te denken. Cruciaal voor de langere termijn is het opleiden van jonge mensen die dit gedachtengoed van jongs af aan omarmen en in de praktijk brengen.

Een tweede *driver* die in toenemende mate zijn weerslag zal hebben op de onderzoekagenda van kustwaterbouw is klimaatverandering. Het klimaat verandert continu, onder invloed van een veelheid van natuurlijke factoren. De afgelopen eeuw speelt de mens ook een grote rol, door de uitstoot van

broeikasgassen als koolstofdioxide en methaan. Gezamenlijk leiden deze tot een wereldwijde opwarming van de aarde, wat zich door vertaalt in onder meer een stijging van de zeespiegel. Hierbij is sprake van regionale verschillen. Voor Nederland stijgt de zeespiegel op dit moment circa 3 mm/jaar. De laatste 30 jaar laten onmiskenbaar een versnelling zien in het tempo van zeespiegelstijging. In haar zogenaamde KNMI'14-klimaatscenario's (www.climatescenarios.nl) voorspelt het KNMI voor 2085 een zeespiegelstijging tot maximaal 80 cm, afhankelijk van de temperatuurstijging in deze periode.

De vraag is of de waargenomen versnelling in het tempo van zeespiegelstijging het begin is van een exponentiele toename. Een recente publicatie in *Nature* (Pollard and De Conto, 2016) suggereert een *extra* zeespiegelstijging van 0,7 tot 1 meter in 2100 door nieuwe inzichten in de processen achter zeespiegelstijging (Fig. 5). Een van die processen is het binnendringen van smeltwater via scheuren in de ijsmassa op Antarctica. Wanneer het smeltwater weer bevriest zet het uit, waardoor ijsplaten kunnen opbreken, scheuren en wegdrijven richting zee. Daar vormen zich hoge ijskliffen die bezwijken onder hun eigen gewicht. Dit proces van opbreken en ineenstorten van ijsplaten zorgt er voor dat de ijskappen instabiel worden en veel sneller afsmelten dan tot dusver werd aangenomen. Voortbouwend op de studie door Pollard en De Conto komt het KNMI (Le Bars et al, 2017) voor Nederland tot systematisch hogere waardes voor zeespiegelstijging, in het meest extreme geval 2,5 tot 3 meter in 2100. Hierbij is overigens uitgegaan van het hoogste CO2-emissiescenario en een sterk opwarmende aarde, zonder rekening te houden met het effect van de klimaatafspraken die in 2015 in Parijs zijn gemaakt.

Moderne waarnemingen met vliegtuigen en satellieten zijn van onschatbare waarde voor het ontwikkelen van nieuw inzicht in deze processen achter zeespiegelstijging. Recente metingen uit 2016 tonen een gigantische, snel groeiende scheur in de Larsen C ijsplaat op Antarctica, met een breedte tot 100m en een diepte tot 500m. Het feit dat dit gebeurt is strict genomen niet zorgwekkend, het afkalven van ijsplaten is immers een natuurlijk proces. Wel alarmerend is het tempo en de schaal waarop dit alles zich voltrekt. Het is niet aan ons Waterbouwers om te bepalen óf en wanneer dit gaat gebeuren, maar we moeten wel gesteld staan op het moment dat het nodig is. Op de lange termijn zijn de effecten van klimaatverandering sturend voor de inrichting van deltagebieden. Daarnaast kan klimaatverandering aanleiding geven tot kantelpunten in de respons van kustsystemen, bijvoorbeeld het verdrinken van. Dergelijke kantelpunten kunnen zich op veel kortere termijn manifesteren. Alleen door tijdig maatregelen te treffen kan een dergelijke omslag voorkomen worden.

Gezien de snelheid waarmee de veranderingen zich voltrekken in relatie tot de lange levensduur en voorbereidingstijd van waterbouwkundige werken kunnen we het ons niet veroorloven om stil te blijven zitten. Om die reden wordt de verkenning van adaptatie strategieën voor kustsystemen onder invloed van klimaatverandering één van de speerpunten van mijn onderzoek.

Integraal beheer van zandige kusten

We keren terug naar het hier en nu. Zoals gezegd borgen kusten een veelheid aan functies, waaronder veiligheid, natuur, recreatie, huisvesting en voedselvoorziening. Integraal kustbeheer beoogt vervulling van deze veelheid aan functies op een afgewogen wijze te faciliteren. Afhankelijk van de lokale omstandigheden kan dit op verschillende manieren. Zo wordt in landen rondom de Middellandse Zee veelvuldig gebruik gemaakt van golfbrekers en strekdammen, om lokaal te voorzien in voldoende strandbreedte (Fig. 6a). Het Nederlandse kustbeheer beoogt 'duurzaam behoud van functies en waarden in de kustzone' te realiseren via het beleid van dynamisch handhaven van de kustlijn (Van Koningsveld en Mulder, 2004). Dit beleid is erop gericht om de kustlijnligging van 1990 in stand te houden, de zogenaamde Basis Kustlijn. Later, in 2001, is besloten om ook het diepere deel van de kustzone tot de 20 meter dieptelijn mee te laten groeien met zeespiegelstijging. Beide doelstellingen vergen onderhoud van de kust, bij voorkeur door het aanbrengen van zandsuppleties.



Fig. 6: Kustlijn met golfbrekers en strekdammen (Sitges, Spanje, links) en Pilot Zandmotor Delfland dd. 16 februari 2016 (rechts)

Gaandeweg de jaren hebben we een verschuiving gezien van suppleren op het strand naar suppleren op de vooroever, en een toename van het zandvolume per suppletie. Dit is uiteindelijk geculmineerd in de aanleg van de pilot Zandmotor Delfland, een icoon van Bouwen met de Natuur (Fig. 6b). De Zandmotor Delfland is in essentie een haakvormige mega-suppletie van ruim

20 miljoen kuub, die de kust van Hoek van Holland tot Scheveningen voor de duur van 20 jaar moet voeden met zand. Golven, getij en wind verspreiden het zand langs de kust. Daarnaast moet de zandmotor duinaangroei stimuleren en recreatie verbeteren.

Vijf jaar van intensieve monitoring hebben laten zien dat de Zandmotor zich succesvol ontwikkelt, hoewel de duinaangroei wat achter blijft op de verwachtingen (Deltares, 2016). Daarnaast heeft een internationale auditcommissie geadviseerd om de integrale voordelen van de Zandmotor voor functies anders dan kustveiligheid beter kwantificeerbaar te maken, en daarmee ook beter financierbaar.

Dit raakt aan een zeer belangrijk punt: integrale oplossingen zijn veelal afhankelijk van integrale financiering. Anders gezegd, de benodigde financiering is afkomstig uit verschillende bronnen. De verdeling van de kosten over de verschillende financiers leidt in de praktijk per definitie tot discussie. Dit wordt nog ingewikkelder wanneer financiering, beoogde functies en ontwerp aan elkaar gekoppeld zijn. Het samenbrengen van de benodigde geldstromen is een van de belangrijkste uitdagingen in het licht van de ontwikkeling van *Building with Nature* oplossingen. Vanuit mijn leerstoel wil ik hier aan bijdragen door kwantitatief onderzoek naar de integrale voordelen van zandige ingrepen, ook op kleinere tijd- en ruimteschalen. Nieuwe modellen en meettechnieken maken het mogelijk om hier stappen in te zetten. Lichtend voorbeeld hierin is het EU Coastview project van begin deze eeuw (Davidson et al, 2007). Dit project maakte gebruik van hoge-resolutie videowaarnemingen voor de ontwikkeling van nieuwe innovatieve indicatoren voor onder meer zwemveiligheid en recreatie. Beschikbaarheid van dergelijke informatie draagt bij aan een betere onderbouwing van de integrale baten, die als basis kan dienen voor de gewenste integrale financieringsarrangementen.

In het licht van versnelde zeespiegelstijging is het zaak om ook de haalbaarheid van een extreme toename van het jaarlijkse suppletievolume nader te verkennen. De tweede Delta-Commissie (2008) voorzag een toename van de jaarlijkse suppletiebehoefte tot maximaal 85 miljoen kubieke meter per jaar voor een zeespiegelstijging van 120 cm in 2100. Nieuwe inzichten in de processen achter zeespiegelstijging maken dit scenario minder ondenkbaar dan we destijds dachten. Het is zaak om na te gaan of onze suppletie strategie ook bij dergelijke grote volumes stand houdt. En of de Waddenzee en de Westerschelde bekkens mee kunnen groeien met extreme zeespiegelstijging door suppleren van het kustfundament. Rijkswaterstaat is voornemens om in

het kader van haar onderzoeksprogramma Kustgenese2.0 een pilot buiten-delta suppletie uit te gaan voeren. Dit experiment zal een belangrijke rol gaan spelen in de kennisontwikkeling op dit gebied.

Naast evaluatie op integrale baten pleit ik voor optimalisatie van het kustonderhoud op de schaal van het Nederlandse kustsysteem als geheel. Hierbij doel ik op een langjarige programmering van suppletieprogramma's, desgewenst in samenwerking tussen publieke en private partijen. Het is zaak dat de monetaire evaluatie van mega-suppleties zoals de Zandmotor niet plaats vindt op het niveau van een individueel kustvak, maar voor de kust als geheel. Binnen een individueel kustvak zal een mega-suppletie van zeg 20 miljoen m^3 voor 20 jaar het al snel afleggen tegen een regulier stramien van 4 suppleties van 5 miljoen m^3 elk. Simpelweg omdat de baten, voor zover deze al gekwantificeerd kunnen worden, niet opwegen tegen de besparingen door uitgestelde aanleg. Op de grote schaal van de Nederlandse kust ligt dit anders. Daar kan de beheerder besluiten om in de totale onderhoudsbehoefte te voorzien door een serie van mega-suppleties op strategische locaties en uitgesmeerd over vele jaren. Dit combineert de integrale baten van een mega-suppletie met de voordelen van lage aanlegkosten. Als de versnelde zeespiegelstijging doorzet en zich vertaalt in een toename in het jaarlijkse kustonderhoud, dan ben ik er van overtuigd dat een dergelijke grootschalige, langjarige aanpak zal leiden tot aanzienlijke optimalisaties in het kustonderhoud.

Data en monitoring

Veldmetingen hebben van oudsher een belangrijke rol gespeeld in de ontwikkeling van ons vakgebied. Sinds 1963 meet Rijkswaterstaat jaarlijks de bodemligging langs de gehele Nederlandse kust. Deze zogenaamde JARKUS dataset heeft een schat aan informatie opgeleverd over de morfodynamica van de kust en de effectiviteit van suppleties. Grootschalige meetcampagnes in onder meer Duck (NC, USA), Egmond en op de Zandmotor hebben bijgedragen aan gedetailleerd inzicht in de werking van golven, stroming en sediment transport. Satellietwaarnemingen en volautomatische Argus video-stations maken het mogelijk om het gedrag van kusten te monitoren op tijd-schalen van uren tot tientallen jaren, veelal in combinatie met steeds betere radar, laser en LIDAR systemen. De kracht van dit soort monitoring schuilt in het stelselmatig inwinnen van de data en het doorzetten daarvan in de tijd. Als sector dragen we de verantwoordelijkheid om een slimme modus te vinden voor het doorzetten van dit soort metingen.

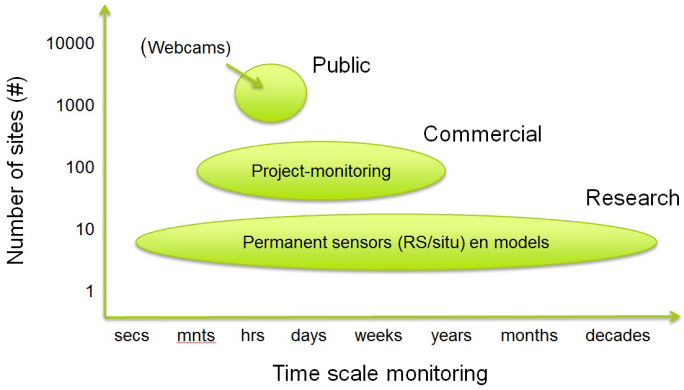


Fig. 7: Visie op monitoring en aanzet tot ICON: International Network of Coastline Observatories

Fig. 7 laat zien hoe we dit kunnen doen. Op de horizontale as staan de tijdschalen die gedekt worden door een monitoring inspanning en verticaal het aantal meetsites wereldwijd. Voor onderzoeksmonitoring is het zaak om een koppeling te leggen tussen een groot aantal tijdschalen, variërend van de schaal van de waterbeweging en stormen tot aan die van de morfologische ontwikkeling. Voor onderzoeksmonitoring is compleetheid in de meetscope belangrijker dan het aantal meetsites. Een dergelijk Kustlijn Observatorium biedt, naast het verdiepen van kennis in kustprocessen, unieke mogelijkheden als hoge-resolutie veldlaboratorium voor het ontwikkelen en testen van nieuwe meetsensoren, monitoringtechnieken en numerieke modellen. Uiteindelijk gaat dit leiden tot geïntegreerde faciliteiten voor de permanente voorspelling van kustontwikkeling op basis van gecombineerd gebruik van data en modellen. In een moderne wereld worden Kustlijn Observatoria bij voorkeur in internationaal verband georganiseerd. Daar kom ik verderop in deze rede op terug.

Project gebonden monitoring treffen we in de planfase van een project, tijdens de bouw en in de jaren na realisatie van de infrastructuur. Ik voorzie onder meer de inzet van drones uitgerust met LIDAR- en videotechnologie om in enkele dagen tijd onbekende kustgebieden in kaart te brengen door meting van de topografie van duinen, strand en zeebodem, vegetatiedekking, stromingen en andere parameters. Metingen tijdens en na projectrealisatie kunnen een wezenlijke bijdrage leveren aan kennisontwikkeling in de waterbouwkunde. Daarbij is het zaak om de veelal grote meetinspanning die toch al gepland staat zodanig in te richten dat project overstijgende doelen gediend worden. Op die manier wordt ieder project een buitenkans om te leren voor het volgende en ons als Nederlandse waterbouwsector te blijven verbeteren.

Op het hoogste niveau maken we voor de data-inwinning gebruik van de kracht van de massa. Denk hierbij aan webcams die wereldwijd staan opgesteld langs duizenden kusten, en die in toenemende mate beelden van hoge kwaliteit leveren. Toepassing van beeld analyse software – ontwikkeld en getest in een Kustlijn Observatorium – levert instantaan informatie over bijvoorbeeld zwemveiligheid of surfcondities. Deze wordt verspreid via websites en mobiele apps, inclusief de daaraan gekoppelde verdienmodellen. Voor startups en andere bedrijven ligt hier een interessante kans voor het ontwikkelen en aanbieden van innovatieve producten. Uiteindelijk draagt dit bij aan een brede maatschappelijke impact van ons kustonderzoek.

Een andere grote kans op data gebied ligt in de ontsluiting en analyse van ruim 30 jaar satellietdata. De enorme omvang van de beschikbare data stelt extreem hoge eisen aan data opslag, rekenkracht en tools voor data processing.
Met het beschikbaar komen van cloud platforms zoals Google Earth Engine (http://earthengine.google.com/) zijn deze beperkingen weggenomen en komt het gebruik van satellietdata binnen handbereik van een breed scala van wetenschappers en ingenieurs. Dat heeft onderzoekers van Deltares geïnspireerd tot de ontwikkeling van de AquaMonitor (Donchyts et al, 2016) en afgeleide toepassingen zoals MI-SAFE[2]. MI-SAFE gebruikt geavanceerde *data-mining* technieken voor het kwantificeren van kustparameters zoals kustlijnligging, hoogteligging van getijdeplaten en vegetatie dichtheid. Daarnaast is binnen MI-SAFE een koppeling gemaakt met andere, wereldwijde datasets en met het model XBeach voor het uitvoeren van *real-time* duinafslag berekeningen.

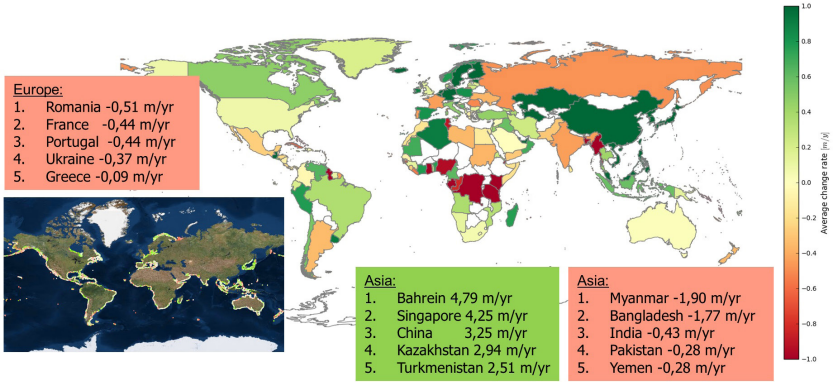


Fig. 8: Kustlijn dynamiek wereldwijd. Analyse van de jaargemiddelde kustlijnverandering per land, over een periode van 33 jaar (Luijendijk et al, in voorbereiding)

2 Ontwikkeld binnen EU-FP7 FAST project, http://www.fast-space-project.eu

Een andere toepassing voorziet in de automatische kartering van kustlijnontwikkeling van 1984 tot heden, langs elk willekeurig zandstrand wereldwijd (Luijendijk et al, 2017, *in prep*). Afhankelijk van de hoeveelheid beschikbare beelden en de kwaliteit daarvan komt de analyse software tot circa 25 schattingen van de kustlijnpositie per jaar. Hij is gevalideerd tegen langjarige data van vier verschillende stranden op drie continenten, met een verbluffende sub-pixel nauwkeurigheid in de orde van 5-10 m. De tool is gebruikt (Luijendijk et al, in prep) om voor ieder land ter wereld de jaargemiddelde kustlijnverandering over 33 jaar uit te rekenen. Fig. 8 toont voor Europa en Azië de top-5 landen met de hoogste kusterosie. In de top-5 van landen met de grootste kustaangroei van Azië domineren de landen met een rijke traditie in landaanwinning.

Hoewel de meeste analyseroutines nog nadere validatie behoeven durf ik te stellen dat de mogelijkheden eindeloos zijn. Waar van oudsher de keuze van een case leidend is voor de invulling en uitkomsten van het onderzoek, daar maken deze technieken het mogelijk om wereldwijd tijdseries van relevante kustindicatoren te genereren en op basis daarvan het onderzoek verder vorm te geven. Dit alles opent de deur naar veel generieker onderzoek en commerciële verkenningen naar bijvoorbeeld de toepasbaarheid van natuurlijke oplossingen wereldwijd. Deze radicaal nieuwe aanpak, van case-gebonden naar globaal, zal naar verwachting leiden tot geheel nieuwe inzichten in bijvoorbeeld kantelpunten in kustgedrag, en een driver blijken voor kustonderzoek in de jaren die komen.

Naar duurzame kustontwikkeling wereldwijd

In het voorgaande heb ik een beeld geschetst van het belang van *Building with Nature* en klimaatverandering als drivers voor lopend en toekomstig kustonderzoek. Tevens heb ik laten zien welke kansen er liggen in relatie tot integraal kustbeheer en het gebruik van data en monitoring. De grote context waarbinnen dit gebeurt is onze ambitie om te komen tot duurzame kustontwikkeling wereldwijd.

In 2050 woont naar verwachting meer dan 80% van de wereldbevolking in kwetsbare delta gebieden. Door een combinatie van zeespiegelstijging, bodemdaling en afname van de sedimentaanvoer hebben veel laaggelegen, dichtbevolkte gebieden te maken met frequente overstromingen en structurele kustlijnerosie. Met name in derde wereld landen leidt dit tot grote problemen, vanwege het gebrek aan financiële middelen en bestuurlijke slagkracht om complexe problemen van deze orde het hoofd te bieden. Harde maatregelen zoals dijken en dammen resulteren vaak niet in het beoogde effect (Fig. 9a).

Daardoor houdt de erosie aan, verdwijnen gronden voor landbouw en neemt de armoede verder toe.



Fig. 9: Kustlijn erosie Indonesie bij harde verdediging (links) en Building with Nature pilot maatregel voor mangrove ontwikkeling (Demak, Indonesie, rechts)

In dit soort omstandigheden ligt de oplossing in de ontwikkeling van *low-tech* maatregelen die zorgen voor een natuurlijke aanwas van de kust. (Winterwerp et al, 2013). Daarvoor is gedegen inzicht nodig in de fysische en ecologische processen van dergelijke delta's, en intensieve samenwerking en steun van lokale partijen (Wesenbeeck et al, 2015). Goede voorbeelden hiervan zijn te vinden in Indonesië en Vietnam, waar consortia van Nederlandse en lokale partijen onder leiding van respectievelijk Han Winterwerp en Marcel Stive

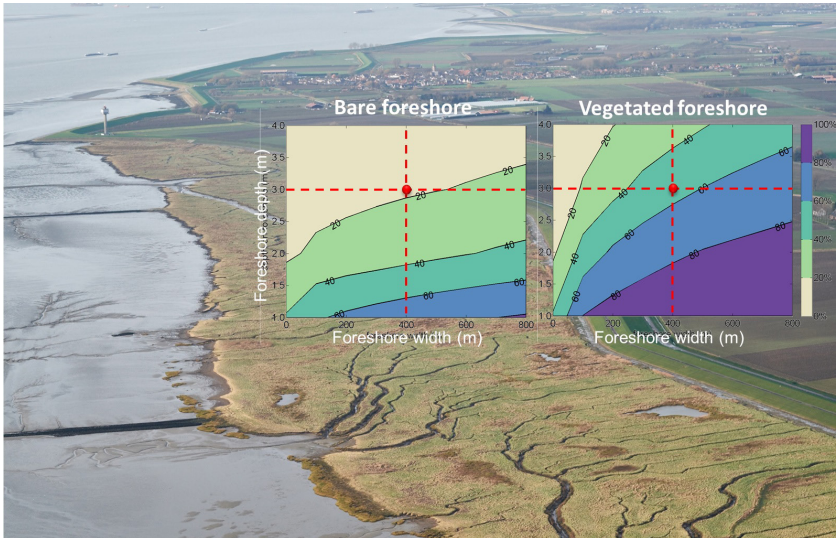


Fig. 10: Begroeide voorlanden voor een dijk, en het effect op golfdemping (Vuik et al, 2016)

werken aan natuurlijke methodes om de aangroei van mangrove habitat te herstellen. In Indonesië gebeurt dit door het plaatsen van doorlaatbare, rijshouten dammetjes (Fig. 9b). De dammetjes zorgen voor de invang van fijn sediment en creëren daarmee de condities voor aanwas van jonge mangroves. Het pilotproject in Indonesië laat een sedimentatie zien van circa 50 cm in het eerste jaar na aanleg. Op dit moment wordt gewerkt aan de opschaling van deze lokale aanpak naar grotere kustvakken en toepassing elders in de wereld. Dit vergt beter inzicht in het effect van mangroves op de stabiliteit van modderkusten en de ontwikkeling van eco-morfologische modellen voor de grootschalige sedimentdynamiek. Het onderzoek hiernaar staat nog in de kinderschoenen.

Ook binnen onze eigen Nederlandse context winnen natuurlijke oplossingen aan populariteit. Binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma staan natuurlijke oplossingen voor hoogwater veiligheid nadrukkelijk op de radar. Bijvoorbeeld begroeide voorlanden voor een dijk (Fig. 10). Begroeide voorlanden zorgen voor een afname van de golfaanval op de dijk (Vuik et al, 2016). Op basis van dat principe is voor de Houtribdijk (Fig. 11a) gekozen voor de aanleg van een zandige vooroever in plaats van een traditionele versterking. Een monitoring programma zorgt er voor dat we een goed beeld krijgen van de vegetatie ontwikkeling en het benodigde onderhoud, en het gedrag van de kering tijdens stormcondities. Inzicht in deze aspecten is van doorslaggevend belang voor toepassing op hoogwaterveiligheid projecten in de toekomst. Het Houtribdijk versterkingsproject laat zien dat *Building with Nature* oplossingen geleidelijk aan de pilot fase ontgroeien en rijp zijn voor full-scale gebruik in de praktijk.

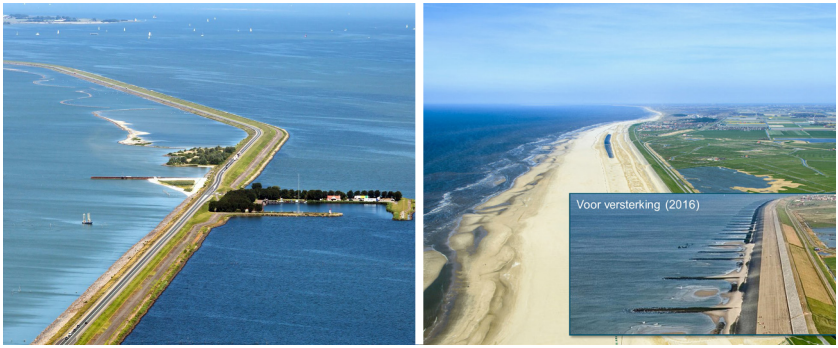


Fig. 11: Natuurlijke oplossingen in Nederland: Versterking Houtribdijk (links) en Hondsbossche Duinen (rechts)

Ook de zandige versterking van de Hondsbossche- en Pettemer Zeewering (Fig. 11b) is een voorbeeld van *Building with Nature* in de praktijk. Sinds de aanleg in 2016 vormt de Zeewering niet langer een blokkade, maar maakt ze onderdeel uit van het zanddelend systeem. Cruciaal voor het succes van dit soort ingrepen is de beschikbaarheid van een betrouwbaar ontwerpinstrumentarium voor de bepaling van de verwachte zandverliezen na aanleg. De ontwikkeling hiervan blijft een van de speerpunten binnen mijn leerstoel, onder meer via een probabilistische aanpak (Kroon et al, 2017). Daarnaast wordt de koppeling tussen vooroever, strand en duinen – inclusief interactie met vegetatie – steeds belangrijker. Een project als de Zandmotor stelt als expliciete doelstelling de ontwikkeling van 35 hectare duinareaal *na 20 jaar*. Een dergelijk vraagstuk kan alleen beantwoord worden op basis van gedegen inzicht in wind-gedreven sediment transport op de grens van nat en droog. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van een nieuw wind-gedreven sediment transport model genaamd AeoLiS (Hoonhout and De Vries, 2016). Anders dan bestaande modellen houdt AeoLiS expliciet rekening met de sediment beschikbaarheid op het strand. Het nieuwe model stelt ons in staat om een betere inschatting te maken van de variatie in duinaangroei langs de kust. Momenteel wordt gewerkt aan de koppeling van AeoLiS met het morfologische procesmodel Delft3D. Daarmee wordt de link gelegd tussen vooroever, strand en duinen, en rekenen we letterlijk over de grens van water en land.

Het zijn dit soort oplossingen en technieken die in de toekomst gaan zorgen voor duurzame kustontwikkeling wereldwijd.

De ingenieur van de toekomst

Dat brengt me op de ingenieur van de toekomst. Wellicht de belangrijkste verantwoordelijkheid van onze afdeling ligt in de opleiding van waterbouwkundig ingenieurs en onderzoekers. We doen dit voor een breed scala aan partijen. Op dit moment levert de Vakgroep Waterbouwkunde ruim 100 afstudeerders per jaar af, waarvan een kleine 60% gaat werken bij een aannemer of adviesbureau. Circa 20% gaat aan de slag in de academische wereld of bij een onderzoeksinstelling. Dit betekent dat we in ons onderwijs voortdurend zoeken naar een goede balans tussen het aanleren van onderzoek vaardigheden enerzijds, en design en engineering anderzijds. Hiertoe passen we een scala van onderwijsconcepten toe, variërend van klassieke kennisoverdracht in colleges tot interactieve kennisontwikkeling in een *flipped-classroom setting*. Juist deze combinatie van wetenschap en praktijk onderscheidt ons van andere opleidingen en is daarom van wezenlijk belang voor ons als vakgroep.

De ingenieur van de toekomst wordt geacht zijn expertise van nut te maken in een wereld die vraagt om integrale oplossingen voor duurzame kustontwikkeling. Technisch ontwerp vormt nog steeds een cruciaal onderdeel van een project, doch de tijd dat de wil van de ingenieur wet was ligt al ver achter ons. Om effectief te kunnen opereren dient een moderne ingenieur oog te hebben voor het bredere projectperspectief inclusief de eisen en wensen van omwonenden, milieugroeperingen, politici en andere betrokkenen. Dit aspect speelt in het bijzonder voor ingenieurs die het voortouw nemen in de ontwikkeling en implementatie van *Building with Nature* oplossingen. Zij dienen te beschikken over gedegen kennis van het natuurlijke systeem, ervaring met het ontwerp van waterbouwkundige infrastructuur en een talent om samen te werken met ecologen, bestuurskundigen, sociaal wetenschappers en andere specialisten. Hierbij past het bekende T-profiel van de ingenieur die vanuit een sterke technische basis kan werken aan een breed spectrum van oplossingen. Ingenieurs die in staat zijn om vanuit een open mind-set verder te kijken dan de grens van water en land.

De praktijk wijst uit dat onze jongste generaties studenten en ingenieurs intrinsiek gemotiveerd zijn om te werken aan duurzame waterbouwkundige oplossingen. *Building with Nature* geeft een aansprekend raamwerk om jonge ingenieurs blijvend aan het vakgebied te binden. Aan ons als universiteit de verantwoordelijkheid om die studenten een uitdagend curriculum te bieden om hun ambities waar te maken en zo bij te dragen aan het voeden van de beweging van onderaf.

Grenzeloze samenwerking

Ik nader het eind van mijn intreerede. Ik heb gesproken over de complexe context van waterbouwkundige werken en de behoefte aan integrale, duurzame oplossingen. Alleen daarom al is multidisciplinaire samenwerking een absolute must. Als kind van het Nederlands Centrum voor Kustonderzoek NCK is mij dat met de paplepel ingegoten. Ik pleit voor een grenzeloze samenwerking vanuit de kracht en complementariteit van betrokken partijen. Dat gaat verder dan het uitwisselen van kennis. Door daadwerkelijk samen om de tafel te gaan, samen onderzoek uit te voeren en in projectverband ingewikkelde problemen op te lossen ontstaat wederzijds begrip en de *drive* om vanuit een gedeeld belang te komen tot nieuwe, innovatieve oplossingen. De publiek-private samenwerking in het kader van EcoShape *Building with Nature* laat zien hoe goed dat kan werken.

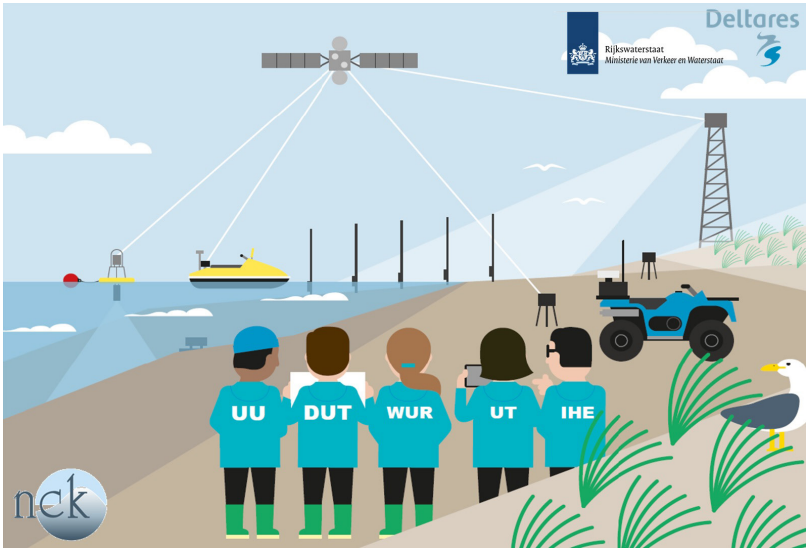


Fig. 12: Onderzoekssamenwerking rond Kustlijn Observatorium Nederland

Concreet streef ik naar de inrichting van een Kustlijn Observatorium als basis voor gezamenlijk onderzoek door NCK instituten. Doel is om het Nederlandse observatorium in te bedden in een nieuw op te richten internationaal netwerk genaamd ICON: International Coastline Observatories Network. ICON sites worden geselecteerd op onderlinge diversiteit, data-aanbod en gelieerde onderzoeksgroepen. Alle meet- en monitoringdata zijn openbaar beschikbaar volgens onderling overeengekomen formats. Dit stelt onderzoekers in staat om nieuwe modelconcepten razendsnel te testen over een range van condities, met oog voor effectiviteit en betrouwbaarheid. Op dit moment lopen gesprekken met Australische en Amerikaanse partners voor een start van ICON op basis van Narrabeen (NSW, Australia), Duck (NC, USA) en een nog te bepalen Nederlandse site. De filosofie achter ICON sluit naadloos aan op die van Digishape, een publiek-privaat initiatief dat zich richt op brede ontsluiting van relevante databronnen binnen Nederland en daarbuiten.

Daarnaast liggen er kansen voor kennisontwikkeling tijdens en na realisatie van infrastructurele projecten. Waterbouwkundige werken gaan normaliter gepaard met een flinke monitoring inspanning. In mijn visie kan de opbrengst hiervan nog groter worden door het monitoringprogramma in te richten vanuit een project-overstijgend perspectief en met de ambitie de onderliggende processen te doorgronden. Dergelijke datasets lenen zich voor de uitvoering

van grensverleggend onderzoek. Op die manier jagen projecten innovatie aan via continue verbeteringen voor het volgende project. De tijd is rijp om dergelijke project-gerelateerde onderzoekssamenwerking grootschalig vorm te geven, wat mij betreft te beginnen met *Building with Nature* projecten in Nederland en de Verenigde Staten.

De lange historie van intensieve onderzoekssamenwerking tussen overheid, kennisinstellingen en bedrijfsleven heeft Nederland een unieke en vooraanstaande positie bezorgd binnen de internationale waterbouwwereld. Via onder meer de TopSector Water wordt gepoogd om deze leidende positie verder uit te bouwen. De leerstoel Kustwaterbouwkunde van de TU Delft staat gesteld om haar steentje bij te dragen aan deze ambitie.

Afsluiting

Ik ga afsluiten. Deze rede verhaalt over de grens van water en land. Over de fascinerende dynamiek van de kustzone, over het complexe samenspel van functies en belangen en over waterbouwkundige werken waarmee ingenieurs proberen te voorzien in maatschappelijke behoeftes. Over klimaatverandering die ons noopt tot waakzaamheid en over de ongeëvenaarde mogelijkheden die geboden worden door grote datasets en internationale kustlijn observatoria. Ik wil me inzetten voor duurzame kustlijnontwikkeling wereldwijd door een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling en implementatie van *Building with Nature* oplossingen. Dit vergt onderzoek naar eco-morfologische processen in een brede kustzone, de ontwikkeling van modellen voor ontwerp en engineering, en de opleiding van *open-minded* ingenieurs die letterlijk verder kijken, óver de grens van water en land. Hier liggen de uitdagingen en kansen voor mijn leerstoel, nu en in de toekomst.

Met mijn aanstelling op deze leerstoel treed ik in de voetsporen van mijn hooggeleerde voorganger, Professor Marcel Stive. Ooit, in 1996, was ik zijn eerste afstudeerder, en *en passant* zijn eerste promovendus. Beste Marcel, vanaf dag één hadden wij een klik en over de jaren hebben we een bijzondere band opgebouwd. Ik heb met bewondering toegekeken hoe je jezelf – en daarmee het vakgebied – voortdurend vernieuwd hebt: Van golfdissipatie en zandtransport in de brandingszone, naar suppleties, naar getijde inlaten, en via de Zandmotor uiteindelijk naar de mangroves van Vietnam. Het is indrukwekkend hoe je op basis van je grondige kennis, je grote betrokkeneheid en innemende persoonlijkheid mensen hebt weten te inspireren en dingen voor elkaar hebt gekregen. Je hebt me een vliegende start gegeven binnen het vakgebied, niet alleen inhoudelijk maar vooral ook door me overal en bij

iedereen te introduceren. Dank voor de samenwerking, het is een eer om te mogen voortbouwen op jouw geweldige werk binnen deze leerstoel.

Ik dank mijn voormalige werkgevers, het Waterloopkundig Laboratorium (tegenwoordig Deltares) en Boskalis, beide zeer vooraanstaande partijen binnen de internationale waterbouwsector. Ik kijk met trots terug op de periodes die ik voor jullie heb mogen werken. Jullie hebben me de ruimte gegeven om een relatie te onderhouden met de onderzoekswereld en de kans om het vakgebied vanuit verschillende perspectieven te bekijken. Vooral die laatste ervaring zal me zeer van pas komen bij de invulling van mijn leerstoel. Ik zie uit naar een goed vervolg van de zo belangrijke samenwerking met de sector.

Ik dank de TU Delft voor het vertrouwen dat ze in mij gesteld heeft met mijn benoeming op de leerstoel Kustwaterbouwkunde.

En tenslotte, mijn directe collega's en studenten binnen de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, en specifiek de Vakgroep Waterbouwkunde. Na 20 jaar buiten de deur voelde mijn terugkeer bij de TU als een thuiskomen. Ik zie er naar uit om samen met jullie de positie van onze groep in de internationale waterbouwwereld uit te bouwen en de toekomst van ons fascinerende vakgebied verder vorm geven.

Ik heb gezegd.

Referenties

Aarninkhof, S.G.J. and Bridges, T.S (2015). Development of sustainable marine infrastructure. Public-private considerations on key enabling factors. In: Proc. of CEDA Dredging Days 2015, Rotterdam (The Netherlands).

Bridges, T.S., Lillycrop, J., Wilson, J.R., Fredette, T.J., Suedel, B., Banks, C.J. and Russo, E.J. (2014). “Engineering with Nature” promotes triple-win outcomes. Terra et Aqua (135), pp. 17-23

Davidson, M., Koningsveld, M. van, Kruif, A. de, Rawson, J., Holman, R., Lamberti, A., Medina, R., Kroon, A. and Aarninkhof, S.G.J. (2007). The Coast-View project: Developing video-derived Coastal State Indicators in support of coastal zone management. Coastal Engineering 54, pp. 463-475

Deltacommissie (2008). Samen werken met water. Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. Eindverslag en interim adviezen.

Deltares (2016). Ontwikkeling van de Zandmotor. Samenvattende rapportage over de eerste vier jaar van het Monitoring en Evaluatie Programma (MEP). http://www.dezandmotor.nl/uploads/2016/09/monitoring-en-evaluatierapport--zandmotor-ned.pdf

Donchyts, G., Baart, F., Winsemius, H., Gorelick, N., Kwadijk, J. and Giessen, N. van der (2016). Earth’s surface water change over the past 30 years. Nature Climate Change 6, 810-813, doi:10.1038/nclimate3111

Holman, R.A. and Stanley, J. (2007). The history and technical capabilities of Argus. Coastal Engineering 54, pp. 477-491

Hoonhout, B.M. and Vries, S. de (2016). A process-based model for aeolian sediment transport and spatiotemporal varying sediment availability. Journal of Geophysical Research: Earth Surface. Volume 121, Issue 8, pp. 1555-1575

Jorissen, R., Kraaij, E. and Tromp, E. (2016). Dutch flood protection policy and measures based on risk assessment. In: Proc. Of FLOODrisk 2016 conference (E3S Web of Conferences), Lyon, France.

Kroon, A., Schipper, M. de, Heijer, K. den, Aarninkhof. S.G.J. and Gelder, P. van (2017). Uncertainty assessment in coastal morphology prediction with a Bayesian Network. In: Proc. Of Coastal Dynamics Conference (2017), Helsingør, Denmark.

Le Bars, D., Drijfhout, S. and Vries, H. de (2017). A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss. Environtal Research Letters 12 (2017) 044013

Luijendijk, A., Hagenaars, G., Baart, F., Donchyts, G., Aarninkhof, S.G.J. and Ranasinghe, R. (in prep). Global Sandy Shoreline Changes derived from satellite images.

Ministerie van Veiligheid en Justitie (2017). Magazine Nationale Veiligheid en Crisisbeheersing, 15e jaargang, Nr.1. Nationaal Coordinator Terrorismebestrijding en Veiligheid.

Pollard, D. and De Conto, R. M. (2016). Contribution of Antarctica to past and future sea level rise. Nature, doi:10.1038/nature17145.

USACE (2002). Coastal Engineering Manual. US Army Corps of Engineers, USACE Publication EM 1110-2-1100.

Van Koningsveld en Mulder (2004), Sustainable coastal policy developments in the Netherlands. A systematic approach revealed. Journal of Coastal Research, Vol. 20(2), pp 375-385.

Vriend, H.J. de, Van Koningsveld, M., Aarninkhof, S.G.J., De Vries, M.B. and Baptist, M.J. (2014). Sustainable hydraulic engineering through Building with Nature. Journal of Hydro-environment Research 9 (2015), pp 159-171

Vuik, V., Jonkman, S.N., Borsje, B.W. and Suzuki, T. (2016). Nature-based flood protection: The efficiency of vegetated foreshores for reducing wave loads on coastal dikes. Coastal Engineering 116 (2016), pp 42-56

Waterman, R.E. (2008). Integrated Coastal Policy via Building with Nature. Sustainable coastal development. 2nd revised edition, ISBN/EAN 978-90-805222-3-7

Wesenbeeck, B.K. van, Balke, T., Eijk, P. van, Tonneijck, F., Siry, H.Y., Rudianto, M.E. and Winterwerp, J.C. (2015). Aquaculture induced erosion of tropical coastlines throws coastal communities back into poverty. Ocean & Coastal Management 116 (2015), pp 466-469.

Winterwerp JC, Erftemeijer PLA, Suryadiputra N, Van Eijk P and Zhang LQ, 2013. Defining eco-morphodynamic requirements for rehabilitating eroding mangrove mud coasts, Wetlands, DOI: 10.1007/s13157-013-0409-x, 33 (3) 515-526.

TU Delft
Faculteit Kustwaterbouwkunde

Mekelweg 4
2628 CD Delft

T: +31 (0)15 27 89803

www.tudelft.nl/ewi