



Prof.dr.ir. S.N. Jonkman

Het water weet de weg

Intreerede

23 mei 2013

Faculteit Civiele Techniek
en Geowetenschappen

Het water weet de weg

Intreerede

In verkorte vorm uitgesproken op 23 mei 2013
Ter gelegenheid van de aanvaarding van
het ambt van hoogleraar Integrale Waterbouwkunde
aan de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
van de Technische Universiteit Delft

door

prof.dr.ir. S.N. Jonkman

Mijnheer de Rector Magnificus, leden van het College van Bestuur, Collegae hoogleraren en andere leden van de academische gemeenschap, zeer gewaarde toehoorders, dames en heren,

Waterbouwkundige kennis is voor de veiligheid en welvaart van ons laaggelegen land van groot belang. Dat is nu het geval, maar was ook zo in het verleden. Dit blijkt ook als we kijken naar schilderijen en prenten in historische collecties. De website van het Rijksmuseum geeft toegang tot een indrukwekkende verzameling van meer dan 286.000 objecten. Veel daarvan hebben een maritiem of waterbouwkundig onderwerp. De historische afbeeldingen tonen ook de dramatiek en rampspoed van watersnoodrampen.

Figuur 1 geeft een beeld van de grote rivieroverstromingen in het jaar 1809. Door de vorming van ijssdammen kon het water niet door de rivier wegstromen. Grote delen van het rivierengebied langs de Maas, Waal, Merwede en IJssel werden getroffen door overstromingen. De figuur toont de verwoesting in de plaats Erichem in de Betuwe. Het beeld is vergelijkbaar met dat van latere rampen, zoals de Watersnoodramp en de overstromingen in New Orleans.



Figuur 1: Beeld van de grote rivieroverstroming van 1809 in Erichem getiteld "Het instorten van huizen en het omkomen van mensen en beesten te Erichem door den watervloed" (tekening door C. van Hardenbergh, prent door R. Vinkeles, collectie Rijksmuseum)

Tekst: S.N. Jonkman, juni 2013.

Omslag: De Afsluitdijk en Stevinsluizen bij den Oever. Foto: Siebe Swart

Uit de documentatie blijkt dat zich in onze geschiedenis tot in de twintigste eeuw meerdere rampen per eeuw voordeden. Alleen al in de negentiende eeuw vonden ook in 1820, 1825, 1855, 1861 en 1877 overstromingen plaats. De laatste grote ramp in ons land was de Watersnoodramp van 1953.

In de loop der eeuwen zijn we het watersysteem steeds verder en beter gaan beheersen met behulp van verbeterd rivierbeheer, de inrichting van polders met windmolens, pompen en gemalen en de bouw van dijken en dammen voor de bescherming tegen overstromingen. Figuur 2 toont ingrepen in het rivierengebied, de Oosterscheldekering en de Maeslantkering. Deze twee laatste werken maken deel uit van de deltawerken. Deze gaven een impuls aan de Nederlandse waterbouwkunde en trekken nog steeds vele bezoekers uit binnen- en buitenland.



Figuur 2: Enkele grote waterbouwkundige ingrepen in Nederland: rivierdijken langs de Waal (linksboven), Pannerdens Kanaal (rechtsboven), Oosterscheldekering (linksonder), Maeslantkering (rechtsonder)

Toch lijkt deze klassieke benadering van de waterbouw, gebaseerd op grootschalige, vaak harde ingrepen en het beheersen van het systeem, nu onder druk te staan. Is er inderdaad sprake van een kentering in de waterbouwkunde?

Volgens sommigen zijn nieuwe en andere oplossingen nodig om toekomstige dreigingen zoals klimaatverandering het hoofd te bieden. Ik geef u een paar voorbeelden:

- Velen lijken het vertrouwen in dijken en dammen te verliezen. De afgelopen jaren zijn alternatieven zoals megaterpen, een overstromingsverzekering en het doorsteken van dijken en het laten opslibben van land voorgesteld.
- Rivierverruiming geniet de voorkeur boven dijken; volgens de site van het programma Ruimte voor de Rivier is "alleen dijkverhoging onvoldoende om het toenemende overstromingsgevaar te keren"¹.
- Onze minister heeft recent meerlaagsveiligheid omarmd. In haar brief aan de Tweede Kamer suggereert ze dat we dijken mogen gaan uitwisselen tegen ruimtelijke maatregelen en rampenbeheersing (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013).
- In het huidige Deltaprogramma lijken disciplines als ecologie, klimaatwetenschap en bestuurskunde centraal te staan en staan waterbouwers tot op heden enigszins aan de zijlijn.
- In het vakgebied zelf zijn zachtere benaderingen geïntroduceerd, zoals bouwen met de natuur.

Juist in deze tijd mag ik de leerstoel waterbouwkunde gaan invullen. De leerstoel richt zich op de volgende gerelateerde onderwerpen: i) het ontwerpen van waterbouwkundige constructies en systemen, zoals sluisen, dijken, stormvloedkeringen, tunnels en kademuren; ii) probabilistisch ontwerpen en risicoanalyse, veelal toegepast op waterkeringen en overstromingsrisico's. Men kan wel zeggen dat deze leerstoel een bastion vormt van de harde waterbouwkunde. Tegelijk vermeldt de nieuwe leerstoelopdracht - weliswaar enigszins summier - dat ook aan nieuwe benaderingen invulling moet worden gegeven: duurzaamheid, bouwen met de natuur en eco-engineering. Kortom, ik sta niet voor een eenvoudige taak.

U zult zich afvragen waarom ik deze rede de titel "het water weet de weg" heb gegeven. Wellicht verwacht u op basis van deze titel een pleidooi om het water de ruimte te geven, want anders neemt het de ruimte. Of blijven ingrepen nodig om het water af en toe bij te sturen?

In deze rede geef ik u een overzicht van de uitdagingen voor de waterbouwkunde en mijn plannen voor de invulling van de leerstoel.

¹ Website programma Ruimte voor de Rivier, onder "nieuwe aanpak in hoogwaterbescherming", 11 mei 2013

Buitenlandse overstromingen en deltaplannen

We beginnen daarbij in het buitenland en staan stil bij de lessen van buitenlandse overstromingen en de deltaplannen die daarop volgen.

New Orleans na orkaan Katrina (2005)

Tijdens mijn promotieonderzoek in 2005 overstroomde New Orleans als gevolg van orkaan Katrina. Door verschillende doorbraken in slecht ontworpen en verouderde dijken wist het water de weg door de stad te vinden. Het duurde dagen voor de eerste hulpverleners de stad in trokken, maar de chaotische taferelen waren daarvoor al live te volgen via CNN, vanuit de midden in de stad gelegen Superdome. Er vielen honderden slachtoffers in de stad en de schade bedroeg tientallen miljarden dollars. De stad New Orleans is nog steeds niet wat hij was voor Katrina.

Vrij kort na de doorbraken ben ik voor mijn onderzoek een tijd in het gebied geweest. De verwoesting in de stad was enorm (figuur 3) en maakte diepe indruk op mij. Als waterbouwkundigen hebben we de taak dit soort rampen zoveel mogelijk te voorkomen door kennisontwikkeling en goede ontwerpen.



Figuur 3: Verwoesting in New Orleans, Lower 9th Ward, na orkaan Katrina in 2005

De ramp in New Orleans gaf ons inzicht in de verschillende mechanismen die waterkeringen kunnen doen falen (zie ook figuur 4). De doorbraken in het oosten van de stad ontstonden door water dat over de dijken sloeg. De doorbraken die het centrum van de stad troffen, werden veroorzaakt door geotechnische faalmechanismen die optraden terwijl het water nog onder de kruin van de dijk stond. De waterkering langs het 17th Street Canal faalde door horizontale afschuiving. Dit mechanisme trad later datzelfde jaar ook in ons land op bij de dijkdoorbraak in Wilnis. Langs een ander kanaal - het London Avenue Canal - ontstond een doorbraak door het mechanisme piping, waarbij de fundering van de dijk erodeert door grondwaterstroming.

Overloop en overslag



Aansluitingen en overgangen



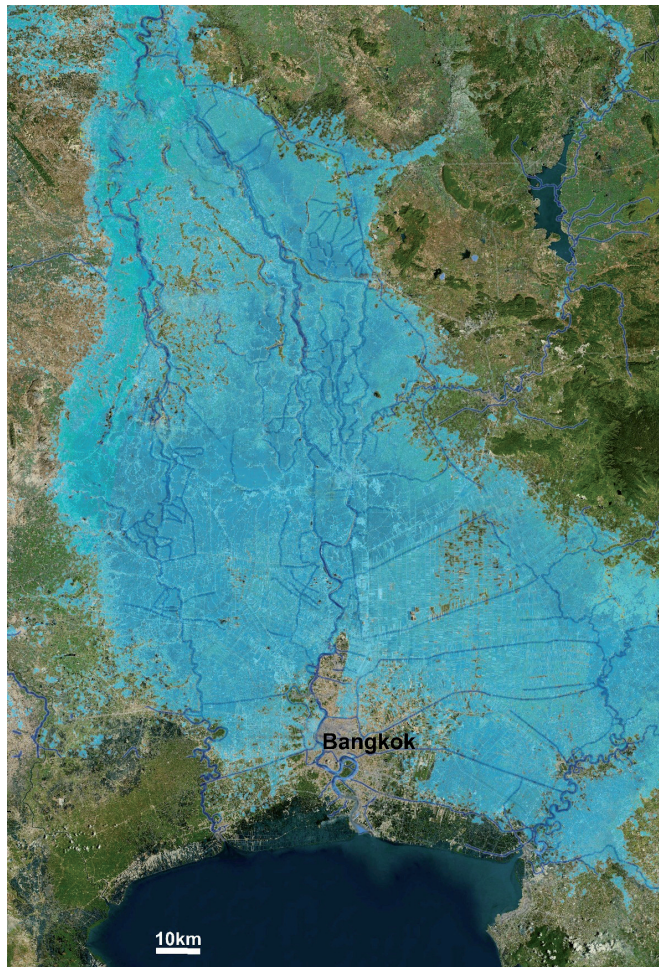
Horizontale afschuiving 17th Street Canal

Piping London Avenue Canal

Figuur 4: Faalmechanismen bij de overstromingen in New Orleans als gevolg van orkaan Katrina (2005)

In New Orleans (en later ook in Thailand) bleek dat met name aansluitingen tussen harde constructies en aarden dijken kwetsbaar waren. Ook in Nederland hebben we nog te weinig zicht op de veiligheid van deze aansluitingen. We doen hier met afstudeerders en Deltares onderzoek naar.

In de afgelopen jaren hebben we verschillende verkenningen uitgevoerd na buitenlandse overstromingen, niet alleen in New Orleans (2005), maar bijvoorbeeld ook in Thailand (na de rivieroverstromingen in 2011), Japan (na tsunami in 2011) en Duitsland (na de rivieroverstromingen in 2013). Deze verkenningen bevestigen dat de verschillende faalmechanismen die we in de risicoanalyses voor Nederland beschouwen, daadwerkelijk optreden. Ook geven de verkenningen meer inzicht in de schade door overstromingen.



Figuur 5: Overstroomd gebied langs de benedenloop van de Chao Phraya en het gebied rond Bangkok

Thailand (2011)

In januari 2012 hebben we de delta rond Bangkok (Thailand) bezocht na de grote rivieroverstromingen die het land in het najaar van 2011 troffen. In samenwerking met collega's van de Thaise Kasetsart universiteit hebben we onderzoek gedaan naar de oorzaken en gevolgen van deze grote overstromingen (ENW, 2012). Door hevige en langdurige regenval in het noorden van het land overschreed de afvoer in het riviersysteem van de Chao Phraya (ongeveer 5000 m³/s) ruimschoots de capaciteit van het systeem (ongeveer 3000-3500 m³/s). Het water vond ook hier de weg en grote gebieden langs de benedenloop van de rivier en rondom Bangkok overstroomden (Figuur 5). In totaal kwam een gebied zo groot als half Nederland onder water te staan.

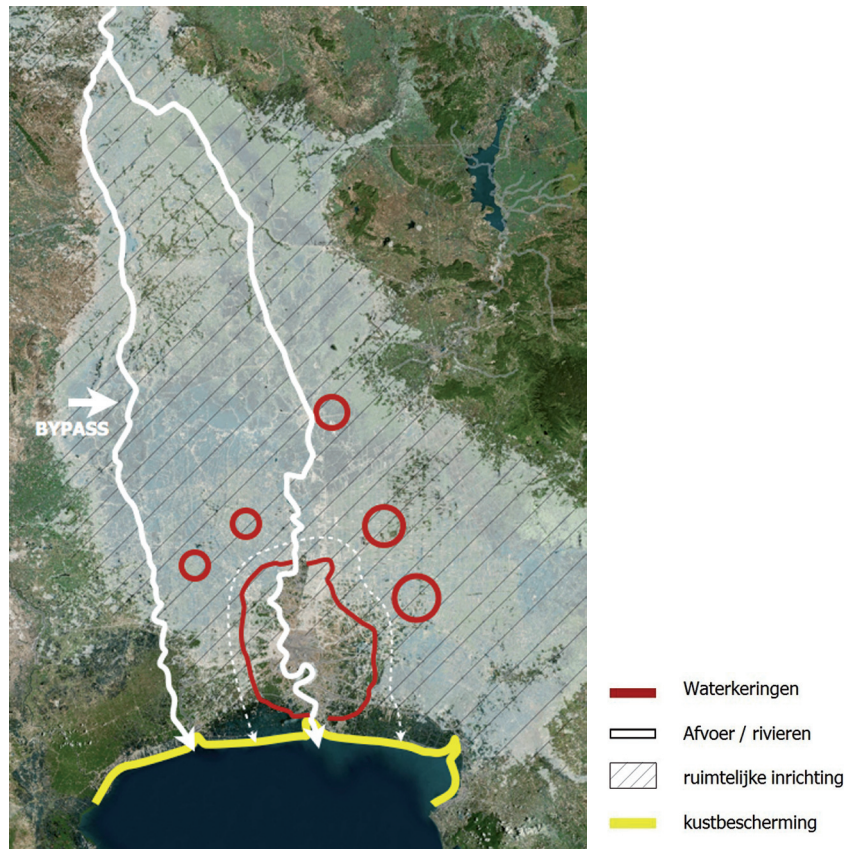
Om zulke grote rivierafvoeren gedurende lange tijd te bergen, zijn enorme gebieden nodig. Dergelijke retentie- of noodoverloopgebieden zijn in dichtbevolkte deltagebieden als Nederland en Thailand nauwelijks in te passen. Vergroting van de afvoercapaciteit lijkt hier vaak een beter en efficiënter alternatief met stukken minder ruimtebeslag.

De overstroming in Thailand liet ook zien dat de schade aanzienlijk groter is dan de materiële schade aan infrastructuur, gebouwen en goederen. Figuur 6 toont een afbeelding van één van de industriegebieden rond Bangkok die onder water kwamen te staan. Eén van de grootste Hondafabrieken ter wereld werd getroffen.



Figuur 6: Overstroming van Rojana Industrial Estate, Ayutthaya, nabij Bangkok (Wikipedia)

Bij de overstroming van Thailand bleek dat de bedrijfsuitval en het productieverlies, die voortduren nadat het water is verdwenen, een grote schadepost vormen. Schattingen laten zien dat de schade door bedrijfsuitval door deze overstroming groter was dan de materiële schade aan infrastructuur en gebouwen (Vilier, 2013). De effecten van de overstroming waren ook op wereldschaal merkbaar doordat bijvoorbeeld harddisks minder goed verkrijgbaar waren. Bij andere overstromingen zien we keteneffecten zoals de uitval van energie in een groter gebied en schade aan kritieke infrastructuur zoals kerncentrales na de tsunami in Japan. Hier ligt een nieuw onderzoeksterrein dat een multidisciplinaire aanpak vereist en dat ik daarom samen met prof. Matthijs Kok en collega's met verstand van industriële, logistieke en economische netwerken zal verkennen.



Figuur 7: Eerste ideeën voor mogelijke ingrepen in het kader van het delta- of masterplan voor Thailand. (vormgeving: Field Factors)

Deltaplannen

Na een ramp in een deltaland ligt de vraag over de (her)inrichting van de delta voor. Een goed voorbeeld is Thailand waar de overheid 10 miljard Amerikaanse dollars wil investeren in een deltaplan. Vanuit de universiteit kunnen we met studenten en onderzoekers meedenken over mogelijke oplossingsrichtingen door middel van ontwerpend onderzoek. Figuur 7 geeft een eerste mogelijke denkrichting voor een deel van Thailand. Voor de benedenloop van de Chao Phraya en het gebied rond Bangkok lijkt een combinatie van betere waterkeringen, meer afvoercapaciteit en goede ruimtelijke ordening nodig:

- Vergroting van de afvoercapaciteit van rivierensysteem is nodig. Dit is te bereiken door verbreding van bestaande rivieren, het weghalen van bottlenecks in het riviersysteem en uitbreiding van de afvoercapaciteit van verschillende stromen.
- Een goede bescherming van Bangkok en de industriegebieden met versterkte waterkeringen is noodzakelijk. Tijdens de overstromingen van 2011 bleek het water Bangkok binnen te lopen doordat enkele honderden meters van de ringdijk nooit zijn aangelegd (ENW, 2012). Voor zover bekend is dit gat tot op heden niet gedicht, maar het Don Muang vliegveld dat erachter ligt is inmiddels wel voorzien van betonnen keermuren.
- Voor de overige gebieden van de delta lijkt het interessant te verkennen hoe waterbeheer en inrichting ten behoeve van de landbouw te combineren zijn met beheersing van overstromingsrisico's. Hier lijkt het concept van meerlaagsveiligheid interessant.
- Aan de kust is sprake van ernstige erosie. Hier zijn verbetering van het kustbeheer en beschermende maatregelen nodig.

In verschillende delta's in Azië en Afrika blijven de infrastructuur en het waterbeheer achter bij de sterke economische groei en bevolkingstoename. Hierdoor nemen de problemen toe en er zal vraag blijven naar oplossingen en Nederlandse deltakennis. Waar mogelijk proberen we als universiteit bij te dragen en samen te werken met het bedrijfsleven. Dit doen we met de bovengenoemde verkenningen na overstromingen, participatie in deltaplannen en het opzetten van samenwerking op het gebied van onderwijs en (ontwerpend) onderzoek met buitenlandse universiteiten.

Het succes van de Nederlandse water(bouw)sector in het buitenland hangt naar mijn mening echter af van de wijze waarop we omgaan met een aantal belangrijke uitdagingen. Ten eerste is het zaak een goede balans te vinden tussen technisch-inhoudelijke water(bouwkundige) kennis en andere disciplines

zoals *governance*, ecologie en klimaatwetenschap. Een tweede aandachtspunt, zeker in Azië en Afrika, betreft het kostenniveau van de Nederlandse experts. Een Nederlandse adviseur kost zo'n 1000 euro per dag; dit is ongeveer het gemiddelde jaarsalaris in Vietnam. We moeten daarvoor echt meerwaarde bieden. Het lijkt verstandig advisering te koppelen aan bouw- en baggerprojecten van Nederlandse bedrijven. De advies- en ontwerpkosten vormen dan een relatief klein deel van de kosten van het hele werk. Ten derde is het van belang dat we in eigen land voldoende nieuwe aansprekende werken en projecten laten zien, want buitenlandse klanten en overheden zullen de aangeboden oplossingen eerst in ons eigen land willen zien.

Dit brengt me bij het tweede deel van mijn voordracht: de waterbouwkundige uitdagingen in Nederland.

Waterbouwkundige uitdagingen in Nederland

De geschiedenis laat zien dat de grote waterbouwkundige werken voortkomen uit een ramp, een bijna-ramp of maatschappelijke behoeften die door economische groei ontstaan. Voorbeelden van werken in deze drie categorieën zijn de aanleg van de deltawerken na de Watersnoodramp van 1953, het programma Ruimte voor de Rivier na het hoogwater van 1995 en de aanleg van de Tweede Maasvlakte vanwege de groei van de Rotterdamse haven. Mijn voorgangers prof. Vrijling en prof. Agema hadden de kans betrokken te zijn bij dergelijke grote werken.

Het is op dit moment minder duidelijk wat het volgende grote nieuwe werk in Nederland is. Met studenten kunnen we grote en uitdagende ingrepen blijven onderzoeken zoals het afdammen van de Westerschelde, de aanleg van een vliegveld in zee, het inpolderen van het Markermeer, het aanpassen van Waddenzee met harde ingrepen tegen de verdrinking of het afdammen van de Rijn en het naar buiten pompen van het water bij zeespiegelstijging. Het lijkt echter niet waarschijnlijk dat dergelijke grote ingrepen de komende decennia worden gerealiseerd. Toch spelen in Nederland belangrijke waterbouwkundige uitdagingen die voor de praktijk- en onderzoekers de nodige vragen oproepen en waarschijnlijk ook tot grote ingrepen leiden. Ik bespreek er drie:

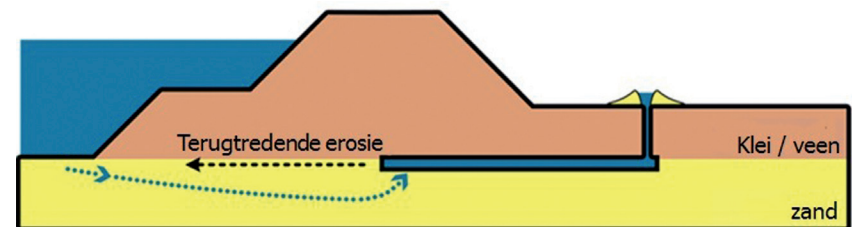
- het op orde brengen van ons waterkeringssysteem;
- het toekomstgericht aanpassen van de grote stormvloedkeringen, dammen en andere waterbouwkundige kunstwerken;
- het verder ontwikkelen van de benadering "bouwen met de natuur".

Waterkeringssysteem op orde

Net als het financiële huishoudboekje van ons land moeten we ook ons waterkeringssysteem op orde brengen. De totale lengte aan primaire waterkeringen bedraagt ongeveer 3800 kilometer. Uit de laatste toetsing blijkt dat ongeveer een derde van onze waterkeringen - zo'n 1225 kilometer - niet aan de normen voldoet (Inspectie Verkeer en Waterstaat, 2011). De afgekeurde keringen staan niet direct op instorten, maar zijn simpelweg niet zo veilig als vereist volgens de Waterwet. Bovenop deze opgave komen nog de geconstateerde problemen door het faalmechanisme piping (zie hieronder). Tot slot heeft minister Schultz recent aangekondigd dat zij de normen voor de waterkeringen wil aanpassen. Vooral voor het rivieren- en het Rijnmondgebied zal dit naar verwachting een aanscherping van het veiligheidsniveau betekenen. De aanpassingen voor piping en de nieuwe normen concentreren zich in het rivierengebied. Al met al kan dit inclusief de opgave uit de toetsing leiden tot een totaal van 1500 tot 2000 kilometer te versterken waterkering in de komende decennia. Ik ga hieronder nader in op het faalmechanisme piping en noodmaatregelen die toepasbaar zijn als piping daadwerkelijk optreedt.

Piping

Een dijk faalt door piping (onderloopsheid) als een waterstandverschil over een dijk resulteert in een grondwaterstroom onder de dijk en uitspoelend zand (figuur 8). Aan de landzijde van de dijk ontstaan zogenaamde wellen (figuur 9, links) die water en zand mee kunnen voeren. Door middel van zandzakken en andere noodmaatregelen (figuur 9, rechts) probeert men het proces te beheersen en de grondwaterstroom te stoppen door de waterstand aan de binnenzijde van de dijk op te zetten (het zogenaamde opkisten). Als de erosie desondanks doorzet, raakt de dijk ondermijnd en stort hij uiteindelijk in.



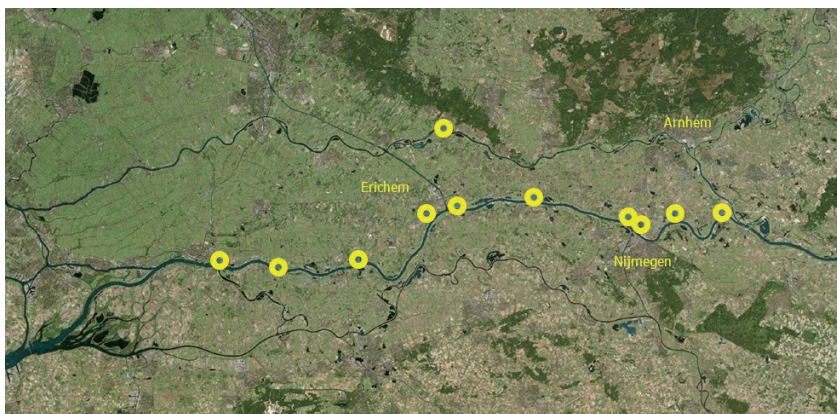
Figuur 8: Overzicht van het mechanisme piping (gebaseerd op: Deltares, 2012)

De studies naar overstromingskansen zoals Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) laten zien dat vooral de kans op het mechanisme piping veel groter



Figuur 9: Links: Zandmeevoerende wellen (bron: TAW, 1995); rechts: Noodmaatregelen tegen piping tijdens het hoogwater van 2011 (bron: Waterschap Rivierenland)

is dan gedacht en gewenst. Voor veel dijken in het rivierengebied zijn overstromingskansen als gevolg van piping van 1/50 tot 1/100 per jaar berekend. Het mechanisme is niet alleen 'op papier' een gevaar: dijkdoorbraken in New Orleans (zeer snelle doorbraak in 2005), Zalk (1926) en Californië (onder meer in 2006) onderschrijven dit. Er is dus sprake van een reëel gevaar en niet van een rekenfout (ENW, 2011). Ook bij ieder hoogwater in Nederland zien we pipingverschijnselen optreden. Dit was bijvoorbeeld het geval tijdens het hoogwater van 2011 in het rivierengebied. Met een waterstand van NAP +15,5m bij Lobith en een herhalingsjijd van ongeveer eens per vijf jaar, was het geen uitzonderlijk hoogwater. Waterschap Rivierenland constateerde niettemin op achttien locaties piping (figuur 10; Arcadis, 2012).



Figuur 10: Pipinglocaties in het rivierengebied tijdens het hoogwater van 2011 (bron: Waterschap Rivierenland, vormgeving: Field Factors)

Bij hogere waterstanden zal meer druk op de dijken staan en zullen nog meer pipinglocaties ontstaan, ook op onverwachte plekken. Observaties tijdens het hoogwater van 1995, waarbij op 180 locaties wellen zijn geconstateerd, illustreren dit (TAW, 1995). Hoe hoger de waterstand, hoe minder goed beheersbaar de situatie en hoe groter de kans op doorbraak.

Gelet op het pipingprobleem is nu opnieuw sprake van een forse versterkingsopgave, vooral in het rivierengebied. Het programma Ruimte voor de Rivier heeft alleen invloed op de waterstanden (de belasting), terwijl voor piping juist de sterkte van de dijk (of het gebrek daaraan) van belang is. Een eerste ruwe schatting van het ENW (2011) gaf aan dat vanwege piping 1100 kilometer dijken versterkt zou moeten worden. Door lokaal grondonderzoek zal deze opgave enkele tientallen procenten kleiner uit kunnen vallen. Recent onderzoek in onze groep, van de promovendi Kanning (2013) en Schweckendiek (2013, proefschrift in voorbereiding), geeft meer inzicht in het effect van de variatie in grondeigenschappen en historische waarnemingen op de veiligheid. Door deze kennis krijgen we het pipingprobleem beter in beeld en kunnen we meer effectieve maatregelen nemen.

Ook de overige faalmechanismen vragen onze aandacht. In Zeeland treden regelmatig plotselinge afschuivingen onder water op, de zogenaamde zettingsvloeiingen, onder meer bij de Oosterscheldekering. Ook blijkt dat zwakke plekken in de grasmatten en aansluitingen met harde constructies sterk bepalend zijn voor de hoeveelheid golfoverslag die dijken kunnen hebben. Net als voor piping geldt daarmee ook voor overslag een "lengte-effect": hoe langer het dijkenstelsel, des te groter de kans op een zwakke plek.

Er is dus alle reden om het onderzoek naar faalmechanismen van waterkeringen aan de TU Delft voort te zetten. Soms zullen we beleidsmakers verrassen met nieuwe inzichten die gunstig uitpakken ("veiliger dan gedacht"), maar soms zullen wij nieuwe problemen en zwakke plekken ontdekken. Het is echter beter dat we deze problemen signaleren door onderzoek, dan dat ze aan het licht komen door incidenten of dijkdoorbraken.

Noodmaatregelen en de Delftse Proefpolder

Noodmaatregelen zoals zandzakken worden tijdens hoogwater ingezet om de risico's van piping en andere mechanismen te beheersen. Er is echter nog weinig zicht op de effectiviteit en de bijdrage aan de veiligheid. Voor een geslaagde werking van een noodmaatregel moet sprake moet zijn van een tijdige detectie van het probleem, een snelle en betrouwbare plaatsing en een veilige noodconstructie van bijvoorbeeld zandzakken. Dit betekent dat naast techniek

ook organisatie en logistiek aandacht verdienen. We voeren op het moment voor de STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer) onderzoek uit naar de effectiviteit en betrouwbaarheid van noodmaatregelen. Dit onderzoek is ook internationaal relevant, omdat in gebieden met zwakke dijken zwaar wordt ingezet op noodmaatregelen. Dit was bijvoorbeeld het geval tijdens de overstromingen in Thailand (2011) en het recente hoogwater in Duitsland (juni 2013).

Op terrein van de TU Delft is een proefpolder aangelegd in het kader van het programma "Flood Proof Holland". We doen hier onderzoek met onze studenten en ontwikkelaars van tijdelijke waterkeringssystemen (figuur 11). In deze proeftuin kunnen we nieuwe inzichten opdoen in de werking van dergelijke noodmaatregelen. De huidige polder is geschikt voor proeven met een klein verval (ongeveer 1 meter waterstandsverschil). Het is mijn voorstel deze polder in de toekomst uit te breiden en te verdiepen, om zo experimenten met grotere vervallen (3 tot 4 meter) en echte waterkeringen te kunnen doen. Bepaalde mechanismen en fenomenen kunnen immers beter op ware schaal worden beproefd. Zo kunnen we onderzoek doen naar onder meer bresvorming, faalmechanismen als piping en overslag, de gevolgen van een doorbraak en de werking van sensoren en andere nieuwe maatregelen. Deze Delftse proefpolder kan ook een goed uithangbordje vormen voor onderzoekers en bedrijven en een aantrekkelijke locatie zijn om buitenlandse delegaties te ontvangen die ons land bezoeken.



*Figuur 11: Experiment door student civiele techniek Bianca
Stoop in de proefpolder in Delft (mei 2013)*

Stormvloedkeringen en dammen

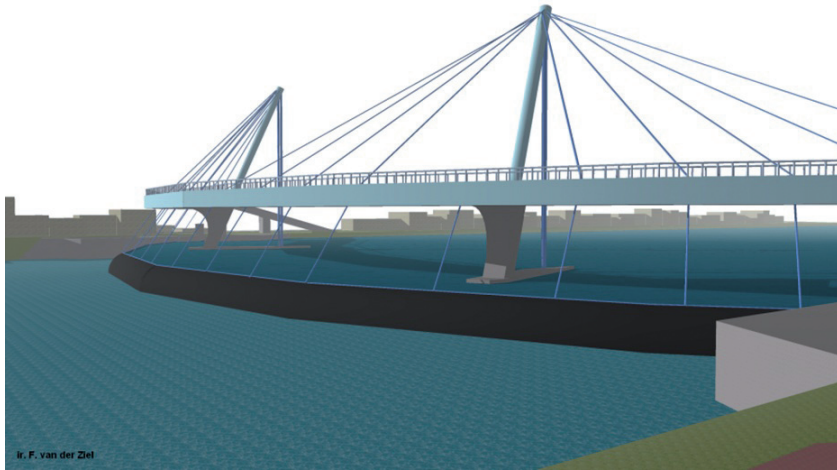
Een belangrijk thema in ons land betreft de bescherming tegen stormvloed. De zandige delen van de kust zijn mede door zandsuppleties en brede duinen veilig. Hier gelden zeer kleine doorbraakkansen, doorgaans kleiner dan 1 miljoenste per jaar (Vuik *et al.*, 2012). Ook dammen en stormvloedkeringen zijn essentiële elementen van het hoogwaterbeschermingssysteem langs onze kust, maar de laatste jaren zijn hier de nodige problemen naar voren gekomen:

- De Afsluitdijk voldoet niet aan de veiligheidseisen uit de Waterwet en is toe aan een opknapbeurt om de dam meer overslagbestendig te maken.
- De Maeslantkering en Hollandse IJsselkering blijken niet aan de vereiste eisen voor de betrouwbaarheid van sluiten te voldoen.
- Aan de rand van de bodembescherming van de Oosterscheldekering zijn ontgrondingskuilen van meer dan 50 m diep ontstaan die een bedreiging hebben gevormd voor de veiligheid van de nabijgelegen dijken.

Deze problemen staan in een bredere context. Veel waterbouwkundige kunstwerken en constructies in Nederland zijn in de jaren 50, 60 en 70 van de vorige eeuw aangelegd en inmiddels aardig op leeftijd. De bouwwerken beginnen problemen te vertonen met gevolgen voor de veiligheid en beschikbaarheid voor bijvoorbeeld de scheepvaart.

Deze situatie betekent dat het perspectief van de waterbouwkunde deels zal gaan verschuiven van de (nieuw)bouw van nieuwe constructies naar vervanging en aanpassing van bestaande constructies. Ook is er toenemende aandacht voor thema's als beheer en onderhoud en asset management. Rijkswaterstaat is beheerder van een groot aantal stormvloedkeringen en kunstwerken en heeft deze opgave scherp op het netvlies. De afgelopen jaren zijn in de programma's Risico Inventarisatie Natte Kunstwerken (RINK) en Vervangingsopgave Natte Kunstwerken (VONK) grote stappen gemaakt met het in beeld brengen van de risico's en de vervangingsopgave voor het kunstwerkenareaal.

Vanuit de universiteit kunnen we met ontwerpend onderzoek laten zien hoe nieuwe materialen (zoals geotextiel en kunststof) en nieuwe typen keringen een bijdrage kunnen leveren aan het verbeteren van de levensduur en de functionaliteit. Een goed voorbeeld is het afstudeeronderzoek van Floris van der Ziel (2009) naar de parachutekering van geotextiel (figuur 12).

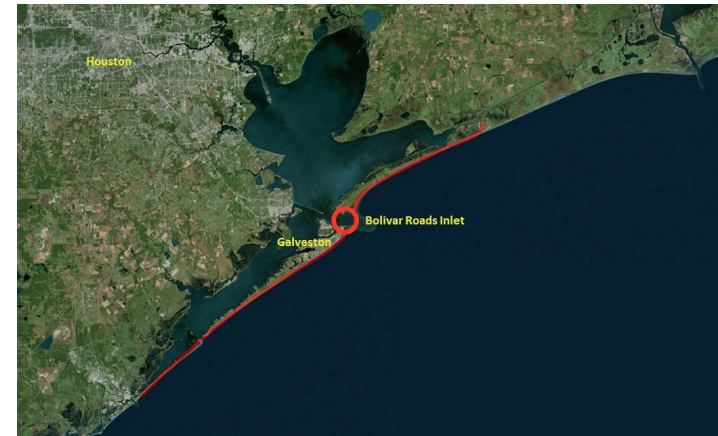


Figuur 12: Parachutekering in de Merwede (Van der Ziel, 2009), mede gebaseerd op het idee van de spinakerkering van prof. Vrijling uit de jaren tachtig

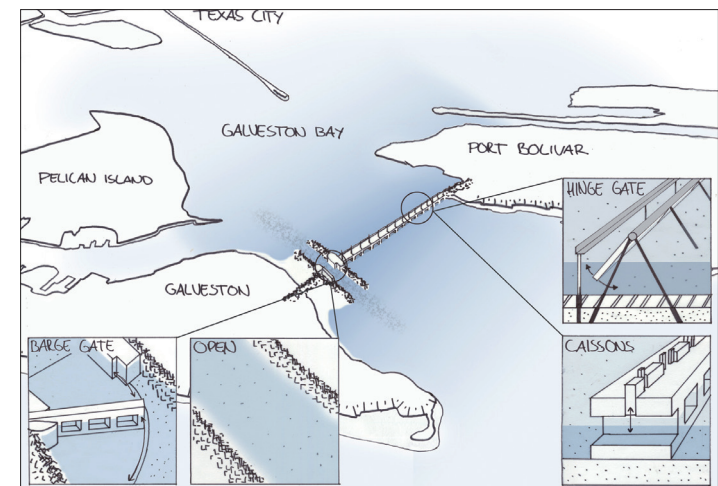
In eigen land worden naar verwachting in de nabije toekomst weinig nieuwe grote stormvloedkeringen ontworpen. In het buitenland is er wel belangstelling voor deze vorm van kustverdediging. Stormvloedkeringen vormen dan ook een interessant exportproduct voor Nederlandse bedrijven. Een voorbeeld van een buitenlandse verkenning betreft het plan dat prof. Merrell heeft ontwikkeld om overstromingen door orkanen aan de Texaanse kust nabij Houston te voorkomen. Het voorgestelde kustbeschermingssysteem "Ike Dike" bestaat uit duinen en dijken in stedelijk gebied en een stormvloedkering in de Bolivar Roads Inlet. Deze inlet is 3 kilometer breed en tot 20 meter diep (zie de cirkel in figuur 13).

Onderzoekers en afstudeerders uit onze groep zijn samen met experts uit de private sector betrokken bij de uitwerking van dit plan. Het is uitdagend een goede oplossing voor een stormvloedkering op deze locatie te vinden, gelet op het complexe en snel veranderende verloop van de waterstanden die voor en achter de kering zullen optreden. Dit is het gevolg van de orkaan die met draaiende windvelden snel overtrekt. De eerste ideeën voor de kering zijn samengevat in figuur 14. In het aanwezige scheepvaartkanaal kan gekozen worden voor een invaarbare "barge gate" die met het verval over de kering sluit of opent. Omdat er met de Galveston Bay een groot basin achter de kering aanwezig is zou deze sectie tijdens een orkaan zelfs opengelaten kunnen worden zonder dat de waterstanden in de baai zeer sterk toenemen. Voor het overige deel van de kering kan gekozen voor afsluitbare caissons. Door prof. de Ridder is een

meer innovatief ontwerp van een klapdeur ("hinge gate") voorgesteld, maar dit behoeft nadere uitwerking van de constructie en de dynamica. De voorgestelde kering zal een beperkte invloed hebben op de instroming in het estuarium in normale condities, en kan inspelen op de verschillende belastingsituaties die bij de kering kunnen optreden in extreme omstandigheden.



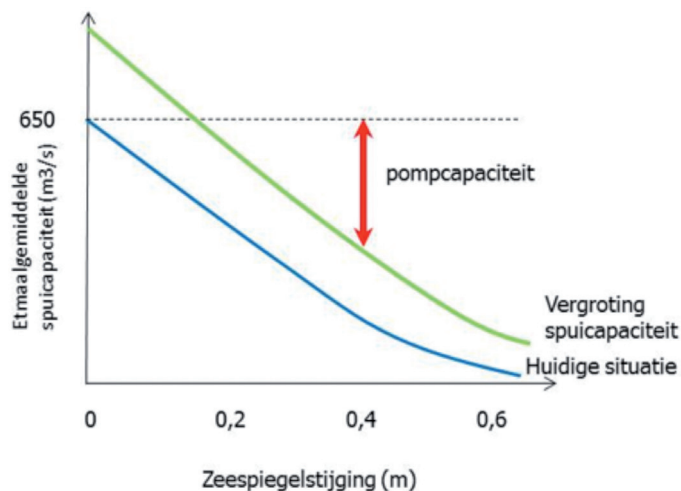
Figuur 13: Het gebied rond Galveston en Houston en het mogelijke tracé van het systeem Ike Dike (rode lijn). In de Bolivar Roads Inlet (rode cirkel) zou een stormvloedkering kunnen komen.



Figuur 14: Eerste schetsontwerpen voor mogelijke oplossingen voor een stormvloedkering in de Bolivar Roads Inlet in Texas. (Vormgeving: D.efact.to)

Toekomstige aanpassingen van harde keringen

In eigen land willen we ons richten op ontwerpend onderzoek voor de aanpassing van bestaande keringen aan veranderende veiligheidseisen en randvoorwaarden. De zeespiegelstijging blijkt vaak een sterk sturende factor in de benodigde aanpassingen en bepaalt bijvoorbeeld de sluitfrequentie van de Maeslantkering en de beschikbare spuicapaciteit van de sluizen in de Afsluitdijk. De spuicapaciteit van de sluizen van het IJsselmeer naar de Waddenzee neemt af met zeespiegelstijging. Om bij zeespiegelstijging voldoende spuicapaciteit te houden kan men kiezen voor de aanleg van extra spuisluizen of de inzet van pompen. Figuur 15 toont schematisch de effecten van ingrepen. De spuicapaciteit daalt ook bij uitbreiding snel met een stijgende zeespiegel. Pompen zijn doorgaans duurder maar effectiever bij grote zeespiegelstijging.

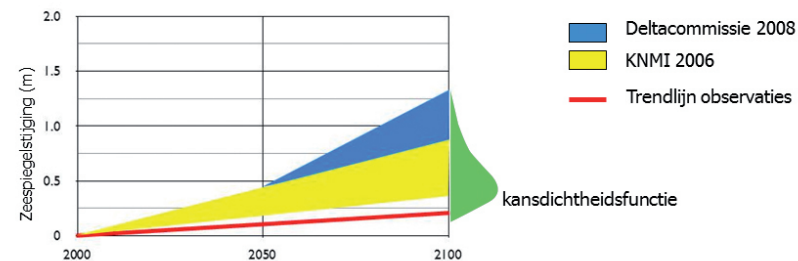


Figuur 15: Schematische weergave van het effect van zeespiegelstijging op de beschikbare spuicapaciteit in de Afsluitdijk (gebaseerd op: Voortman, 2012)

De benodigde aanpassing hangt dus sterk af van de verwachte zeespiegelstijging. De Deltacommissie (2008) en het KNMI geven hier schattingen met bandbreedtes voor. Opvallend is dat extrapolatie van de tot op heden gemeten zeespiegelstijging (0,20 tot 0,25 meter per eeuw) onder beide bandbreedtes uitkomt (zie figuur 16).

Grote aanpassingen, zoals die aan de Afsluitdijk, moeten 50 tot 100 jaar mee kunnen. Het lijkt het verstandig om voor beslissingen over aanpassingen de onzekerheid in de zeespiegelstijging in beeld te brengen en te kwantificeren

door middel van een kansverdeling. Hierdoor krijgen we beter inzicht in het meest waarschijnlijke zeespiegelstijgingsscenario en de verwachte spreiding. In het buitenland brengt men deze onzekerheden reeds op probabilistische wijze in beeld (Titus and Narayan, 1995; Perrette *et al.*, 2013), maar in ons eigen land nog niet. In sommige gevallen kan het verstandig zijn met grote aanpassingen te wachten tot meer zekerheid bestaat over de daadwerkelijke veranderingen in de zeespiegel en de spreiding is verminderd.



Figuur 16: Scenario's voor de zeespiegelstijging in deze eeuw

In het Deltaprogramma krijgt het omgaan met deze problematiek aandacht onder de fraaie noemer "adaptief deltamanagement". Ik zie het als een uitdaging dit concept invulling te geven en uit te werken met onderzoekers op het gebied van klimaat, besiskunde en waterbouwkunde en met Rijkswaterstaat. Door waterbouwkundig ontwerp te combineren met besiskunde en klimaatwetenschap kunnen we tot goede beslissingen en optimale ontwerpen komen. Mede aan de hand van casussen zoals de aanpassing van de Afsluitdijk en de sluizen bij IJmuiden kunnen we deze benadering vormgeven.

Bouwen met de natuur

Er is sprake van "vergroening van de waterbouwkunde". De benadering Bouwen met de Natuur (Waterman, 2008) biedt een interessante combinatie tussen waterbouw, ecologie en bestuurskunde en kan bijdragen aan oplossingen met meerwaarde. Het linker deel van figuur 17 toont enthousiaste krantenkoppen die aangeven hoe natuurlijke oplossingen kunnen bijdragen aan de veiligheid.

Er zijn echter nog de nodige vragen rondom het bouwen met de natuur. Een algemeen kenmerk is dat natuurlijke oplossingen, zoals een zandmotor, zich dynamischer en onzekerder gedragen dan harde oplossingen, zoals een dijk of een dam. Vaak is dat juist de bedoeling, maar de natuur doet niet altijd wat we willen.

Een voorbeeld betreft de zandmotor die zich sneller bleek te verplaatsen dan gedacht. Deze ontwikkeling had effect op de zwemveiligheid. Door een wat paniekerige reactie van de beheerders is de zachte zandmotor tijdelijk voorzien van een harde verdediging (figuur 17, rechts).



Figuur 17: Krantenkoppen over Bouwen met de Natuur (NRC Next, Volkskrant, NRC)

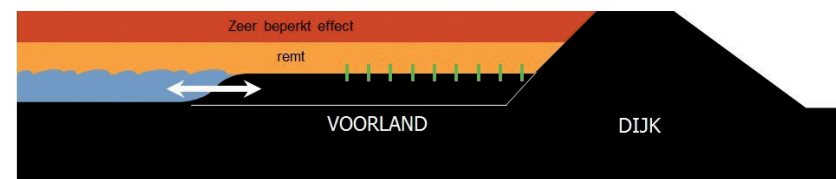
Een tweede voorbeeld van de moeilijk beheersbare natuur komt voort uit het programma Ruimte voor de Rivier. Het de bedoeling dat de afvoercapaciteit van de grote rivieren in ons land door rivierverruiming toeneemt. De begroeiing die in het verruimde rivierbed opkomt, blijkt de hydraulische ruwheid van de rivier te doen toenemen. Hierdoor worden de waterstanden weer opgestuwd. Dit negatieve effect was binnen het programma onvoldoende voorzien. Men is nu gedwongen de rivier te stroomlijnen of vegetatie “cyclisch te verjongen”, wat in de praktijk het kappen van begroeiing in de uiterwaarden betekent.

Als we gaan bouwen met de natuur wordt de natuur onderdeel van ons bouwwerk. De les is dat natuurlijke systemen zich dynamischer en sneller ontwikkelen dan harde constructies, soms wel en soms niet op een manier die we willen. Er kunnen conflicten ontstaan tussen verschillende functies, bijvoorbeeld tussen veiligheid en natuurontwikkeling. Bij natuurlijke oplossingen zal intensievere monitoring nodig zijn en moet van tevoren bekend zijn vanaf welke grenswaarden men moet ingrijpen voor verschillende functies. Het beheer van deze dynamische oplossingen is complex en het benodigde samenspel tussen waterkeringsbeheerders, natuurbeheerders en andere betrokkenen hebben we nog niet goed in de hand, zo blijkt ook uit de voorbeelden.

Veilig bouwen met de natuur

Een belangrijke vraag is hoeveel natuurlijke oplossingen bijdragen aan de veiligheid van waterkeringen. In onder meer Zeeland en Noord Nederland

komen voorlanden en kwelders voor. Deze voorlanden remmen de golven in normale omstandigheden, maar zijn minder effectief bij de hoge waterstanden en golven die we in maatgevende condities mogen verwachten (figuur 18). Ook zijn de ligging en de stabiliteit van de voorlanden op langere termijn onzeker. Vanwege deze onzekerheden worden voorlandoplossingen nog maar beperkt toegepast bij het versterken van dijken.



Figuur 18: Schematisch effect van een voorland voor een dijk op waterstanden en golven. (vormgeving: Field Factors)

Het is daarom nuttig meer onderzoek te doen naar de bijdrage van dergelijke natuurlijke systemen aan de veiligheid en de manier waarop het dynamische en onzekere gedrag (positief of negatief) doorwerkt. Dit kunnen we bereiken door de kennis van ecologen en morfologen te combineren met de waterbouwkundige en probabilistische kennis die mijn leerstoel in huis heeft. Mede door een recent ingediend NWO-voorstel, dat op grote steun van bedrijven, natuurorganisaties en overheden kan rekenen, beogen we meer zicht te krijgen op de zekerheid en veiligheid van natuurlijke oplossingen. Door deze kennis kunnen we natuurlijke oplossingen straks beter ontwerpen, aanleggen en toepassen bij dijkversterkingen.

Bouwen aan de leerstoel

In het laatste deel van mijn voordracht wil ik ingaan op de samenwerking binnen en buiten de universiteit. Om de nationale en internationale uitdagingen aan te pakken is het voor het werkveld en de maatschappij essentieel dat we nieuwe waterbouwkundige ingenieurs blijven afleveren. Nog wel belangrijker dan de wetenschappelijke onderzoeksoutput (journal papers en proefschriften) is daarom de “output” aan afgestudeerden op ons vakgebied. Onze tientallen nieuwe waterbouwkundige ingenieurs per jaar zijn de beste vorm van valorisatie. Gelukkig weten de studenten de afdeling en onze sectie goed te vinden. Op dit moment zijn ongeveer 25 afgestudeerden binnen de sectie actief, die bijna allemaal in samenwerking met bedrijven en onderzoeksinstituten afstuderen. Het is een voorrecht om met deze enthousiaste en zelfstandig opererende studenten te werken. We willen onze studenten niet alleen de sommen goed laten maken, maar vooral ook de goede sommen. Een goed begrip en een goede

schematisering van de waterbouwkundige vraagstukken zijn daarbij essentieel. De vele beschikbare numerieke modellen zijn een hulpmiddel om problemen op te lossen. Goed onderwijs blijft de basis van het academische werk en het is van belang dat dit voldoende waardering krijgt binnen de universiteit, ook in het loopbaan- en aannamebeleid.

Binnen de afdeling is de samenwerking met onder meer de collega's van vloeistofmechanica en kustwaterbouwkunde uitstekend. Op de grensvlakken liggen interessante onderzoeksvragen, bijvoorbeeld op het gebied van de onzekerheden en veiligheidsopbrengst van zandige oplossingen voor de kust en andere natuurlijke oplossingen.

De samenwerking binnen de universiteit willen we versterken door de oprichting van het Delft Flood Risk Center. Het zou goed zijn als studenten waterbouwkunde in de toekomst in projectonderwijs en afstudeerprojecten meer met hun collega's van bouwkunde en technische bestuurskunde gaan samenwerken. Veel maatschappelijke vraagstukken vragen immers om een geïntegreerde en multidisciplinaire aanpak.

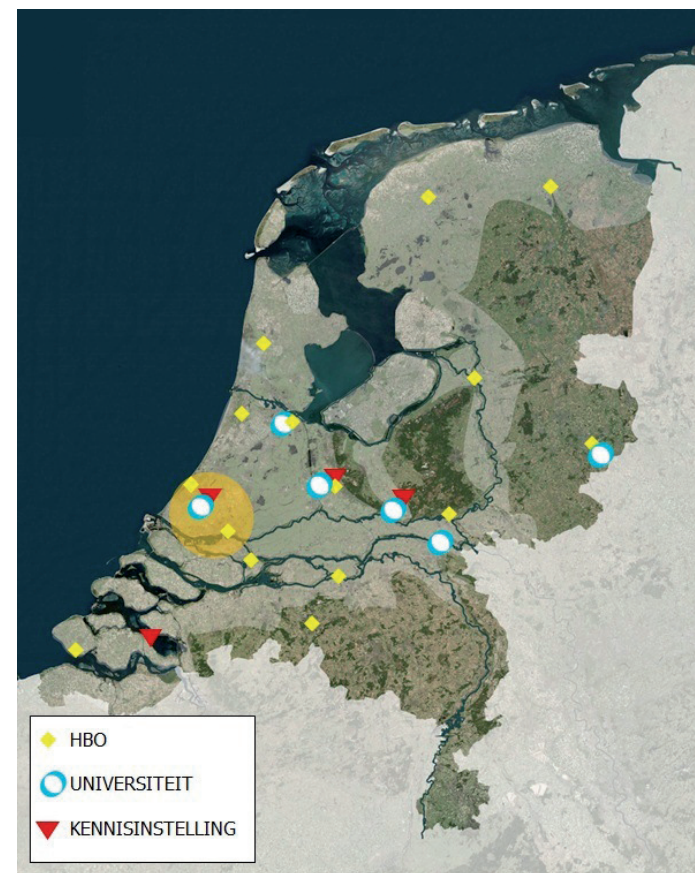
De goede samenwerking tussen universiteiten en bedrijven vormt het fundament voor de Nederlandse waterbouwkunde (Vrijling, 1990). Het is daarom van belang dat het gat tussen theorie en praktijk niet te groot wordt. Ik kijk er dan ook naar uit om de goede samenwerking met bedrijven, Deltares en Rijkswaterstaat voor te zetten. De inbreng van deze partijen in het onderwijs en onderzoek, onder meer via de steuncampagne voor de faculteit, wordt door onze afdeling zeer gewaardeerd. Binnen de universiteit moeten we voldoende ruimte houden voor ontwerp- en ingenieurskennis en -ervaring. De onderscheidende kracht van de TU Delft ligt immers in de combinatie van *science*, *engineering* en *design*.

Tot slot zullen we aan de maatschappelijke discussie blijven bijdragen via verschillende kanalen, zoals de media en adviescommissies zoals het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW).

Het Silicon Valley van de waterbouw?

Waterbouwkunde en deltatechnologie staan breed in de belangstelling, mede in het kader van de Topsector Water. Op verschillende plaatsen worden nieuwe delta-instituten opgezet die zich richten op onderwijs en soms ook op onderzoek. Vaak worden brede opleidingen aangeboden op het grensvlak van waterbouw, ecologie en bestuurskunde, maar het is goed te kijken aan welke opleidingen

maatschappelijk behoefte is. Figuur 19 geeft een overzicht van onderzoeks- en onderwijs instellingen die actief zijn op het gebied van waterbouwkunde en deltatechnologie.



Figuur 19: Globaal overzicht van opleidings- en onderzoeksinstellingen op het gebied van deltatechnologie en waterbouwkunde in Nederland. Wordt de oranje cirkel het Silicon Valley van de waterbouwkunde? (vormgeving: Field Factors)

Het lijkt niet verstandig de beperkte middelen, kennis en docentencapaciteit op het gebied van waterbouwkunde in ons land te versnipperen en te laten verwateren. Door onderwijs, onderzoek en commerciële activiteiten in een regio te bundelen, kunnen ze elkaar versterken. Een voorbeeld is de brainport

Eindhoven op het gebied van ICT-technologie. De as Den Haag-Delft-Rotterdam/Rijnmond zou met de concentratie van kennisinstellingen, overheden en bedrijven kunnen uitgroeien tot het Silicon Valley van de waterbouwkunde.² Maar net als in het echte Silicon Valley in Californië zijn duidelijke grenzen van dit gebied niet aanwezig. De nabijheid van zichtbare werken zoals de deltawerken, de Maasvlakte en de zandmotor zullen de uitstraling van de waterbouwkundige brainport versterken.

Afsluiting

Ik kom tot een afronding. We keren terug naar Erichem in de Betuwe (figuur 1). De laatste grote overstroming vond hier in de negentiende eeuw plaats, maar in 1995 moest het gebied voor het hoogwater geëvacueerd worden. Zijn de bewoners na uitvoering van het programma Ruimte voor de Rivier veilig? Of biedt de inzet van meerlaagsveiligheid hier een oplossing? Duidelijk is dat er in ieder geval nog veel werk te verrichten is om ons waterkeringssysteem en vooral de rivierdijken op orde te brengen. Onderzoek naar faalmechanismen van waterkeringen, zoals piping, en slimme oplossingen daarvoor blijven nodig.

De tweede grote opgave betreft het toekomstgericht aanpassen en verbeteren van onze grote waterbouwkundige constructies. We zullen onzekerheden in zeespiegelstijging beter in beeld moeten brengen en moeten meenemen in de ontwerpbeslissingen en aanpassingen.

Als we ook in de toekomst in eigen land nieuwe werken en projecten laten zien, dan kunnen we ook blijven meedenken en meebouwen aan deltawerken in het buitenland, van Thailand tot Texas.

Dames en heren, we zien bij buitenlandse overstromingen, en in eigen land bij het mechanisme piping, dat het water de weg weet te vinden - regelmatig op een manier die we niet willen. De nieuwe zachte benaderingen die in de waterbouwkunde zijn geïntroduceerd kunnen soms een oplossing bieden. Maar waterbouwkundige constructies en systemen zullen nodig blijven om het water te benutten, te sturen en waar nodig tegen te houden. Vernieuwing van de waterbouwkunde blijft noodzakelijk om in te spelen op veranderingen in de maatschappelijke en natuurlijke randvoorwaarden. Om rampen te voorkomen en de welvaart te verbeteren zullen we nieuwe inzichten moeten blijven opdoen in de werking van waterkeringen en andere waterbouwkundige constructies.

Bij de invulling van de leerstoel volg ik de weg die door Han Vrijling en zijn

voorgangers is ingezet, maar ik zal regelmatig ook nieuwe benaderingen onderzoeken. Ik wil mijn voormalige werkgevers, Rijkswaterstaat, Royal HaskoningDHV en UC Berkeley, bedanken voor de ruimte die ze me hebben gegeven om aan mijn academische ambities te werken.

Hooggeleerde heer Vrijling, beste Han, dank voor de samenwerking. We hebben samen menig deltaland bezocht. Wat ik zeer waardeer is dat je bij projecten en onderzoeken jonge mensen hebt betrokken en ze snel veel verantwoordelijkheid hebt gegeven. Mede hierdoor heb je een nieuwe generatie waterbouwers opgeleid. Zij kunnen het vakgebied nu zelf verder vormgeven. Maar gelukkig ben je nog zeer regelmatig aanwezig om mij, Matthijs en anderen van gevraagd en ongevraagd advies te voorzien.

Ik dank de Technische Universiteit Delft voor het in mij gestelde vertrouwen dat blijkt uit deze aanstelling.

Ik kijk ernaar uit om de komende jaren samen te werken met studenten en collega's binnen de afdeling en de universiteit, en met bedrijven en de overheden en zo invulling te geven aan de leerstoel integrale waterbouwkunde.

Ik heb gezegd.

² Deze term is geïntroduceerd in een artikel van de Duitse ZDF door D. von Throta "Im Silicon Valley des Wasserbaus" <http://m.zdf.de/ZDF/zdfportal/xml/object/25839336> (mei 2013).

Referenties

- Arcadis (2011) Hoogwater 2011: onderzoek zandmeevoerende wellen.
Rapport 075609626:0.5 - Concept
- Deltacommissie (2008) Samen werken met water.
Bevindingen van de Deltacommissie 2008. Hollandia Printing.
- ENW (Expertise Netwerk Waterveiligheid) (2011) Piping, Realiteit of Rekenfout.
ENW rapport januari 2010.
- ENW (Expertise Netwerk Waterveiligheid) (2012) Post-flood investigation
in the Lower Chao Phraya River Basin. ENW rapport Mei 2012.
- Inspectie Verkeer en Waterstaat (2011) Derde toets primaire waterkeringen.
Rapport IVW/WB/2011/000002
- Kanning (2012) The weakest link Spatial Variability in the Piping Failure
Mechanism of Dikes. PhD thesis. Delft University of Technology.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2013) Koersbepaling waterbeleid
en toezeggingen WGO van 10 december 2012. Brief Ministerie van I
en M IENM/BSK 2013/19920
- Perrette M., Landerer F., Riva M., Frieler K., Meinshaus F. (2013) A scaling
approach to project regional sea level rise and its uncertainties.
Earth systems Dynamics 4, pp. 11-29
- Schweckendiek, T. (2013). On Reducing Piping Uncertainties - A Bayesian
Decision Approach. *PhD-thesis (in voorbereiding)*. Department of Hydraulic
Engineering, Delft University of Technology.
- TAW (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen) (1995)
Druk op de Dijken. TAW, Delft, 1995.
- Titus J.G., Narajan V.K. (1995) The probability of sea level rise.
US Environmental Protection Agency Report EPA 230-R-95-008
- Van der Ziel F. (2009) Movable water barrier concept for the 21st century.
Msc thesis TU Delft.
- Vilier J.J.T.A. (2013) Assessment of the Costs of Business Interruption
caused by Large-scale Floods. Msc Thesis TU Delft.
- Voortman H.G. (2012) Design, decision-making and uncertainty - Project "ESA",
practical applications of probabilistic methods. Gastcollege CIE4130,
TU Delft, Citg, 18 december 2012.
- Vrijling J.K. (1990) Kansen in de waterbouwkunde. Inaugurele rede TU Delft.
17 januari 1990.
- Vuik V., van Balen W. (2012) Overstromingskansen langs de Nederlandse Kust.
HKV Lijn in water, presentatie voor ENW Veiligheid 6 november 2012.

**Faculteit Civiele Techniek
en Geowetenschappen**

Stevinweg 1
2628 CN Delft

Tel: +31 (0)15 27 84915

www.tudelft.nl