



Oratie

Per kerend tij: het spel van water en zand in rivieren en delta's

Maarten Kleinhans



Universiteit Utrecht

Per kerend tij: het spel van water en zand in rivieren en delta's

Inaugurele rede in verkorte vorm uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de Fysische Geografie, in het bijzonder de proces-sedimentologie van rivier-gedomineerde systemen, aan de faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht, op 26 september 2014 door Maarten Kleinhans.

COLOFON

ISBN

978 90 6266 373 6

Uitgave

Universiteit Utrecht, 2014

Grafische verzorging

C&M (8720) – Faculteit Geowetenschappen – Universiteit Utrecht

Druk

Bergdrukkerij – Amersfoort

Omslag

Het Portmanteau estuarium dat uitstroomt in de Boojumzee
(bron: auteur en Margot Stoete).

Mijnheer de Rector Magnificus, beste collega's, studenten, familie, vrienden en kinderen,

Grote vraagstukken

Water en zand maken fascinerende patronen op het oppervlak van Aarde en Mars. Deze patronen ontstaan waar rivieren in de loop van de tijd waaiers, riviervlakten en delta's opbouwen. Vaak draagt het leven, met name plantengroei, bij aan de vorming van deze patronen. Er zit duidelijk regelmaat in de patronen, maar er zijn ook allerlei imperfecties en veranderingen van patroon te zien. En daar wordt ik heel nieuwsgierig van. Wat maakt deze patronen? Waarom worden ze niet gewoon glad geveegd en uitgewist door weer en wind en stromend water? Ontstaan ze als geheel of verspreiden ze zich vanaf één onregelmatigheid? Hoe veranderlijk zijn de patronen? Hoe worden ze beïnvloed door plant en dier? En hoe beïnvloeden ze op hun beurt het leven? Welke aspecten van deze patronen ontstaan dankzij het oudere, overgeërfd landschap eronder en welke patronen ontstaan op een onbeschreven blad?

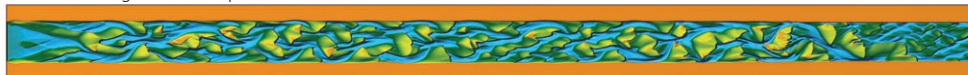


Zandbanken in een vlechtende rivier, zuidkust van IJsland (André Ermolaev).

Run 1: Constant discharge



Run 2: Discharge of Brahmaputra



10 20 30 40 50 60 70 80
Distance (km)

Numeriek model vlechtende rivier (Filip Schuurman).

De opdracht van de leerstoel proces-sedimentologie van rivier-gedomineerde systemen is om de morfodynamiek en afzettingen te beschouwen langs het continuüm van bron naar put, waaronder de subsystemen van puinwaaiers, rivieren en hun overstromingsvlakten en delta's tot in de benedenstroomse getijrivieren en estuaria. In klare taal betekent dit dat ik als 'professor water en zand' onderzoek hoe stromend water landschappen maakt van zand en modder, van de bergen naar de monding van de rivier in zee. Dat doe ik niet alleen omdat ik ze mooi vind en nieuwsgierig ben naar hoe ze ontstaan. We hebben ook begrip van deze systemen nodig, omdat een belangrijk deel van de mensheid er op woont en werkt en ze belangrijk zijn voor soortenrijkdom en voedselketens in de natuur. Hoe kunnen we deze systemen onderzoeken, leren begrijpen en voorspellen?

In deze oratie zal ik vertellen over lopend en aankomend onderzoek en onderwijs en de belangen daarvan voor de samenleving. Eén van de drie kerntaken van de Universiteit Utrecht is het onderwijzen van studenten en promovendi voor de arbeidsmarkt. Dat doen we onder meer door het doen van wetenschap. Dit maakt de wetenschap overigens al eeuwen lang waardevol voor de maatschappij, lang voordat wijzen uit het westen de woorden 'valorisatie' en 'topsector' bedachten.

Hoe maken we de uitwisseling van vragen en inzichten tussen onderzoek en samenleving zo effectief mogelijk? Het huidige motto van de Universiteit Utrecht, '*Bright minds, better future*', gaat niet alleen over studenten, maar ook over een miljoen Nederlandse kinderen die zullen leven met de rivieren en in de delta. Daarvoor is wetenschap nodig en daarom moeten we onze inzichten en het nut ervan in klare taal uitleggen. Maar doen we dat goed genoeg? Voor veel kinderen en andere leken lijkt wetenschap op tovenarij en bij een aangeklede oratie valt niet te ontkomen aan een vergelijking met Harry Potter en Professor Perkamentus. En deze vergelijking is zo gek nog niet: het onderwijs op Zweinstein is academisch vormend, maatschappelijk relevant (met uitzondering van het vak Waarzeggerij) en meestal erg spannend. Maar is ons hoger onderwijs voldoende academisch vormend, maatschappelijk relevant en spannend voor onze studenten?

Patronen in het zand

Bewegend water maakt patronen in het zand die we zien op het strand, in de zandbak en op satellietbeelden van Aarde en Mars. Hoe ontstaan deze patronen? Om dit te begrijpen is fundamentele kennis van waterbeweging en sedimenttransport nodig. Waterstroming wordt aangedreven door zwaartekracht of wind, maar afgeremd door wrijving. De wrijving ontstaat vanaf het ruwe oppervlak van de zandbodem, waar zich turbulentie vormt die de stroming afremt. Daarbij ontstaan vaak ribbels en duinen en is de wrijving groter bij ondieper water en ruwere bodems. Het zand wordt getransporteerd door de turbulente stroming, maar pas boven een bepaalde grens, want zand is zwaarder dan water en de korrels haken in elkaar. Die korrelwrijving is goed te zien als we proberen een lawine in zand of grind te maken: het sediment stroomt pas als de helling steil genoeg is. Het gevolg is niet alleen dat er bij langzame stroming geen sediment wordt meegeslept en bij snelle stroming weinig; het blijkt dat een verdubbeling van stroomsnelheid een veel grotere, niet-lineaire toename van sedimenttransport geeft.

Stel nu dat er een egale laag water stroomt over een volledig vlak zandbed. Eén kleine verdieping in het zandbed geeft een grotere waterdiepte met minder wrijving, waardoor het daar iets harder kan stromen. Er transporteert dan veel meer zand dan net bovenstrooms van de verdieping. Dat betekent dat er meer zand wegspoelt uit die verdieping dan er van bovenstrooms bij komt, en dat geeft uitschuring. Het gevolg is dat de kleine verdieping groeit en benedenstrooms een zandbank ontstaat. Omgekeerd ligt de zandbank de stroming een beetje in de weg, waardoor deze nog verder aanzandt. Benedenstrooms ervan komt de stroming weer samen en dat geeft opnieuw uitschuring. Kortom, een patroon van geulen en banken verspreidt zich vanaf die ene kleine verstoring.

Met een analogie uit het dagelijks leven kunnen we de theorie enigszins begrijpen. Neem een prachtig grasveld, waar een licht paadje is ontstaan waarover mensen de bocht afsnijden. Als dit paadje eenmaal is begonnen, zullen meer mensen er gebruik van durven maken en wordt het pad helemaal kaal gelopen. Het spel van water en zand leidt ook tot een zichzelf versterkend proces dat patronen van geulen en banken veroorzaakt. Dit morfodynamisch proces ligt ten grondslag aan de complexe natuurkundige berekeningen waarmee de patronen kunnen worden verklaard en aan geavanceerde computermodellen die deze banken goed kunnen nabootsen.

Zandbanken en zingende snaren

Rivieren kunnen verschillende patronen hebben, wat te maken heeft met de verhouding van geulbreedte en diepte. Het zandbankenpatroon in een vlechtende rivier



Meanderende rivier (Allier nabij Bressoles, Inventaire Forestier National, Lyon, France, 1997).

doet zowel voor het oog als wiskundig gezien denken aan het trillen van snaren in muziekinstrumenten. De lengte van de snaar bepaalt de lengte van de staande golf en daarmee de toonhoogte. Bovenop de basistoon zit vaak nog een heel aantal boventonen, wat de klank van het instrument bepaalt. Zo is het mogelijk om met de toonafstanden sext, kwint, kwart en nog een kwart, het geluid van een carillon na te bootsen op de (hoge) discant van een piano. In een rivierbedding hangt het aantal zandbanken dat naast elkaar ligt af van de verhouding van geulbreedte en diepte. Over het algemeen is deze vergelijkbaar met de verhouding van breedte en dikte van een pannenkoek. Relatief smalle en diepe rivieren hebben maar één geul die zich kan ontwikkelen tot een slingerende, meanderende rivier, terwijl bredere en ondiepere rivieren een vlechtend patroon vormen met meerdere zandbanken en geulen naast elkaar. Kleinschaliger zandbanken liggen als hogere boventonen op deze basale patronen.

Rivierpatronen blijven over tientallen jaren wel globaal hetzelfde, maar de banken, bochten en geulen verplaatsen zich doorlopend. Hoe dit precies gaat, is nog verre van duidelijk, maar is wel van levensbelang om te weten voor mensen die op en naast dergelijke rivieren wonen. Een groot probleem is dat de patronen lastig objectief zijn te beschrijven en nog lastiger is het om de veranderlijkheid daarin mee te nemen. In samenwerking met wiskundigen en natuurkundigen blijven we zoeken naar methoden om deze dynamische en complexe patronen te karakteriseren.

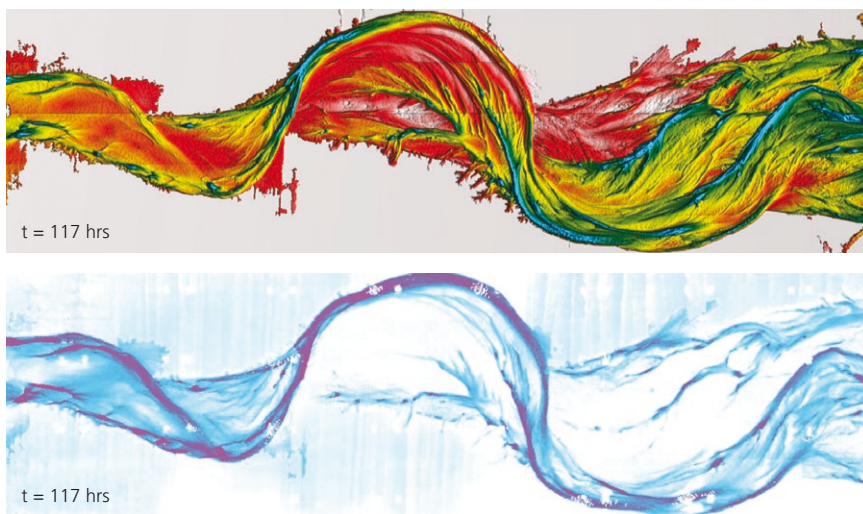
Terwijl banken zich opbouwen en verplaatsen, ontstaat gelaagdheid in het sediment. Elke keer als de bedding erodeert en dan weer aanzandt, ontstaat een laagje dat herkenbaar is door sortering in het sediment. Ribbels en duinen leiden ook tot dergelijke laagjes en het verplaatsen van hele rivieren op grotere schaal leidt ook tot afzetting van gelaagd sediment. Na ongeveer een eeuw lang experimenteren hebben we redelijk goede catalogi om de vormingsomstandigheden van vroeger af te kunnen leiden uit gelaagdheid in rotswanden en boringen. Maar om het verleden van planeet Aarde nog beter te kunnen ontrafelen en nog efficiënter grondstoffen te kunnen winnen, zijn nu voorspellende modellen nodig. Samen met onderzoekers uit Utrecht, Delft en van Deltares pluis ik het ingewikkelde samenspel van zand, slib en vegetatie op de schaal van zandbanken tot hele riviervlakten en delta's uit.

Zelf bouwend rivierenland

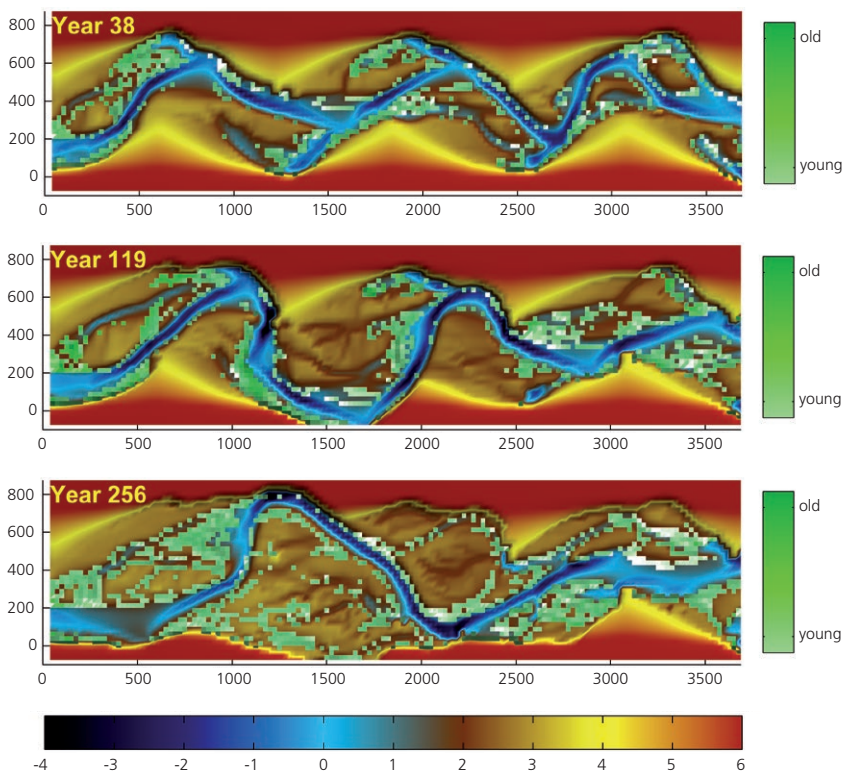
Wat bepaalt de breedte en diepte van een rivier? De grootte van een rivier hangt ruwweg af van de hoeveelheid water die er over de jaren doorheen stroomt. Los daarvan kunnen natuurlijke rivieren zeer verschillende verhoudingen hebben van breedte en diepte. Dat komt door de balans van afkalving van oevers en opbouw van de overstromingsvlakte.

Als er veel klei in de oevers zit en/of veel vegetatie op staat, kalven oevers minder snel af. Deze klei en vegetatie ontstaan vaak op natuurlijke wijze naast rivieren. Tijdens overstromingen wordt klei afgezet op de overstromingsvlakte en de vruchtbare omstandigheden bevorderen plantengroei op de oevers en veenvorming in de nattere, diepere delen. Als oevermateriaal kalft dit minder snel af dan zand of grind, zoals dat ook in de bedding ligt. Rivieren die weinig slib krijgen aangevoerd uit het achterland zullen daarom veelal breder en ondieper zijn met meer zandbanken en geulen dan rivieren met veel slib, die smaller en dieper zijn en daardoor meanderen.

Dit idee van een rivier die meandert, omdat het zichzelf in een keurslijf van klei en vegetatie legt, bestaat al meer dan een halve eeuw. Maar we slaagden er tot voor kort niet in om dit te bewijzen door het goed na te bootsen in experimenten of in computermodellen, maar nu is het gelukt. Een vlechtende rivier nabootsen in een zandbak is kinderspel, maar voor een meanderende rivier moet ook de vorming van een overstromingsvlakte worden nabootst. Voor vegetatie is in meerdere laboratoria alfalfa (*Medicago sativa*) gebruikt. Gewone klei is veel te sterk ten opzichte van het kleine riviertje op laboratoriumschaal, maar gemalen steen werkte wel. In onze experimenten ging de rivier zonder steenmeel vlechten en de rivier met steenmeel ontwikkelde spectaculaire meanders.



Experiment meanderende rivier (Wietse van de Lageweg, Wout van Dijk en Anne Baar).



Numeriek model meanderende rivier met vegetatie (Mijke van Oorschot).

Ondertussen werden we verrast door een andere vondst en dat toont de kracht van experimenten. De dynamiek op de instroming bleek een buitengewoon groot effect te hebben. Toen we het water altijd op dezelfde plek de zandbak in lieten stromen, bleven de meanders klein en vrij statisch. Op het moment dat we het instroompunt langzaam verplaatsten gedurende het experiment, werden de meanders groot en dynamisch. Dit hebben we later bevestigd in modellen. Deze laten zien dat niet alleen water en zand zich stroomafwaarts verplaatsen, maar ook informatie over de vorm en kromming van de rivier. Hoe snel en hoe ver dergelijke verstoringen zich voortplanten en hoe dit werkt in de omkerende stroming van eb en vloed, is nog de vraag.

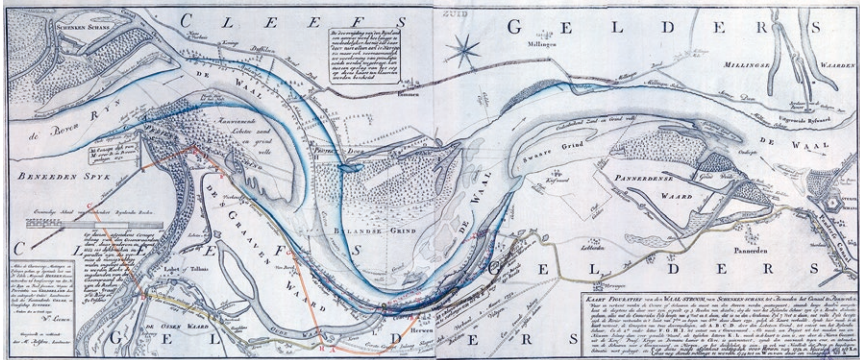
Riviersplitsingen en rivierverleggingen

Splitsingen van geulen zijn belangrijke knooppunten in rivieren en delta's waar het water, sediment, dynamiek en overlast worden verdeeld over het benedenstroomse gebied. Toch worden ze pas twintig jaar intensief bestudeerd. Vaak neemt men aan dat splitsingen stabiel zijn in de zin dat de verdeling van water en sediment over de twee benedenstroomse takken over langere tijd hetzelfde blijft. Maar er zijn steeds meer aanwijzingen dat de meeste splitsingen instabiel zijn, zelfs in theoretisch ideale omstandigheden. Dit komt mede voort uit dezelfde instabiliteit die banken en geulen veroorzaakt, uit de balans van oeveropbouw en –afslag en uit de voortplanting van bovenstroomse geulkromming.

In de afgelopen achtduizend jaar heeft de Rijn zich zo'n negentig maal verlegd, wat laat zien dat splitsingen vaak niet stabiel zijn. Bij elke verlegging ontstaat tijdelijk een splitsing waarbij een van de twee takken verzandt en steeds minder water trekt en de andere juist groeit. In kleine en steile rivieren kunnen die verleggingen met één nat seizoen een feit zijn, maar in grote laaglandrivieren kan het duizenden jaren duren. De verlegging van de Rijn van Leiden naar Rotterdam duurde bijvoorbeeld tweeduizend jaar. Niet alleen zijn bovenstroomse processen op de splitsing van invloed, maar ook vele benedenstroomse processen, waaronder ontwikkeling van vegetatie en van riviermondingen. Met collega's in het Departement Fysische Geografie onderzoeken we de diverse factoren in de Rijndelta.

De bestaande splitsingen van de grote Rijntakken baren me zorgen: de Oude Wiel, waar de Merwedese zich splitsen, de IJsselkop waar de IJssel zich afsplitst van de Nederrijn en vooral de Pannerdensch Kop waar de Bovenrijn splitst in de Waal en de Nederrijn via het Pannerdensch Kanaal. Dit kanaal is drie eeuwen geleden aangelegd om de gevolgen van de eerder genoemde verlegging van de Rijn van Leiden naar Rotterdam teniet te doen. Metingen van de afgelopen jaren laten zien dat het splitsingspunt bij Pannerden nog steeds verandert. De roemruchte wordingsgeschiedenis van het Pannerdensch Kanaal laat luid en duidelijk zien dat een veranderend splitsingspunt tot grote problemen leidt door overstromingen en gehinderde scheepvaart. De verandering gaat langzaam maar kan uit de hand lopen. Als we op tijd zijn kunnen we wellicht met een kleine ingreep de onwenselijke verandering langzaam tegenwerken. Ik ben daarom van mening dat Rijkswaterstaat meer aandacht moet gaan schenken aan de langetermijn sedimentverdeling op deze splitsingen.

Bekende onderzoekers zoals Christiaan Huygens vier eeuwen geleden en Christiaan Brunings twee eeuwen geleden zochten de oorzaken van de problemen vooral in de waterverdeling. Christiaan Huygens staat weliswaar vooral bekend om zijn ontdekkingen rond planeet Saturnus, maar had een zeer brede belangstelling. Toen ik er op de middelbare school achter kwam dat zulke personen worden aangeduid met de term 'Homo



Riviersplitsing van de Rijn bij Schenkenschanz (links) en bij Panmerden (rechts). (W. Leenen 1751, Kaartenzaal Marco van Egmond, Bibliotheek Universiteit Utrecht).

Universalis', had mijn ambitie een naam. Maar de waterverdeling is voor een belangrijk deel het gevolg van de ontwikkeling van riviersplitsingen door sedimenttransport met dezelfde instabiliteit die bankpatronen veroorzaakt. Bij een veranderende splitsing komt de bedding van een verzandende geul steeds hoger te liggen ten opzichte van de andere, verdiepende geul. Het meegevoerde zand moet daardoor een steeds steiler wordende helling op. Het effect is dat het zand onder invloed van zwaartekracht de verzandende geul begint te ontwijken, waardoor in de laatste fase zowel de verzanding van de ene geul als de verdieping van de andere geul afremt. Dit directe effect van zwaartekracht op de richting van het sedimenttransport wordt beïnvloed door de ribbels en duinen die over de rivierbodem lopen, door banken en bochten in de rivier en door sorteringpatronen van zand en grind die met de banken en bochten gepaard gaan. Ik wil de komende jaren samen met collega's bij de TU Delft en Deltares uitzoeken hoe dit proces precies werkt om zo de voorspellingen van rivierpatronen en splitsingen te kunnen verbeteren.

Riviermondingen

Estuaria, oftewel riviermondingen, trokken in 2010 mijn aandacht tijdens het onderzoek naar rivierpatronen. Ik leerde over rivieren dat het proces van sedimenttransport de patronen en dynamiek van banken, bochten en splitsingen veroorzaakt, dat zelf-vormende overstromingsvlakten met slib en vegetatie de toon zetten van die patronen en dat er diverse vormen van informatie in beide richtingen door rivieren reizen. In estuaria komt



Riviermonding: het Aberdovey estuarium, Wales, UK (Google Earth).

daar nog de werking van eb en vloed bij en de effecten van zout water. Zandbanken en geulen veranderen bijvoorbeeld doorlopend door eb en vloed vanuit de zee en veel estuaria hebben een paar verrassend grote meanders. Dat roept nog meer interessante vragen op dan in de rivierkunde al aan de orde kwamen.

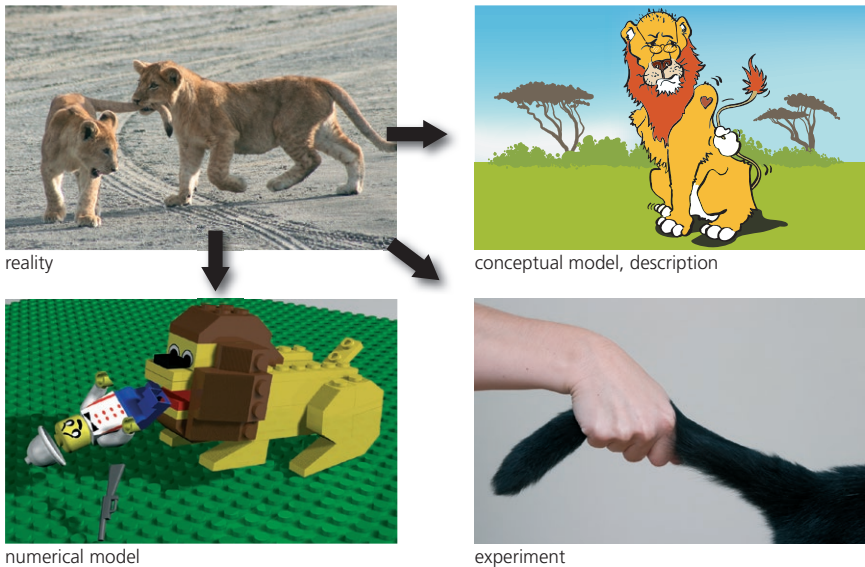
Een fascinerend fenomeen is bijvoorbeeld dat van de eb- en vloedscharen, in 1950 beschreven door Johan van Veen, de geestelijk vader van de Deltawerken. Dit is een tweetal geulen waarvan de één vooral stroming bij vloed trekt en de ander juist bij eb. De grote vraag is waarom er zich niet één enkele grote geul ontwikkelt in plaats van twee, net als in rivieren waar instabiele splitsingen leiden tot het verlaten van een van de twee geulen. In plaats daarvan lijken de eb- en vloedscharen elkaar te ontwijken. In de Westerschelde lijkt het alsof de impuls van de stroming in grote bochten in het estuarium de voorkeursrichtingen bij eb en vloed bepalen, maar in onze kaarsrechte experimenten en in een kaarsrecht computermodel ontstaan eb- en vloedscharen ook. Dit vraagt om een verklaring. Mijn gebrek aan ervaring in dit milieu zal ervoor zorgen dat ik de broodnodige naïeve vragen ga stellen die wellicht tot die verklaring zullen leiden.

Toepassingen van dit fundamentele onderzoek liggen voor de hand: de samenvloeiingen van de scharen zijn drempels waar de scheepvaart hinder van ondervindt en die vaak moeten worden gebaggerd. Vrijwel alle grote wereldhavens liggen in estuaria en daarnaast is veel land aangewonnen voor de landbouw. Estuaria zijn ook belangrijke natuurgebieden die een grote rol spelen in voedselketens. Intensieve exploitatie leidt tot grote druk op het natuurlijk systeem, waarbij vooralsnog de economische kortetermijnbelangen het winnen van het langetermijnbelangen van de kinderen van nu: het behoud van natuur en ecosystemen.

En zo, geacht publiek, rijst mijn nieuwe onderzoekslijn naar estuaria op als een kathedraal uit de mist, gecomponeerd uit mijn eerdere onderzoeken van rivieren op Aarde en Mars. Van begin tot eind klinken thema's door elkaar: sedimenttransport, splitsingen van geulen, verplaatsing van verstoringen, patronen van banken en bochten, de toon die gezet wordt door slib en levende natuur. Met mijn team en mijn Vici-beurs zet ik dit jaar de eerste maat in met alle beschikbare instrumenten: veldwaarnemingen en satellietbeelden, geologische en historische reconstructies, analytische en numerieke modellen en natuurlijk experimenten.

Trekken aan de staart van de leeuw

De methoden van waarnemingen in de natuur, computermodellering en experimenteren zijn op een paar manieren complementair. De natuur is natuurlijk waar het om gaat, maar bij waarnemingen is het vaak moeilijk om oorzaak en gevolg aan elkaar te knopen doordat vele processen door elkaar heen lopen. Een grote ingreep kan wel tot duidelijker signalen



Trekken aan de staart van een leeuw om deze te bestuderen (Fred Trappenburg).



Experimenteel estuarium ontstaan vanuit een smalle rechte geul in een kantelende goot. Lengte 3 m (Jasper Leuven).

leiden, maar dit is duur en gevaarlijk. Als we aan de staart van een leeuw trekken, zien we ook interessanter gedrag dan wanneer het beest ligt te suffen, maar dat is erg gevaarlijk.

Computermodellen kunnen we wel zonder gevaar manipuleren, maar bevatten een versimpelde weergave van de werkelijkheid in de vorm van natuurwetten en gedragsregels. Een computermodel kan daarom nooit iets doen wat we er niet van tevoren aan oplegden. Toch is het morfodynamisch systeem zodanig ingewikkeld dat we er modellen van nodig hebben om te begrijpen wat het resultaat is van de combinatie van opgelegde wetten en omstandigheden.

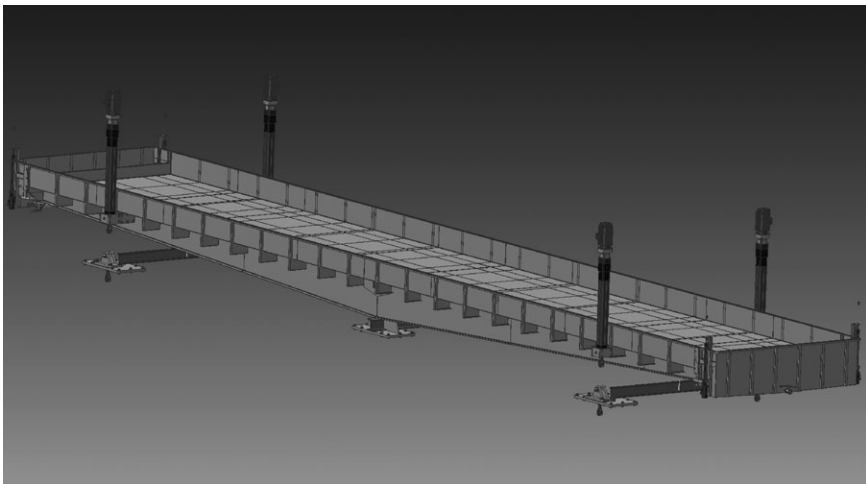
Experimenten met natuurlijke materialen, zoals water en zand, kunnen we ook manipuleren. De meeste omstandigheden zijn goed onder controle te houden en op te meten en de processen gaan veel sneller door de kleine afmetingen. Zo zie ik voor mijn ogen als een soort versnelde geologische film hele landschappen ontstaan en veranderen. Maar ook deze aanpak is niet probleemloos, want op deze kleine schaal gedragen materialen zich anders dan diezelfde materialen op de grote schaal in de natuur. Dit probleem is met schalingstechnieken wel te ondervangen, maar niet volledig op te heffen. Toch zijn we erin geslaagd om rivieren en delta's in vorm en gedrag na te bootsen. Sterker nog, experimenten hebben ons vaak, net als de grootschalige natuur, echt volslagen verrast. En dat verwacht ik in het onderzoek naar riviermondingen opnieuw.

De Metronoom: de nieuwe getijmachine

Het nabootsen in experimenten van eb- en vloedgedomineerde systemen is honderdwtintig jaar lang een grote uitdaging gebleven. Er zijn, voor zover mij bekend,

pogingen gedaan in minder dan tien laboratoria en al deze experimenten werden gehinderd door grote schaalproblemen, bijvoorbeeld omdat Waddenzee-achtige inlaten geen evenwicht bereikten, maar toch geheel statisch werden. Of omdat er ribbels en ontgrondingskuilen ontstonden die veel te groot waren voor die waterdiepte. De uitgebreidste set experimenten is 120 jaar geleden gedaan door Osborne Reynolds die vooral bekend was om zijn werk aan turbulentie. Hij deed fundamentele wetenschap en praktische engineering, wat laat zien dat het veel gemaakte, maar onzinnige onderscheid tussen fundamenteel en toegepast onderzoek niets van doen heeft met de echte werking en waarde van wetenschap. De assistenten van Reynolds veroorzaakten totaal een paar miljoen maal eb en vloed door de waterstand van de 'zee' handmatig op en neer te draaien. Het probleem is dan dat het sediment vooral met eb beweegt en nauwelijks met vloed, terwijl in veel natuurlijke riviermondingen en in de Waddenzee ongeveer evenveel sediment beweegt met eb en vloed.

Ik heb een ander principe bedacht om in experimenten de stroming en vooral het sedimenttransport door eb en vloed te veroorzaken. Door een stroomgoot met een regelmatige periode te kantelen, is de helling afwisselend zeewaarts en landwaarts gericht en ontstaat in beide richtingen evenveel stroming en zandtransport. De eerste test van dit idee deed ik op een dienblad. De volgende experimenten kon ik met hulp van onze technici op een vierkant tafeltje doen, waar we een poot van hadden afgezaagd zodat het



Een nieuwe getijmachine: bouwtekening van de Metronoom (ConSmeMa, Hatten).

blad kon wiebelen. Inmiddels hebben we een drie-en-een-halve meter lange kantebak in gebruik. Met deze eenvoudige maar vernieuwende getijmachine zag ik schitterende stukken Waddenzee en riviermondingen in het klein ontstaan, die net als de natuur maar in tegenstelling tot veel computermodellen doorlopend in beweging bleven. Ik bouw nu een nieuwe getijmachine van twintig meter lang en drie meter breed die met een periode van enkele tientallen seconden gaat kantelen, wellicht maanden lang voor een enkel experiment. Dit instrument gaat de Metronoom heten en wordt in 2015 in gebruik genomen.

Aanschouwelijk, inzichtelijk en vormend onderwijs

Experimenten zijn prachtig en inzichtelijk om naar te kijken. Wie heeft er nu geen ervaring met water en zand? Daarbij is een experiment gecombineerd met een controle-experiment een fundamentele wetenschappelijke methode die in vele disciplines succesvol wordt toegepast. Toch zijn er veel leken, studenten en wetenschappers die het nut van controle niet begrijpen, maar het is in klare taal uit te leggen met een eenvoudig voorbeeld. Een echte Nederlandse pannenkoek bakken we van beslag, dat bestaat uit meel, melk en ei. Met meel en melk ontstaat al een beslag, dus waarom zit dat ei er eigenlijk in? De meeste mensen beantwoorden die vraag op grond van hun ervaring dat een ei stolt als het wordt verhit, en het ei dus bindt. De meeste mensen hebben het dus niet geprobeerd. De experimentele manier om het effect van ei eerlijk te onderzoeken is natuurlijk door een pannenkoek zonder ei maar ook een pannenkoek met ei te bakken, het controle-experiment en verder alles precies hetzelfde te doen. Met die appetijtelijke gedachte hebben wij bijvoorbeeld een rivier met experimentele klei en een rivier zonder experimentele klei laten ontstaan in het lab en zo bewezen dat dit het verschil maakt tussen vlechten en meanders. Ik denk dat onze studenten nog veel meer kunnen bereiken als we ze vroegtijdig leren hun eigen onderzoeksvragen goed en uitvoerbaar te stellen en daarmee hun leerproces te sturen.

Meer in het algemeen is de kwintessens van wetenschap nieuwsgierigheid en een kritische houding. Dit zijn academische houdingen en vaardigheden die overheid, bedrijfsleven en andere sectoren in de samenleving hard nodig hebben. Hoe kunnen we ons universitaire onderwijs meer academisch vormend, maatschappelijk relevant en spannend maken voor onze studenten? De basis- en senior kwalificaties van docenten zouden wellicht om de vijf jaar opgefrist moeten worden en veel meer gebruikt kunnen worden om nieuwe didactische inzichten binnen te halen. Ik hoorde recent de goed bedoelde opmerking dat als je onderzoek goed is, je onderwijs ook goed is. Maar dat is vergelijkbaar met de redenering dat als je automonteurs goede auto's afleveren, diezelfde

automonteurs ook goede rijinstructeurs zijn. Dit is een drogredenering, want dat we toponderzoek van wereldformaat doen sluit niet uit dat we didactisch gezien nog in de steentijd zitten. Er gebeurt veel goeds in onze opleiding, maar het kan nog veel beter en de mogelijkheden liggen voor het oprapen.

Waarom gebruiken we niet de wetenschappelijke mechanismen voor kwaliteitscontrole en -verbetering voor ons onderwijs? De controle op het niveau van individuele vakken wordt nu vooral gedaan met evaluaties van studenten, afgenomen onmiddellijk na afloop van elk vak. Maar dat levert slechts de kortetermijn 'verkoopcijfers' op en niet het langetermijnbeeld van de opleiding als som der delen, en hoe deze som aansluit bij de rollen van onze alumni in de samenleving. Daarentegen wordt elk stukje wetenschap in publicaties en op conferenties blootgesteld aan internationale controle en kritiek middels peer-review en latere discussie. Zou het niet een goed idee zijn in onze opleiding formeel tijd uit te gaan trekken voor intervisie, het delen van ervaringen en geslaagde en gefaalde ideeën voor en over goed onderwijs? En zouden we niet, in analogie met peer-review, elk vak en elke docent bloot moeten stellen aan constructieve kritiek van collega's van aanpalende vakgebieden en uit het didactiek-onderzoek? Ik wil dat graag gaan uitproberen.

Aan de ontwikkeling van die nieuwsgierige en kritische houding bij studenten en andere academische vaardigheden werken we naar mijn mening teveel tussen neus en lippen door. Hierdoor worden veel studenten te laat in de opleiding eigenaar van hun academische vorming. Teveel studenten halen slechts voldoende en besteden volgens evaluaties slechts vijftientig uur per week aan hun ontwikkeling in plaats van het dubbele, terwijl de samenleving meer dan de helft van de opleiding van elke student betaalt. Dit probleem vraagt niet om de naar mijn mening perverse prestatieafspraken over slagingspercentages met de Staatssecretaris van OCW. Het vraagt om zinnige wortels en stokken voor studenten én docenten. Als bijdrage daaraan ontwikkel ik samen met collegae, promovendi en studenten nu het nieuwe eerstejaars vak 'Tijd en causaliteit in de aardwetenschappen' met als rode draad de ontwikkeling van de Aarde. Het vak heeft als hoofddoel de vroegtijdige, bewuste ontwikkeling van academische houding, vaardigheden, inzicht in centrale concepten in de aardwetenschappen, en beroepspectieven.

Van peuter tot postdoc

Wetenschapsbewustwording is voor iedereen van belang en niet alleen voor de Huygens', Brunings', Reynolds' en van Veens die in de wetenschap blijven. Alle kinderen van nu hebben vaardigheden nodig die passen bij de eenentwintigste eeuw, om keuzes te maken over hun gebruik van nieuwe wetenschappelijke kennis en technologie voor zichzelf en

voor een duurzame samenleving. Lang hebben universiteiten bedacht dat toekomstige academische talenten het beste worden geworven in de tweede helft van de middelbare-schoolcarrière, maar dat is veel te laat. Er zijn overtuigend veel aanwijzingen dat kinderen al aan het begin van de basisschool hun belangstelling voor wetenschap en technologie en hun algehele nieuwsgierigheid verliezen. Aan het einde van de basisschool beginnen kinderen zich al een beroepsperspectief te vormen en ofschoon ze meestal nog geen keuze maken wat ze willen worden, sluiten ze wel loopbanen uit. Daarnaast strandt driekwart van alle hoogbegaafde ‘bright minds’ voor die ‘better future’ al vroeg in de schoolcarrière. Het grote probleem is dat nieuwsgierigheid en eigen onderzoek worden ontmoedigd door het hele systeem.

De blaam voor het falen van primair onderwijs in wetenschap en technologie wordt vaak neergelegd bij de leerkrachten. Maar dat lijkt op de redenering dat het aan de stakende schoonmakers lag toen de treinen en de stations eerder dit jaar zo vuil waren. Onderwijs is een zaak voor de politiek, voor commerciële uitgeverijen die de methoden maken, voor de lerarenopleidingen, voor schoolbesturen en directeuren, en voor ouders. Maar al deze partijen zijn onbewust onbekwaam op het gebied van wetenschap en technologie. Primair onderwijs moet daarom ook een taak zijn voor ons, de wetenschappers, want waar anders dan op de universiteiten kunnen we uitleggen wat de werking en waarde van wetenschap is?

Daarom hebben we Wetenschapsknooppunten opgericht bij de meeste universiteiten. Bij ons Wetenschapsknooppunt in Utrecht komen leerlingen van de basisschool en de onderbouw van de middelbare school zelf onderzoek doen in het Universiteitsmuseum en in de oude Hortus, waar bijvoorbeeld een zandbak staat om met rivieren en delta's te spelen. Ook doen we er Expeditie Moendoes, een spel dat kinderen een niet-bestaande en versimpelde wereld in allerlei aspecten laat onderzoeken en dat ik heb mogen helpen ontwikkelen. Belangrijker is nog dat we de onderwijzers onderwijzen op het gebied van wetenschap en technologie-onderwijs.

Het mes snijdt bovendien aan twee kanten: toen ik mijn wetenschap in klare taal kon uitleggen aan leerkrachten op de basisschool, begreep ik het zelf beter en werden zowel wetenschap en interdisciplinaire samenwerking als academisch onderwijs er veel beter van. Daarom professionaliseren we ook wetenschappers op het gebied van het uitleggen en laten ervaren van de werking en waarde van wetenschap. Een oratie van vele woorden vanaf een kansel loopt het risico om een uitstekend voorbeeld van slechte wetenschapscommunicatie te zijn. De onderwijsvernieuwer Maria Montessori had al een eeuw geleden als motto “Laat uw woorden geteld zijn.” Daarmee bedoelde ze niet dat we dan maar weinig moeten zeggen, maar dat we het goede moeten zeggen. Dat kunnen wetenschappers leren op en van de basisschool.



Madieke Kleinhans meet de steilheid van een delta ontstaan in de zandbak van basisschool De Ontdekkingsreis in Doorn (auteur).

En laten we die kinderen niet onderschatten met hun slimme opmerkingen en vragen en hun enorme enthousiasme om de wereld te ontdekken. Bijvoorbeeld bij een rivierexperiment op basisschool De Ontdekkingsreis: “Dus als je veel bomen laat groeien naast de rivier krijg je meer overstromingen?”. En desgevraagd blijken kinderen vaak een visie te hebben op onderwijs, bijvoorbeeld van een kind in de bovenbouw van basisschool De Klokbeker: “Het leren bij dit project is zo leuk omdat er geen antwoorden zijn. Je gaat zelf op zoek naar één van de antwoorden. In de overige lessen die we op school hebben is altijd één antwoord het juiste antwoord.” Onderzoekend leren is dus zeer efficiënt. De antwoorden in de wetenschapsbijlage van de krant bereiken maar weinig mensen en die zijn dat bovendien een paar dagen later meestal weer vergeten. Maar met de vrijheid om eigen vragen te stellen en eigen onderzoek te doen, veranderen de levens van een miljoen kinderen op de basisscholen blijvend en de universiteit komt ermee in beeld bij een groot en dankbaar publiek en hun ouders.

Een toekomst in het lage land?

Het land naast riviermondingen kan overstromen door opstuwung van de Noordzee bij storm, door hoogwaters op de rivier en omdat de vloed in een monding tot meters boven zeeniveau kan worden opgezweept. Ondertussen zal de zeespiegel aan het eind van deze eeuw tussen de 25 en 123 centimeter stijgen. Niet alleen stijgt de zeespiegel, maar het land zakt ook in, omdat de dijken de natuurlijke opslibbing tegen houden dat het inzakken nog enigszins had kunnen compenseren. In de Westerschelde veroorzaakt baggerwerk voor scheepvaart indirect hogere waterstanden. In de Hedwigepolder is ruimte teruggegeven aan de natuur met als belangrijkste doel om de landwaartse opslingering van het getij te dempen en als neven doel een stukje nieuwe natuur te maken. Maar deze postzegel in het landschap zet niet veel zoden aan de dijk. In plaats hiervan is een veel groter plan nodig, maar zoals bleek in de media ligt alleen zo'n kleine postzegel al zo gevoelig dat geen politicus nu haar handen eraan zal willen branden. Een denkbaar scenario is dat de lage landen ergens deze eeuw door de zee zullen worden ontruimd; niet alleen in Nederland maar overal ter wereld. Hogere dijken zijn niet voldoende als bescherming, want er stromen rivieren door de delta, zout water verdringt het zoete onder de dijken door en ecologische functies worden door dijken afgekapd.

Veel mensen hopen op technologische oplossingen voor deze bedreigingen. Het is niet ongebruikelijk om bij een oratie een groots plan aan te kondigen dat dit alles oplost. Dat zet net zomin zoden aan de dijk als stellen dat we planeet Mars ook nog hebben als reserveplaneet voor als we het hier helemaal verpest hebben. Zulke verhalen zijn geruststellend en net zo realistisch als 'Barbapapa redt de dieren'. Maar wat dan wel? Voor een duurzame bewoning van ons land hebben we een wetenschappelijk onderbouwde totaalvisie nodig op kustverdediging, ecologie en economie voor de komende eeuw, van de bovenrivieren tot in de zee. Daarvoor zijn denk ik veel kennis en ideeën nodig van universiteiten en kennisinstellingen; maatschappelijk draagvlak en begrip van de werking en waarde van wetenschap, durf bij de verantwoordelijke politici en volledige regie bij een landelijke niet-commerciële instelling met kennis en inzicht in al deze zaken. Dit is realistischer dan een bewoonbare planeet Mars en wellicht haalbaar.

Wellicht kunnen we leren van het slagen en falen van het project Ruimte voor de Rivier. Meer dan veertig maatregelen langs de grote rivieren maken meer ruimte voor het water, waardoor het land veiliger wordt met iets meer ruimte voor de natuur. Dat was duur en heel vervelend voor de mensen die getroffen zijn, maar het is nodig en dat moeten we blijven uitleggen. Een belangrijke factor voor het welslagen is dat de projecten min of meer met elkaar in verband staan en de gezamenlijke effecten zijn afgeschat. In hoeverre dit lukt, gaan we met veel rivierkundigen samen de komende jaren evalueren.

Wellicht kan het ruimte-idee worden aangepast voor de riviermondingen: Ruimte voor de Riviermonding. Die ruimte is niet alleen nodig om de hoogste waterstanden te dempen, maar ook om voldoende opslibbing van het land te bereiken in het samenspel tussen stroming, sedimenttransport en natuurlijke vegetatie. Ik denk daarbij aan opslibbende, begroeide schorren (de 'waker' van de kust), daarachter hoger gelegen natuurgebieden of dijken (de 'dromer') en dan de dijk (de 'slaper'). Niet ingericht met een hele reeks inconsequente compromissen en lokale postzegels, maar opgezet langs grote lijnen. Hiervoor is de oude kunde van het land aanwinnen van de afgelopen eeuwen nodig, maar ook, om te kunnen ontwerpen, nieuwe wetenschappelijke kennis. Het gedrag van geulen en platen bepaalt mede die waterstanden, maar hoe precies? In principe is er slib aanwezig, maar is dat genoeg om de zeespiegel bij te houden? En maakt het uit of er nu veel slib in de rivieren wordt afgevangen op de net verlaagde uiterwaarden? Of is het invangend vermogen van de planten hier de beperking? Hoe snel kalven natuurlijke oevers af? Hoe ver kunnen verplaatsende geulen zich inscharen in natuurlijke oevers? Hoe breed moeten de waker-, dromer- en slaper-zones dus zijn? En hoe kan zoutindringing dan worden voorkomen? Aan enkele van deze vraagstukken hoop ik de komende jaren te kunnen werken.

Luctor et submergo?

In 1798 werd Rijkswaterstaat opgericht, met Christiaan Brunings als eerste directeur, voor landelijke regie over de zorg voor de waterstaat. Hebben we nu voldoende mogelijkheden voor een landelijke visie en landelijke regie gebaseerd op kennis van zaken? Ik vind het zeer zorgwekkend dat Rijkswaterstaat al jaren geleden het Rijksinstituut voor Kust en Zee en het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling heeft opgeheven. We krijgen veel signalen dat op dit moment nog veel meer medewerkers met inhoudelijk expertise worden ontslagen. Bij de waterschappen hoor ik al jaren dat ze nauwelijks tot geen tijd mogen maken voor het bijlezen van nieuwe kennis. Bij aanvang van het project Ruimte voor de Rivier vertelden betrokken projectleiders mij dat het niet toegestaan was om nieuwe kennis te ontwikkelen. In reactie op de roep van de kiezer om een goedkopere overheid ontwikkelt Rijkswaterstaat zich naar eigen zeggen nu tot een regisseur en opdrachtgever, waarbij de kennis en expertise uit de markt moet worden gehaald en in de markt moet worden ontwikkeld.

Maar zo werkt 'kennis' niet. Men ontwikkelt nauwelijks nieuwe kennis door commerciële projecten onder hoge tijdsdruk. Men consumeert noch nieuwe noch de huidige kennis effectief door het schrijfwerk van anderen te lezen en kennis-met-begrip al helemaal niet. Begrip, dat essentieel is voor kennis en toepassing, kan men wel

bereiken door na te doen en mee te doen: tijdens de opleiding aan de universiteiten en vanuit overheden en bedrijven bij te dragen aan, en mee te denken bij, fundamentele kennisontwikkeling op de alma mater. Dat gebeurt gelukkig met enige regelmaat, bijvoorbeeld met gebruikerscommissies van STW. Ondertussen komt onze nieuwe wetenschap wel via landelijke congressen, afgestudeerden en gepromoveerden, terecht bij bedrijven en bij Deltares. Daar zit veel kennis-met-begrip om ons land droog en gezond te houden en wordt veel goed werk gedaan. Maar ik vind het gevaarlijk om dit méér neer te leggen bij commerciële instellingen dan bij de rijksinstituten die de landelijke regie zouden moeten voeren op basis van kennis-met-begrip.

Deze zorg is niet nieuw: de Deltawerken en de benodigde studie daarvoor werden pas serieus ondernomen na de watersnoodramp van 1953. Voor die tijd moest Johan van Veen keer op keer weer vechten voor het voortbestaan van zijn studiedienst die de hoogst noodzakelijke kennis probeerde te verzamelen voor de Deltawerken. Ik vraag me af of het niet heel gezond zou zijn als er veel meer goede onderzoekers werken bij een serieuze studiedienst van Rijkswaterstaat. Daarmee zou het instituut beter in staat moeten zijn om de halve bruggen te slaan naar de universiteiten en onderzoeksinstituten, Deltares en het bedrijfsleven. Wij staan graag klaar met de opgeleide mensen en met de andere helft van die brug.

De oplossing uit Den Haag is de onderzoeksagenda van de 'top'-sector Water te laten bepalen door een beperkt aantal bedrijven. Door grote hoeveelheden onderzoeksgeld voor de beste wetenschap weg te nemen en in te zetten voor die agenda, wil men afdwingen dat wetenschappelijk onderzoek direct leidt tot toepasbare kennis. Maar de topsectorvoorstellen die ik heb gezien, ook gehonoreerde, zijn niet best van inhoudelijke kwaliteit in vergelijking met die van het vrije onderzoek, en zadelen de promovendi op dergelijke projecten op met een gevaarlijk slechte start. Deze aanpak, bekend onder de naam 'kennis-kunde-kassa', is schadelijk voor de kwaliteit en creativiteit van wetenschap en moet daarom snel worden teruggedraaid. Vrij toponderzoek is van levensbelang voor de kinderen van nu om de toekomst het hoofd te bieden en enorme kosten van overstromingen en verlies van ecosystemen te vermijden. Het is al heel vaak in het verleden gebleken dat je van tevoren niet kan weten hoe de fundamenteel-wetenschappelijke koe de economische haas vangt, maar dan heeft die koe wel een groene wei nodig voor de gekke sprongen in plaats van een box in een krappe stal. En peuters tot en met postdocs rond de zandbak, natuurlijk.

Aan de einder

Ik dank het College van Bestuur, de faculteit en het departement voor hun vertrouwen in mij en mijn studenten en promovendi voor hun grote bijdragen aan het onderzoek en onderwijs in onze groep. Ik dank mijn vele collega's in Utrecht en in andere instituten, in de aardwetenschappen en ook daar ruim omheen, voor de stimulerende samenwerking en collegialiteit. In mijn loopbaan ben ik steeds meer mijn mentoren van vroeger en nu gaan waarderen: Janrik van den Berg, Wilfried ten Brinke, Hugo van Woerden, Leo van Rijn, Ward Koster, Gary Parker, Chris Paola, George Postma, Hans Middelkoop en Steven de Jong. Ik heb ook veel geluk gehad met de hulp en steun van een grote groep vakmensen, niet-wetenschappers, zonder wie ik bar weinig voor elkaar had gekregen: technici, computerkundigen, kunstenaars, hortulani, secretaresses, diverse soorten managers en functionarissen van het departement, de faculteit, de universiteit, het Universiteitsmuseum, De Jonge Akademie, de KNAW en NWO. Ik dank mijn vader en broer, mijn familie en vrienden voor hun blijvende gezelligheid en steun, en Basisschool De Ontdekkingsreis omdat ik hun gastmeester mag zijn. Madieke, Gijsbert en Hester: die kathedraal van mij zou wegzinken in de slappe modder zonder jullie, mijn fundering. Geacht publiek, ik dank u allen voor uw aandacht en tel mijn woorden in de volgende samenvatting:

*Denkend aan Holland zie ik woeste rivieren vraatzuchtig door dicht begroeid landschap slaan,
treinen resonante bochten en banken in banen van zand naar zee toe gaan,
dijken, steden, havens met schepen en ontkrachte natuur in ontworicht verband,
rijen nog ongedachte ideeën als wachters bij het kerende tij aan de einder staan,
dringend om op te komen in het machtige spel in Metronoom en model met water en zand.
Van peuter tot postdoc worden kleurige talenten, in spelen en leren ontsproten, aangeboden
en in alle sectoren worden werking en waarde van ons onderzoek verwacht en gehoord.*

Ik heb gezegd.

Referenties

- van der Ham, W. (2003), *Meester van de zee*. Johan van Veen, waterstaatsingenieur, 1893-1959. Balans, Amsterdam, 286 pp.
- Cohen K.M., E. Stouthamer, H.J. Pierik, en A.H. Geurts (2012), *Digitaal Basisbestand Paleogeografie van de Rijn-Maas Delta/Rhine-Meuse Delta Studies' Digital Basemap for Delta Evolution and Palaeogeography*. Dept. Fysische Geografie. Universiteit Utrecht. Digitale Dataset. Persistent identifier: urn:nbn:nl:ui:13-nqjn-zl. <https://easy.dans.knaw.nl/ui/datasets/id/easy-dataset:52125>.
- Dalrymple, R. & Rhodes, R. (1995). Estuarine dunes and bars, in: *Geomorphology and sedimentology of estuaries*, edited by: Perillo, G. 359 – 422, Elsevier Science, New York.
- de Haas, T., D.Ventra, P.E. Carbonneau & M.G. Kleinhans (2014), Debris-flow dominance of alluvial fans masked by runoff reworking and weathering. *Geomorphology* 217, 165-181, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.028>.
- Frings, R.M., & Kleinhans, M.G. (2008) Complex variations in sediment transport at three large river bifurcations during discharge waves in the river Rhine. *Sedimentology* 55, 1145-1171, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3091.2007.00940.x>.
- Hesselink, A.W., Kleinhans, M.G. & Boreel, G.L. (2006) Historic Discharge Measurements in Three Rhine Branches. *Journal of Hydraulic Engineering* 132, 140-145, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2006\)132:2\(140\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:2(140)).
- Kleinhans, M.G., W.M. van Dijk, W.I. van de Lageweg, D.C.J.D. Hoyal, H. Markies, M. van Maarseveen, C. Roosendaal, W. van Weesep, D. van Breemen, R. Hoendervoogt & N. Cheshier (2014), Quantifiable effectiveness of experimental scaling of river- and delta morphodynamics and stratigraphy, *Earth-Science Reviews* 133, 43-61, <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.03.001>.
- Kleinhans, M.G., M. van der Vegt, R. Terwisscha van Scheltinga, A.W. Baar & H. Markies (2012), Turning the tide: experimental creation of tidal channel networks and ebb deltas, *Netherlands J. of Geoscience* 91(3), 311-323, http://www.waddenacademie.nl/fileadmin/inhoud/pdf/03-Thema_s/Geowetenschap/NJG_special/NJG-91-3-Kleinhans.pdf.
- Kleinhans, M.G., K.M. Cohen, J. Hoekstra & J.M. Ijmker (2012a), Evolution of a bifurcation in a meandering river with adjustable channel widths, Rhine delta apex, The Netherlands, *Earth Surf. Process. Landforms* 36, 2011-2027, <http://dx.doi.org/10.1002/esp.2222>.
- Kleinhans, M.G., H. Markies, S.J. de Vet, A.C. in 't Veld & F.N. Postema (2011), Static and dynamic angles of repose in loose granular materials under reduced gravity, *J. Geophys. Res. Planets* 116, E11004, <http://dx.doi.org/10.1029/2011JE003865>.

- Kleinmans, M.G. & J.H. van den Berg (2011), River channel and bar patterns explained and predicted by an empirical and a physics-based method, *Earth Surf. Process. Landforms* 36, 721–738, <http://dx.doi.org/10.1002/esp.2090>.
- Kleinmans, M.G., H.E. van de Kastelee & E. Hauber (2010a), Palaeoflow reconstruction from fan delta morphology on Mars, *Earth and Planetary Science Letters* 294, 378–392, <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2009.11.025>.
- Kleinmans, M.G., M. F. P. Bierkens, & M. van der Perk (2010), On the use of laboratory experimentation: “Hydrologists, bring out shovels and garden hoses and hit the dirt”, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14, 369–382, <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/14/369/2010/>.
- Kleinmans, M.G. Buskes, C.J.J. & De Regt, H.W. (2005). *Terra Incognita: Explanation and Reductionism in Earth Science*. *International Studies in the Philosophy of Science*, 19, 3, 289–317, <http://dx.doi.org/10.1080/02698590500462356>.
- PISA, 2006. *Science competencies for tomorrow's world, volume 1: Analysis*. OECD, 383 pp., <http://www.oecd.org/pisa/>.
- Reynolds, O. (1889), Report of the committee appointed to investigate the action of waves and currents on the beds and foreshores of estuaries by means of working models. *British Association Report*. Reprinted in: *Papers on mechanical and physical subjects, Vol. II 1881–1900*, Cambridge University Press, 1901, Chapter 57: 380–409, <https://archive.org/details/paperonmechanico2reynrich>.
- Rijkswaterstaat (2008), *Agenda 2012 van het Ondernemingsplan Rijkswaterstaat*.
- Schramkowski, G. P., Schuttelaars, H. M., & de Swart, H. E. (2002). The effect of geometry and bottom friction on local bed forms in a tidal embayment, *Cont. Shelf Res.*, 22, 1821–1833.
- Schuurman, F., W.A. Marra & M.G. Kleinmans (2013), Physics-based modeling of large braided sand-bed rivers: bar pattern formation, dynamics and sensitivity, *J. Geophys. Res. Earth Surf.* 118, 2509–2527, <http://dx.doi.org/10.1002/2013JF002896>.
- Struiksma, N., K. Olesen, C. Flokstra & H. De Vriend (1985). Bed deformation in curved alluvial channels. *Journal of Hydraulic Research* 23: 57–79.
- van de Lageweg, W.M. van Dijk, A.W. Baar, J. Rutten & M.G. Kleinmans (2014). Bank pull or bar push: what drives scroll-bar formation in meandering rivers? *Geology* 42(4), 319–322, <http://dx.doi.org/10.1130/G35192.1>.
- Van de Ven G. 1976. *Aan de wieg van Rijkswaterstaat – wordingsgeschiedenis van het Pannerdens Kanaal*. Walburg Pers: Zutphen.
- van Dijk, W.M., W.I. van de Lageweg & M.G. Kleinmans (2013). Formation of a cohesive floodplain in a dynamic experimental meandering river. *Earth Surf. Proc. and Landforms* 38, 1550–1565, <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3400>.

- Van Oorschot, M., M.G. Kleinans, G. Geerling, H. Middelkoop, E. Mosselman & T. Buijse (2014), Distinct patterns of interactions between vegetation and river morphology. 10th ISE 2014, Trondheim, Norway.
- van Veen, J. (1950), Ebb and flood channel systems in the Netherlands tidal waters, *Journal of the Royal Dutch Geographical Society*, 67, 303-325, <http://www.jstor.org/stable/4299518>.
- van Wessel, T., M.G. Kleinans, A.W. Baar & J. Van Keulen (2014). *Wetenschapper in de klas: Wetenschappelijk onderzoek en technologie vertalen naar onderzoekend en ontwerpend leren in het basisonderwijs*, Utrecht University, Centrum voor Onderwijs en Leren, 70 pp., LINK.
- Wang, Z., R. Fokkink, M. de Vries & A. Langerak (1995). Stability of river bifurcations in 1D morphodynamic models. *Journal of Hydraulic Research* 33(6), 739-750.

Websites

www.uu.nl/geo: faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht

www.youtube.com/user/UniversiteitUtrecht: filmkanaal van de Universiteit Utrecht

www.geo.uu.nl/fg/mkleinhans: onderzoek, onderwijs en wetenschapscommunicatie van de auteur

www.deltares.nl: instituut voor toegepast onderzoek naar water, ondergrond en infrastructuur

www.ruimtevoorderivier.nl/: programma o.l.v. Rijkswaterstaat om kans op rivieroverstromingen te verkleinen

<http://ahn.geodan.nl/ahn/>: interactieve kaart van het Actueel Hoogtebestand Nederland

<http://andreabe.fishup.ru/>: werk van landschapsfotograaf André Ermolaev

www.moendoes.nl en www.expeditionmundus.org: spel voor in de klas dat wetenschap nabootst

www.wetenschapsknooppunten.nl: universitaire ondersteuning van wetenschapseducatie in het primair onderwijs

www.deontdekkingsreis.nl: vooruitstrevende basisschool met onderzoekende en ontwerpende leerlingen



Prof. dr. Maarten G. Kleinhans (1972) is sinds 1 juni 2014 hoogleraar Fysische Geografie, in het bijzonder de proces-sedimentologie van rivier-gedomineerde systemen, bij de faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht. Hij is als fysisch geograaf afgestudeerd aan de Universiteit Utrecht en in 2002 aan dezelfde universiteit cum laude gepromoveerd op sedimenttransport en sortering in zand-grindrivieren.

Zijn nieuwsgierigheid naar water, zand en leven leidde tot snelle veranderingen van werkmilieu: van het strand naar de rivier, terug naar de zeebodem, stroomopwaarts tot aan de voet van de bergen en naar planeet Mars, van meetschepen van Rijkswaterstaat naar het laboratorium en in de virtuele wereld van computermodellen. En nu, met de in 2014 toegekende NWO-STW Vici-beurs, weer zeewaarts richting riviermondingen. Hij onderzoekt hoe de veranderlijke patronen van geulen, zandbanken en overstromingsvlakten ontstaan door rivierstroming en getij, daarbij zowel nieuw land vormend als verwoestend. Hiervoor wordt een wereldwijd unieke faciliteit gebouwd om zelfvormende riviermondingen met getijstroming in experimenten na te bootsen: de Metronoom. Ook is het doel om voorspellende computermodellen te verbeteren, zodat deze kunnen worden ingezet bij het zoeken naar een duurzame balans tussen de economisch belangrijke scheepvaart en havens, veiligheid tegen overstromingen en de natuur.

