

Onzeker? Zeker weten!

Afscheidsvoordracht

uitgesproken op vrijdag 15 maart 2002 door

prof.dr.ir. H.J. de Vriend

Hoogleraar Modelling van Integrale Civieltechnische
Systemen

Civiele Techniek
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen

Universiteit Twente

ISBN: 90-365-1755-9

Onzeker? Zeker weten!

prof.dr ir H.J. de Vriend

ter gelegenheid van diens afscheid als hoogleraar van de Universiteit Twente

Mijnheer de Rector Magnificus, Mijne Heren leden van het College van Bestuur, Dames en Heren,

In feite markeert deze dag, net als de dag van mijn oratie aan deze universiteit, zo'n acht jaar geleden, voor mij de overgang tussen de universitaire wereld en de wereld van de Grote Technologische Instituten. Alleen beweeg ik nu in tegengestelde richting. Niettemin een goede gelegenheid, dunkt me, om eens te kijken naar de aansluiting tussen die twee werelden.

Inleiding

De titel van deze toespraak is wellicht wat raadselachtig, maar het gaat natuurlijk over water en zand, natuurlijk water en zand. Het gaat echter ook over de waterstaatkundige inrichting van laaggelegen, dichtbevolkte gebieden. In Nederland is dat niets nieuws, overigens, daar zijn de waterschappen al sinds de dertiende eeuw mee bezig. Maar het gaat ook over soortgelijke gebieden elders in de wereld, vaak met extremere omgevingscondities en een ander cultureel en bestuurlijk kader. Denk bijvoorbeeld aan de Mekong in Vietnam, of de Gele Rivier in China (Fig. 1).

Als we het over waterstaatkundige inrichting hebben, dan horen natuurlijke, extreme gebeurtenissen daar onverbrekelijk bij. Het moment van voorkomen van zulke gebeurtenissen is in de regel niet lang van tevoren te voorspellen. Dit geldt des te sterker voor wellicht nog veel riskantere combinaties van iets minder extreme gebeurtenissen. Denk bijvoorbeeld aan de combinatie van stormvloed op de Noordzee, zodanig dat de keringen in de Oosterschelde en de Nieuwe Waterweg moeten worden gesloten, en hoogwater in de Rijn en de Maas (op zich geen zeldzame gebeurtenis, omdat de meeste hoogwaters in beide rivieren ontstaan door extreme regenval in het noordoosten van Frankrijk). In die situatie kan het water niet weg en zullen we moeten zorgen voor voldoende opvangcapaciteit in het Deltagebied en het IJsselmeer. Om te weten wat 'voldoende' is, zullen we ons moeten verdiepen in de gecombineerde kans van voorkomen van de genoemde condities.



Fig. 1. Benedenloop van de Gele Rivier bij Zhengzhou. De rivier ligt hier zo'n 15 meter boven het zeer dichtbevolkte omringende land. Niet voor niets noemt men dit in China de 'suspended river'.
[Bron: Ren Decun, *A general introduction to the Yellow River*, The Yellow River Publishing House, ISBN 7-80621-343-0/K.12]

Daarmee betreden we het terrein van de probabilistiek en dus ook dat van de onzekerheden. Immers, waar het gaat om extreme omstandigheden zijn er geen of heel weinig gegevens die ons in staat stellen daarop statistiek te bedrijven en met een redelijke mate van zekerheid de kans van voorkomen te bepalen. Het maatgevende hoogwater in de Rijn komt overeen met een afvoer van $16000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith, terwijl de hoogst bekende afvoer in de orde van $12500 \text{ m}^3/\text{s}$ ligt.

Intussen doen we wel stellige uitspraken, ook naar de direct betrokkenen, over de kans van voorkomen van dergelijke omstandigheden en zelfs over de bijbehorende risico's. De voor het ontwerp van de waterkeringen langs onze rivieren maatgevende waterstand heeft een kans van voorkomen $1/1250$ per jaar, die voor de kustverdediging van $1/10000$ per jaar. Is het zo vreemd dat het publiek dit vertaalt in: "Dit gebeurt dus eens in de 1250, c.q. 10000 jaar, het zal mijn tijd wel duren?" en overgaat tot de orde van de dag? Dat het brede publiek niet in de termen van de waarschijnlijkheidsrekening denkt is nog op te vangen via regelgeving op basis van degelijk wetenschappelijk onderzoek. Wat mij meer zorgen baart is dat, zoals Joost de Ruig u eerder vandaag heeft laten zien, de genoemde bedragen uiterst gevoelig zijn voor kleine veranderingen in de omgevingscondities. Als de zeespiegel een paar decimeter stijgt, verschuift de lijn van maximale duinafslag meteen honderden meters landwaarts. In de Maas in Limburg is het verschil in waterstand tussen een overschrijdingskans van $1/250$ en $1/1250$ ongeveer 25 cm, gelijk aan de zogenaamde waakhoopte (dat is de overhoogte ten opzichte van de maatgevende hoogwaterstand, ter compensatie van onzekerheden, golfoploop, etc.) van de kaden rond de bebouwing in het hoogwaterbed. We weten dus niet of de omkade gebieden nu een overstromingskans van $1/1250$ per jaar hebben, of $1/250$ per jaar.



Fig. 2. Overlaat van een groene rivier (geen noodoverloopgebied!). Groene rivieren worden ingezet als het water tussen de bandjiken van de rivier niet meer verwerkt kan worden. [Bron: Silva et al., 2000. *Ruimte voor de Rijntakken: wat het onderzoek ons heeft geleerd*. RIZA-nota 2000.26, ISBN 9036953235].

Een ander concreet voorbeeld zijn de zogenaamde noodoverloopgebieden, bedoeld om de schade te beperken als zich onverwachte situaties voordoen. Dat kan zijn dat de afvoer toch hoger wordt dan we dachten, maar ook dat we ons toch een beetje verrekend blijken te hebben bij het inrichten van de rivier. In zo'n noodsituatie, waarin overstroming onvermijdelijk is, moet het mogelijk zijn de schade te beperken door gereguleerde overstroming. Het idee is om daartoe noodoverloopgebieden aan te wijzen en die zodanig in te richten, dat de schade binnen acceptabele grenzen blijft. Joost de Ruig, niet voor niets secretaris van de Commissie Noodoverloopgebieden, zei het vanmorgen uiteraard correct, maar menigeen beweert zonder blikken of blozen dat de kans dat deze noodoverloopgebieden worden ingezet dus 1/1250 per jaar is, zijnde de beweerde kans dat de maatgevende hoogwaterstand wordt overschreden. Of (een doordenkertje): "Dankzij de noodoverloopgebieden loopt de overstromingskans van de benedenstrooms gelegen gebieden terug naar 1/4000 per jaar." Deze mensen gaan er kennelijk impliciet van uit dat onze schattingen van de overschrijdingskans van het maatgevende hoogwater perfect zijn en dat we een volmaakt beeld hebben van wat er in een dergelijke extreme situatie gebeurt. Ik moet u bekennen dat ik daar toch wat minder zeker van ben!

De bovenstaande voorbeelden tonen aan, dat het bij de inrichting en het beheer van natuurlijke oppervlaktewateren noodzakelijk is bewust om te gaan met onzekerheden en deze dus ook zoveel mogelijk expliciet te maken. Ik hoop u ervan te kunnen overtuigen, dat hier een vernieuwende taak ligt voor de civieltechnische en -technologische wetenschap.

Trends

Natuurlijke ontwikkeling

Ook in een verregaand geordend land als Nederland hebben we te maken met min of meer natuurlijke watersystemen, zoals rivieren, estuaria en kusten. We willen met zijn allen, meer dan vroeger, het natuurlijke karakter van deze systemen benadrukken, maar dan wel zodanig, dat andere functies niet ongewild in het gedrang komen. We willen de natuur dus wel meer zijn gang laten gaan, maar niet zodanig dat de zaak onbeheersbaar wordt. We willen dus eigenlijk een wilde tuin, geen wildernis.

De natuur zal zich waarschijnlijk weinig aantrekken van onze wensen. Nu we onze watersystemen niet meer, zoals vroeger, volledig willen beheersen, ontkomen we er niet aan ze zodanig te beheren, dat er geen ongewenste effecten optreden. Om daarin anticiperend te kunnen optreden, is het noodzakelijk het natuurlijke gedrag van die systemen, binnen de daaraan door ons opgelegde beperkingen, te kunnen beschrijven en voorspellen. Hierin ligt een grote uitdaging, ook voor civiel ingenieurs.

Van oudsher zijn we in de 'natte' civiele techniek gewend ons, naast het ontwerpen en bouwen van waterbouwkundige constructies en het doen van fysieke ingrepen in watersystemen (bijvoorbeeld strandsuppleties), te concentreren op de respons van de omgeving op die constructies of ingrepen. Kortom: het systeem wordt flink uit zijn evenwicht gebracht en we proberen te voorspellen hoe het daarop reageert. Een gangbare aanpak is die van vergelijkend modelonderzoek, waarbij het effect van de ingreep wordt gemodelleerd en vergeleken met een referentierun van het model zonder ingreep ('TO' in het modellersjargon). Het model wordt zo goed mogelijk geijkt op de bestaande situatie, op basis van gegevens uit het verleden, en er wordt verondersteld dat dit geijkte model in staat is de ongestoorde situatie naar de toekomst te extrapoleren. Denkend vanuit het superpositiebeginsel, komt het bij deze aanpak niet zo vreselijk nauw met de kwaliteit van die extrapolatie. Het gaat immers om de effecten van de ingreep ten opzichte van de ongestoorde ontwikkeling.

Een voorbeeld van deze manier van werken is het ontwerp van de Slufterdam, aan de Maasvlakte bij Rotterdam (Fig. 3). Deze zanddam, rond een opslagdepot voor vervuilde grond, moest zodanig worden ontworpen, dat het onderhoud in termen van te suppleren hoeveelheden zand minimaal was. In het ontwerpproces is gebruik gemaakt van een wiskundig morfologisch model, dat per definitie niet in staat was de natuurlijke morfologische ontwikkeling in de omgeving (de Haringvlietmonding) tientallen jaren vooruit te voorspellen. Niettemin blijkt de Slufterdam inderdaad tamelijk onderhoudsarm te zijn.



Fig. 3. Slufterdam, Maasvlakte. Voorbeeld van een op basis van vergelijkend morfologisch modelonderzoek ontworpen constructie. [Bron: Liverpool/Thessaloniki Network. *European Coasts, an introductory survey*. ERASMUS-contract ICP 92-G-2013]

Zoals gezegd, deze benadering is nu niet langer voldoende: we zullen de ontwikkeling van natuurlijke systemen moeten leren beschrijven en voorspellen. Hiermee krijgt de civieltechnische wereld een overlap met de geowetenschappen, niet alleen met de traditionele, beschrijvende geologie en sedimentologie, maar ook met de fysische geografie en de aardobservatie. Deze laatste tak van wetenschap maakt een zeer snelle ontwikkeling door, waardoor het nu mogelijk is gedetailleerde synoptische waarnemingen te doen, die met traditionele *in situ* meettechnieken niet of slechts tegen zeer hoge kosten mogelijk zouden zijn. Zeer belangwekkend in deze is de combinatie van aardobservatietechnieken met proces-gebaseerde wiskundige modellen, die geavanceerde observatietechnieken koppelt aan fysische kennis en op die manier grote meerwaarde creëert.

Een voorbeeld van deze benadering is het Bathymetry Assessment System (BAS; zie www.argoss.nl), dat via vliegtuigradar (SAR) de structuur van het capillaire golfveld op zee observeert en daaruit via een aantal wiskundige modellen de bodemligging afleidt. Op deze manier kunnen zandgolven op de zeebodem vanuit de lucht worden gedetecteerd (Fig. 4), maar ook meer complexe ondiepwater-topografieën, zoals die rond een zeegat.

Duurzaamheid

Een tweede belangrijke trend, naast meer aandacht voor natuurlijke ontwikkeling, is het duurzaamheidsdenken. Onafhankelijk van de precieze definitie van duurzaamheid, betekent dit: ver in de tijd vooruit kijken, op tijdschalen waarop wezenlijke veranderingen kunnen optreden in de natuurlijke omgeving. Denk bijvoorbeeld aan klimaatverandering (typische tijdschaal honderd jaar), maar ook aan vegetatieontwikkeling (tijdschaal tientallen jaren), die van grote invloed kan zijn op de afvoercapaciteit van een rivier tijdens hoogwater of de stabiliteit van een duingebied.



Fig. 4. Radarbeeld van het zeeoppervlak bij Hoek van Holland; de bodemtopografie (zandgolven en zandbanken) komt tot uitdrukking in het waargenomen patroon van capillaire oppervlaktegolven [met dank aan Argoss bv, Marknesse].

Hierdoor ontstaan overlappingen met de klimaatwetenschappen (atmosfeer en oceaan) en met de biologie en de ecologie. Deze laatste geven aanleiding tot het ontstaan van interessante inter-disciplines als ecohydraulica en biogeomorfologie. Diverse projecten in het kader van het INTERREG-programma IRMA-SPONGE en in dat van Delft Cluster zijn hiervan de weerslag. In Twente heb ik nooit veel gehoor gekregen voor mijn pleidooi de ecologische component van ct&m te versterken. Wellicht dat herhaling van deze oproep hier vanaf de valreep meer effect heeft.

Ruimte

Een derde trend is de aandacht voor het gebruik van de ruimte, uiteraard onder invloed van de steeds verder toenemende druk op de ruimte.

Ter illustratie: vorige week stond in een bijlage van de NRC een kaartje (Fig. 5), dat aangeeft waar in de nabije toekomst conflicten zullen ontstaan tussen de ruimteclaims voor waterberging en die voor woningbouw. Het kaartje illustreert in welke mate ruimte inmiddels een schaars goed is geworden, dat volgens bepaalde regels verdeeld moet worden. We zullen moeten leren hoe. Economie van het ruimtegebruik is voor ons dan ook in meer dan één opzicht een relevant wetenschapsgebied.

Ruimte heeft echter een belangrijke eigenschap: ze is meervoudig bruikbaar. Een waterdruppel wordt op zijn weg van de bergen naar zee een groot aantal malen gebruikt en voor diverse doelen. Maar ook een stuk rivier kan gelijktijdig voor gelijktijdig diverse functies hebben, zoals: veilige afvoerweg voor water, ijs en sediment, scheepvaartweg, landschapselement, drager van natuur en cultuur, deel van de ecologische hoofdstructuur, landbouw-, industrie- of recreatiegebied, etc. Soortgelijke inventarisaties van functies kan men maken voor estuaria, de kustzone en zelfs voor de zeebodem.

Nieuwe projecten voor woningbouw (meer dan 500 woningen) gehesit of gedeeltelijk gebouwd in mogelijke gebieden voor waterberging

Wie verschillende lagen van de Nieuwe Kارت van Nederland over elkaar legt, ziet dat plannen kunnen botsen. Voor eenzelfde gebied kunnen waterschap-pen en verschillende gemeenten verschillende plannen hebben.

Het bestuur heeft of is naar voren bij een vergelijking van woningbouwplannen en waterberginggebieden. Dit zijn gebieden waar wateroppervlakten hoe te veel open water tijdelijk kunnen bergen, bijvoorbeeld om te voorkomen dat een dijk doorbreekt. Het overblijft voor wordt beheerd en tijdelijk opgevangen.

Het idee van de waterberginggebieden werd in 2000 geformuleerd, en is sindsdien aan de waterschappen op zoek naar geschikte plekken.

Woningbouw in deze gebieden is uiteraard niet verstandig. Maar volgens de Nieuwe Kارت hebben gemeenten nu 58 plannen voor woningbouw geheel of gedeeltelijk binnen een gebied waar de waterschappen waterberging mogelijk achten. Op deze kaart staan ca 20 plannen aangegeven die meer dan 200 woningen behelzen.

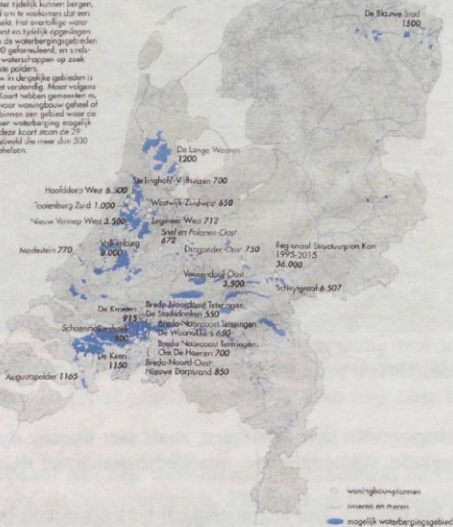


Fig. 5. Toekomstige conflicten tussen de ruimteclaims voor waterberging en die voor woningbouw. [Bron: NRC, zaterdag 9 maart 2002, Thema-bijlage *De nieuwe kaart van Nederland*. Zie ook: www.nieuwekaart.nl]

Dit meervoudige ruimtegebruik is echter een kwestie van zorgvuldig passen en meten. Dit brengt de noodzaak met zich mee:

- subtieler en preciezer te werk te gaan bij ingrepen en beheer en onderhoud; grove, vooral op één functie (i.e. scheepvaart) gericht ingrepen zoals de normalisaties in de vorige eeuw zouden nu niet meer denkbaar zijn;
- het natuurlijke systeemgedrag diepgaander en preciezer te kennen, inclusief het expliciet maken van de onzekerheden in die kennis;
- deze kennis te vertalen naar diverse ruimte- en tijdschalen; zo vereist duurzaamheid voorspellingen op lange termijn, beheer op middellange termijn, operationeel management (bijv. hoogwaterbeheersing) op korte termijn;
- bij ingrepen deze kennis in te brengen in alle fasen van de projectcyclus (verkenning, voorbereiding, uitvoering, operationeel gebruik/beheer en ontmanteling); dit vereist telkens andere vormen van informatie, dus telkens een andere vertaling van de kennis;



Fig. 6. Wonen op het water, een voorbeeld van hoe de ruimte die water biedt kan worden gebruikt.

- andere wetenschapsvelden in te schakelen, zoals niet-lineaire dynamica, *data-mining*, data-model-integratie, systeemtheorie, onzekerheidsanalyse, risico-analyse, etc.

De ontwikkeling in het denken, van technocratisch beheersen volgens onze eigen wensen naar duurzaam beheren met respect voor het eigene van het systeem (van *making things happen*) wordt geïllustreerd door de beleidslijn Ruimte voor de Rivier. Een boeiende inversie daarvan is Water voor Ruimte, refererend aan de mogelijkheid om de ruimte die water biedt beter te benutten. Het gelijknamige project dat momenteel door een aantal jonge wetenschappers wordt uitgevoerd in het kader van de CUR-prijsvraag 'Morgen de Ruimte' speelt hierop in.

Maatschappij

Een vierde belangrijke trend is de verschuiving van het accent in de besluitvorming van de techniek naar de maatschappij. Het besluitvormingsproces, met al zijn actoren en belanghebbenden, inclusief alle daaraan ten grondslag liggende maatschappelijke processen, speelt in toenemende mate een bepalende rol. De maatschappij is allang geen context meer waarin we als technici onze besluiten moeten inpassen, de rollen zijn veeleer omgekeerd. Daarom zullen we aansluiting moeten zoeken bij competenties in de sfeer van de maatschappijwetenschappen.



Fig. 7. Inspraakavond, leerzaam en confronterend

Deze trend zal zich voortzetten naarmate water een belangrijker rol speelt in het maatschappelijke proces (bijvoorbeeld de ruimtelijke ordening) en naarmate de complexiteit van de projecten en de interacties tussen de daarbij betrokken partijen toeneemt. Materiekennis en voorspellend vermogen met betrekking tot het natuurlijke systeem vormen slechts een deel van de competenties die nodig zijn om een project rond een watersysteem te realiseren. De pure materiedeskundige wordt daardoor steeds verder in een bijrol gedrongen, als hij al gehoord wordt. Ik kom hier later in mijn verhaal op terug.

Een en ander gaat gepaard met een toenemende betrokkenheid en mondigheid van de burger, als *stakeholder* of als belangstellende. Dit betekent voor ons als deskundigen,

- dat we meer hebben uit te leggen aan meer partijen, direct of via de media (Fig. 7),
- dat we onze kennis op andere, voor leken toegankelijke wijze moeten aanbieden, inspeland op hun kennisniveau en hun referentiekader; men vertrouwt er nog steeds op dat we de dingen goed onderzoeken, maar neemt niet langer voetstoots aan dat we ook de goede dingen onderzoeken,
- dat onze visies en percepties geconfronteerd worden met andere.

Dit impliceert een behoefte aan interactie met communicatie-deskundigen (over het 'hoe') en een vorm van kennismangement (over het 'wat'), die ertoe leidt dat onze kennis ook wordt vertaald, vastgelegd en toegankelijk gemaakt voor de geïnteresseerde leek.

Niettemin rust op ons, civieltechnici en –technologen, niet alleen de taak de steun van betrokkenen en het brede publiek te verwerven. Het is aan ons om te benadrukken dat het natuurlijke karakter van het systeem dient te worden gerespecteerd, ook als dat minder gewenste gevolgen heeft, zoals niet bouwen in het hoogwaterbed van een rivier. Het is ook aan ons om duidelijk te maken wat dat respecteren precies inhoudt in termen van *do's and don'ts*.

Samenvattend

Samenvattend zien we vanuit het perspectief van de materiedeskundige dat er om ons heen een toenemende behoefte is aan

- diepgaandere en preciezer specialistische kennis, inclusief expliciete kennis van de onzekerheden daarin,
- voorspellend vermogen met betrekking tot het gedrag van watersystemen op korte, middellange en lange termijn, inclusief een expliciete indicatie van de onzekerheden in die voorspellingen,
- civieltechnisch en –technologisch vernuft,
- flexibiliteit in vormgeving en presentatie van onze kennis,
- kennis-doorstroming,
- interdisciplinaire samenwerking,
- communicatie, ook met het brede publiek.

Er is dus een duidelijke vraag naar uitbreiding van de materiedeskundigheid. De ooververdoevende vraag naar niet-technische competenties rond het omgaan met onze watersystemen doet daar niets aan af. Op ons als technici rust de dure plicht ons hierdoor niet te laten misleiden en, desnoods tegen de stroom in, de materiekennis op het benodigde niveau te brengen en te houden. Dat doet overigens niets af aan de noodzaak praktisch relevante vraagstukken aan te pakken en er zo goed mogelijk voor te zorgen dat onze kennis voor die praktijk bruikbaar en toegankelijk is.

Implicaties voor het onderzoek

Het zal duidelijk zijn dat deze trends in de wereld om ons heen hun weerslag moeten krijgen in onze onderzoeksprogramma's. Ik zal nu een aantal van die implicaties kort de revue laten passeren.

(1) Verdieping materiekennis

Een belangrijke implicatie van het bovenstaande voor het civieltechnische onderzoek is de noodzaak tot een verdere, doelgerichte verdieping van de materiekennis. Daarbij moeten we ons realiseren dat de tijd van *easy wins* in ons vak echt wel voorbij is. We zullen optimaal gebruik moeten maken van het scala aan onderzoeksmethoden dat ons ter beschikking staat. Op het gevaar af beschuldigd te worden van preken voor eigen (nieuwe) parochie, wil ik hier nog eens benadrukken, dat laboratoriumonderzoek, veldmeetcampagnes, monitoringprogramma's, numerieke modellering en theoretische analyses elk hun bijdrage hebben te leveren aan de kennisopbouw. Niet alleen sluiten ze elkaar niet uit, ik ben van mening dat ze niet zonder elkaar kunnen. Ook een GTI als WLIDelft Hydraulics denkt daar zo over, getuige hun Addendum bij het Strategisch Plan 2001-2004. Hier ligt een kans om door nog betere samenwerking tussen universiteiten, Rijkswaterstaat en de GTI's onze onderzoeksinfrastructuur in stand te houden, c.q. te verbeteren en tegelijkertijd belangrijke wetenschappelijke voortgang te boeken.

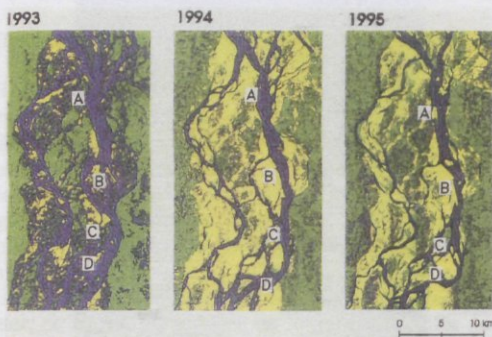


Fig. 8. Geulpatroon in de Jamuna, Bangladesh, in drie opeenvolgende jaren [zie ook H.R.A. Jagers. *A comparison of prediction methods for medium-term planform changes in braided rivers*. Proc. RCEM 2001 Symposium, Obihiro, Japan]

Ik geef u een aantal tamelijk willekeurige voorbeelden uit mijn directe omgeving, waaruit blijkt dat kennisverdieping hoog nodig is.

- **Rivierdynamica**

Fig. 8 geeft een beeld van de ontwikkeling van het geulpatroon in de Jamuna, een vlechtende rivier in Bangladesh. Het is nog steeds niet gelukt deze ontwikkeling op overtuigende wijze in een model te 'vangen', noch in een proces-gebaseerd morfologisch simulatiemodel, noch in een op gegevens gebaseerd model (bijvoorbeeld via een neurale netwerk), noch in een mengvorm van beide. Toch valt er, ook voor Nederlandse situatie, veel van deze rivier te leren als het om verschijnselen als oevererosie en geulvorming gaat. In Nederland willen we immers toe naar beheerst eroderende oevers (Maas) en nevengeulen (Maas en Rijntakken). Dit leerproces zal sterk versneld worden als we beschikken over proces-gebaseerde modellen die in staat zijn de relevante verschijnselen weer te geven en over gegevens om die modellen te valideren. Binnenkort is hierover een Twentse dissertatie te verwachten.

- **Kustdynamica**

Kennis van de kustdynamica is niet alleen nodig voor het ontwerpen van kustverdedigingsmaatregelen, maar ook voor rationeel kustonderhoud. Dit laatste impliceert anticiperend optreden, bijvoorbeeld bij versnelde zeespiegelstijging, maar ook het inschatten van gevolgen en risico's van al dan niet handelen. Daarvoor zijn kennis en modellen nodig van het natuurlijke kustgedrag.



Fig. 9. Hollandse kust tussen Bergen en Petten, met op de achtergrond de na vele jaren van kusterosie ver in zee uitstekende Hondsbossche Zeewering.

Daarnaast worden grote ingrepen in kustzone overwogen, zoals kustuitbreidingen (Maasvlakte, Nieuw Holland) en een eiland in zee. De gevolgen van deze ingrepen op het kustgedrag zullen moeten worden voorspeld en daarvoor zijn nieuwe kennis en voorspellende modellen nodig. Voor wat betreft het eiland in zee is het Flyland-project daartoe een belangrijke aanzet.



Fig. 10. Westerschelde bij Baarland. Links een gemeten patroon van elkaar ontmoetende eb- en vloedgeulen, rechts een patroon verkregen met een morfologisch model van een rechthoekig estuarium op basis van Delft3D. [Zie ook: A. Hibma et al., *Channel and shoal formation in estuaries*, Proc. RCEM 2001 Symposium, Obihiro, Japan]

- **Dynamica van estuaria**

Estuaria verschaffen vaak toegang tot verder landinwaarts gelegen havens en zijn daarnaast veelal unieke natuurgebieden, die een onmisbare rol vervullen in het ecosysteem. Conflictstof te over, dus. Dit geldt ook voor de Westerschelde, die toegang biedt tot de haven van Antwerpen. De vraag doet zich voor in hoeverre een steeds verdergaande verdieping van de vaargeul door dit estuarium vraag verantwoord is uit een oogpunt van behoud van het specifieke karakter van dit estuarium, zowel morfologisch als ecologisch. Beantwoording van deze vraag vereist in de eerste plaats kennisverdieping en modelvorming op het gebied van morfologie, ecosysteem en hun onderlinge wisselwerking. Onder leiding van Rijkswaterstaat en in het kader van Delft Cluster wordt hier inmiddels aan gewerkt.

Bovendien moet straks worden voldaan aan een reeks Europese richtlijnen, zoals de Kaderrichtlijn Water, de Habitat-richtlijn en de Vogel-richtlijn. De onzekerheden in de indicatoren van de toestand van het systeem, expliciet gemaakt op basis van deze nieuwe kennis, moeten duidelijk maken in hoeverre kan worden vastgesteld of daadwerkelijk aan deze richtlijnen wordt voldaan.



Fig. 11. Zeegaten in het oostelijke deel van de Westfriese Waddenzee [Bron: Natuurmonumenten]

- **Dynamica van zeegaten**

De dynamica van zeegaten speelt een sleutelrol in de voorspelling van de effecten van een versnelde zeespiegelstijging op de Waddenzee. Vraag daarbij is bij welk stijgingstempo de kritieke grens ligt waarboven het intergetijdegebied verloren gaat en de Waddenzee verdrinkt. Marcel Stive heeft vandaag laten zien, dat op basis van geologische analyses kan worden aangetoond dat zulks in het verleden is gebeurd met zeegaten in de Hollandse kust bij een zeespiegelstijging van ca. 1 m/eeuw. Ook liet hij resultaten zien van berekeningen met een eenvoudig box-model, geijkt aan de waargenomen respons op grote menselijke ingrepen in het recente verleden, zoals de afsluiting van de Lauwerszee. Op basis daarvan is met een aanzienlijke mate van zekerheid te verwachten, dat ook in de grotere deelsystemen van de Waddenzee de platen zullen verdrinken bij een dergelijk tempo van zeespiegelstijging.

Voordat dit aanleiding geeft tot maatregelen in dit kwetsbare gebied, zullen deze resultaten verder moeten worden onderbouwd. Daarvoor zijn meer diepgaande kennis en geavanceerdere modellen van gedrag van zeegeatsystemen nodig. In het kader van het NCK-Zeegatenproject wordt hier inmiddels hard aan gewerkt.

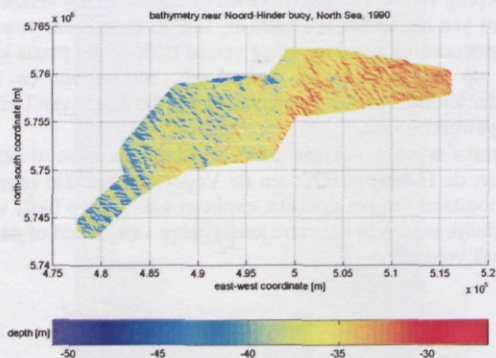


Fig. 12. Zandgolven op de Noordzeebodem, nabij bij de monding van de Eurogeul
 [Bron: Rijkswaterstaat, Directie Noordzee; zie ook M.A.F. Knaapen et al., 2001. A new type of sea bed waves. *Geophys. Res. Lett.*, 28(7)]

• Zeebodemdynamica

De Noordzee, inclusief de bodem daarvan, wordt uiterst intensief gebruikt, niet alleen voor scheepvaart en visserij, maar ook voor de offshore industrie, pijpleidingen, kabels, etc. Verder liggen er wrakken, oorlogstuig en gedumpt of verloren materiaal op of in de bodem. Kortom, ook op zee wordt ruimte schaars. Als we dan verder constateren dat de zeebodem veel dynamischer is dan men wellicht denkt, met langzaam migrerende zandgolven tot een kleine 10 meter hoog, dan zal duidelijk zijn dat er zorg is over het vrijkomen van begraven materiaal en over ontgroning rond begraven objecten. Wrakken zijn gevaarlijk voor de scheepvaart, gedumpt materiaal kan een milieurisico vertegenwoordigen, vrij hangende pijpleidingen en kabels kunnen breken door trilling in de stroming, of ze erachter hakend visserstuig kan tot ongelukken leiden. Het economische risico van een gebroken communicatiekabel, of het milieurisico van een gebroken oliepijpleiding behoeft geen nadere toelichting. Anderzijds neemt de economische waarde van de aanwezige zand- en grindvoorraden toe, naarmate deze materialen binnenslands schaarser worden. De zeebodem biedt dus ook kansen.

Kennis van de dynamica van de zeebodem is een noodzakelijke voorwaarde om verantwoord met deze kansen en risico's te kunnen omgaan. De UT is er de laatste jaren in geslaagd een prominente positie in het onderzoek op dit gebied te veroveren.



Fig. 13. Ochten, 1995: dreigende instabiliteit van de dijk tijdens extreem hoogwater. Betere voorspellingen van de waterstanden kunnen belangrijke tijdswinst opleveren. [Bron: Silva et al., 2000. *Ruimte voor de Rijntakken: wat heeft het onderzoek ons geleerd?* RIZA-nota 2000.26, ISBN 9036953235].

- **Hoogwatervoorspelling**

Hoogwaterberekeningen spelen een rol bij diverse vraagstellingen. Het meest spectaculair is de operationele voorspelling vlak voor en tijdens een individueel hoogwater. Hierbij gaat het erom om enkele uren tot dagen vooruit zo nauwkeurig mogelijk het waterstandsverloop te voorspellen. Elk uur tijdswinst kan van onschatbare waarde blijken, in termen van mensenlevens en materiële en psychische schade.

Een tweede categorie vragen waarbij hoogwaterberekeningen een rol spelen is dat van de hoogwater*genese*: hoe komen hoogwaters in een bepaald stroomgebied tot stand en wat kan men doen om extreme hoogwaters te voorkomen of af te zwakken? Dit is het grensgebied tussen de stroomgebied-hydrologie en de waterloopkunde.

Een derde, hieraan gerelateerde categorie betreft de inrichting van de rivier, zodanig dat extreme hoogwaters tot een bepaalde grens (een afgesproken overschrijdingskans, overstromingskans of overstromingsrisico) kunnen worden verwerkt. Volgens de Wet op de Waterkering is dit een kwestie van elke vijf jaar het dan geldende maatgevende hoogwater bij de op dat moment aanwezige toestand van de rivier doorrekenen en toetsen of de waterkeringen nog hoog genoeg zijn. Pas met de beleidslijn Ruimte voor de Rivier is er aandacht gekomen voor de vraag of de rivier zelf in een zodanige conditie gebracht zou kunnen worden dat de maatgevende hoogwaterstanden lager zouden worden, c.q. dat een grotere maatgevende afvoer zou kunnen worden geaccommodeerd zonder de dijken te verhogen. Voor die tijd gold slechts het compensatiebeginsel, dat eiste dat ingrepen in de rivier zodanig door aanvullende maatregelen moeten worden gecompenseerd, dat het netto effect op de maatgevende hoogwaterstanden nihil is. De vraag hoe groot de kans is dat de afvoercapaciteit van een rivier binnen de genoemde periode van vijf jaar via natuurlijke processen (morfologische veranderingen, vegetatie-ontwikkeling) substantieel gereduceerd wordt, wat daarbij dan de kritieke punten zijn en met welke risico's dit

gepaard gaat, wordt echter nog steeds niet gesteld. Rationeel rivieronderhoud is een nog jong aandachtsgebied met grote ontwikkelingsmogelijkheden.

Er ligt hier dus nog het nodige werk, ook op het vlak van wetenschappelijk onderzoek. Een belangrijk deel van de discussies rond hoogwater en hoe daarmee om te gaan wordt gevoerd in de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW). Gegeven het feit dat het ct&m-onderzoekprogramma van de UT zich nadrukkelijk wil bezighouden met stroomgebiedbeheer en rivierinrichting, zou ik de betrokkenen willen aanbevelen de banden met de TAW nauwer aan te halen.

Deze korte *tour d'horizon* maakt hopelijk duidelijk hoeveel er nog te doen is aan verdieping van onze materiekennis. Uiteraard moet de formulering van de desbetreffende kennisvragen in open interactie met de omgeving plaatsvinden, moet een deel van het onderzoek ook interdisciplinair worden opgezet en moeten de resultaten qua vorm, toegankelijkheid en bruikbaarheid aansluiten bij de maatschappelijke context, maar vroeg of laat zal toch ook de β -wetenschapper weer eens even zijn monodisciplinaire 'hok' in moeten om het eigen vakgebied de noodzakelijke stappen verder te brengen. Niet alles kan participatief en multidisciplinair worden opgelost, ook al wordt momenteel wel eens anders gesuggereerd! Ook moeten we ons door de huidige trend niet laten verleiden tot het beamen van de nogal eens gehoorde stelling dat technisch alles mogelijk is en dat het oplossen van onze waterproblemen alleen een kwestie is van organiseren en draagvlak verwerven.

(2) Natuurlijk systeemgedrag

Een tweede implicatie van de eerder genoemde ontwikkelingen in de wereld om ons heen voor het onderzoek in ons vakgebied is, zoals gezegd, dat er meer aandacht nodig is voor het natuurlijke systeemgedrag. Dat zal zijn weerslag moeten krijgen in onze onderwijs- en onderzoeksprogramma's.

Binnen het domein van de β -wetenschappen betreft dit de geowetenschappen, inclusief aardobservatie, en de biologie/ecologie. Geen van beide aansluitingen is in Twente tot dusverre in goed ontwikkeld. Het Nederlands Centrum voor Kustonderzoek (NCK) en het Nederlands Centrum voor Rivierkunde (NCR) bieden platforms om hier snel verandering in te brengen. Ook de contacten met het ITC (aardobservatie) kunnen gemakkelijk worden aangehaald.

Met name op het terrein van het lange-termijn gedrag van oppervlaktewatersystemen liggen hier grote uitdagingen. Synoptische monitoring is van essentieel belang om hierin verder te komen. De technologie hiervoor (remote sensing voor de waarneming, GIS voor de representatie en bewerking van de gegevens) is beschikbaar en ontwikkelt zich snel verder. Het is mijns inziens niet aan de UT, of enige andere universiteit of onderwijsinstelling, om op eigen kracht langjarige monitoringprogramma's op te zetten en uit te voeren, dat is veeleer een taak van een overheidsorgaan als de Rijkswaterstaat. Universitaire onderzoekers kunnen er echter wel toe bijdragen Rijkswaterstaat ervan te overtuigen dat ze dit moeten doen, door argumenten aan te dragen, maar ook door intensief gebruik te maken van de resultaten (zie bijvoorbeeld de ervaring met het JARKUS-bestand, het resultaat van tientallen jaren kustmonitoring).



Fig. 14. Schorvorming, een voorbeeld van dynamische interactie tussen vegetatie en morfologie in estuaria en kustlagunes.

Verder zijn de tijdschalen van het beoogde lange-termijn gedrag (tientallen jaren) vergelijkbaar met die van vegetatie-ontwikkeling, zodat interessante dynamische interacties ontstaan. Voorbeelden daarvan zijn de interacties tussen vegetatie-ontwikkeling en sedimentatie in uiterwaarden, tussen vegetatie en geulmigratie, tussen kwelder- of schorontwikkeling en de morfologie van kustlagunes en estuaria, tussen duinvorming en vegetatie aan de kust, etc. Kortom: werk aan de winkel voor dynamische systeemdenkers, zoals ook moge blijken uit de voordracht van Ferdinand Verhulst, eerder op deze dag.

(3) *Appropriate modelling*

Als derde implicatie wil ik noemen, dat er meer aandacht nodig is voor wat genoemd wordt *appropriate modelling*, d.i. het gebruik van modellen die zo simpel en transparant zijn als mogelijk en zo complex als nodig. Ik kijk daarbij wel eens met enige jaloezie naar de mathematisch-fysici, die in staat zijn een model tot op het bot te vereenvoudigen, zelfs tot op een niveau waarop je als ingenieur ernstige twijfels krijgt over de geldigheid ervan, maar die dan door de essentiële niet-lineariteit vast te houden toch een aantal buitengewoon interessante aspecten van het systeemgedrag weten te verklaren. Ook hier verwijs ik weer naar de voordracht van Ferdinand Verhulst.

Appropriate modelling heeft twee gezichten. Het ene zegt dat het idee dat complexiteit compensatie biedt voor een gebrek aan kennis berust op een misverstand. Een wijdverbreid misverstand, helaas, met name in ontwikkelingslanden, waar men maar al te gauw grijpt naar complexe driedimensionale simulatiemodellen om problemen aan te pakken die een goede deskundige zou kunnen oplossen met veel simpeler gereedschappen, met een aanzienlijk grotere kans op succes. Deze trend illustreert eens te meer dat het gebruik van modellen zonder de vaste grond van een solide materiekennis onder de voeten een moeras is, waar men steeds dieper in wegzinkt.

Het andere gezicht zegt, dat eenvoudige modellen niet gemakkelijker te ontwikkelen en met beheerste onzekerheid te hanteren zijn dan complexe. Een goed eenvoudig model komt vaak voort uit veel complexere reken- en denkmodellen. Eenvoud en transparantie als sublimatie van complexiteit, dus. Dit doet me denken aan het veel voorkomende contrast tussen de transparantie van een goed leerboek en de complexiteit van de oorspronkelijke publicatie waarop het gebaseerd is. Blijkbaar is er een traject van consolidatie en transformatie van de kennis nodig om eenvoud en transparantie te bereiken. Hier ligt een belangrijke taak voor onderzoekers, docenten en gebruikers van de kennis, maar ook voor onderzoeksfinanciers, die zich zullen moeten realiseren dat een onderzoek niet afgelopen is na de publicatie in *Nature* en dat het vervolgetraject misschien wel een veelvoud kost van deze eerste, fundamentele stap. Men kan niet aan de ene kant blijven roepen dat kennis moet doorstromen en aan de andere kant geen cent over hebben voor het daarvoor geschikt maken van die kennis.

(4) Onzekerheden expliciet maken

Een vierde implicatie is, dat onzekerheden expliciet gemaakt moeten worden, d.w.z. benoemd en gekwantificeerd. Dit betekent, dat we verschillende soorten onzekerheden moeten onderscheiden. Op het hoogste niveau zijn dat bijvoorbeeld onzekerheden die het gevolg zijn van een gebrek aan kennis of gegevens en onzekerheden die inherent zijn aan het systeem dat we bekijken. Die in de eerste categorie kunnen worden verkleind door verder onderzoek, c.q. gegevensverzameling, die in de tweede categorie zijn een gegeven waaraan meer onderzoek niets kan veranderen. Het zal duidelijk zijn, dat deze laatste categorie van groot belang is voor de natuurlijke watersystemen waar het in deze voordracht over gaat. Er zit voor ons dan ook niets anders op dan deze onzekerheden in kaart te brengen en er verantwoord mee om te gaan.

Dit laatste betekent in de eerste plaats, dat we doorwerking ervan in de resultaten van onze studies (modelopzet en -validatie, voorspellingen) moeten aangeven, waar mogelijk kwantitatief, bijvoorbeeld via onzekerheidsbanden rond voorspellingen. Daarnaast zullen we de doorwerking van die onzekerheden in de besluitvorming moeten vaststellen: wat voor verschil maakt het voor de te maken keuzen als de voorspellingen - binnen de onzekerheidsmarges - net even anders uitvallen?

Fig. 15 geeft een voorbeeld van de doorwerking van de onzekerheid in voorspellingen. Het betreft een geschematiseerde, kanaalvormige rivier zonder uiterwaarden, waarin op een 10 km lange vernauwing is aangebracht. Met een eenvoudig ééndimensionaal morfologisch model is de bodemligging na 30 jaar berekend. In tegenstelling tot wat momenteel in de rivierkunde gebruikelijk is, is dit echter niet één keer gedaan, maar 300 keer, telkens met een ander afvoerverloop in de tijd, echter steeds met dezelfde statistische eigenschappen. Vervolgens zijn de resultaten van deze *Monte Carlo simulatie* statistisch geanalyseerd. In de figuur is, naast het verloop van het gemiddelde bodemniveau, ook het 90% betrouwbaarheidsinterval weergegeven.

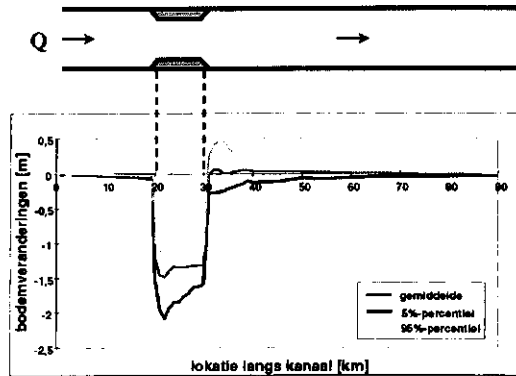


Fig. 15. Onzekerheidsmarges in de voorspelde respons na 30 jaar van de bodemligging in een geschematiseerde rivier met een 10 km lange vernauwing, bron van onzekerheid: afvoerloop in de tijd. [Zie ook H. van der Klis. *Uncertainty analysis of a river morphological model*. Proc. RCEM 2001 Symposium, Obihiro, Japan].

Vergeleken met de traditionele, deterministische manier van berekenen, met een constante, representatieve afvoer (de 'bedvormende afvoer') komt het gemiddelde ongeveer overeen met het aldus verkregen resultaat: geen effect benedenstrooms van de vernauwing, verdieping ter plaatse van de vernauwing en een geringe verdieping bovenstrooms. De variatie rond dit gemiddelde is echter aanzienlijk, in het vernauwde gedeelte van dezelfde orde van grootte als de gemiddelde verdieping en in de eerste kilometers benedenstrooms van vergelijkbare grootte. Dit kan voor een rivierbeheerder tot significant andere beslissingen leiden, bijvoorbeeld op het punt van funderingsdiepte van oeververdedigingen en brugpijlers, of op dat van te reserveren baggermateriaal voor het op diepte houden van de vaargeul.

Een ander voorbeeld, meer overeenkomstig de situatie in onze grote rivieren, betreft een rivier met over een traject van 10 km verlaagde uiterwaarden (Fig. 16). Het resultaat van een berekening met een constante afvoer wijkt hier essentieel af van dat van een Monte Carlo simulatie, met name benedenstrooms van het gedeelte met de verlaagde uiterwaarden. Ook hier leidt dit tot substantieel andere conclusies ten aanzien van het beheer van deze rivier.

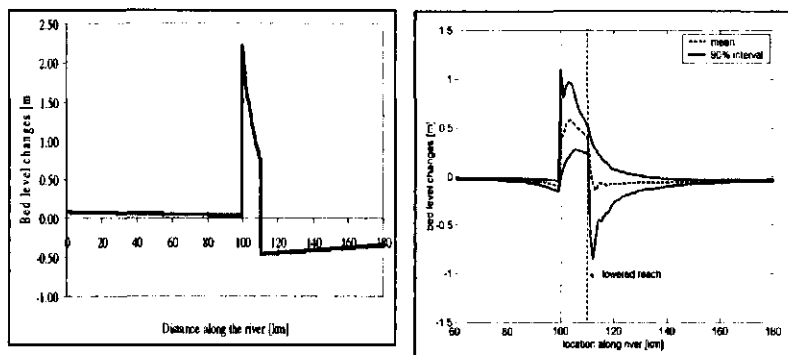


Fig. 16. Effecten van uiterwaardverlaging in een sterk geschematiseerde rivier, als berekend met een constante, representatieve afvoer (links) en met Monte Carlo simulatie (rechts). [Zie ook: B.G. van Vuren et al., *Large-scale floodplain lowering along the River Waal: a stochastic prediction of morphological impacts*. Proc. River Flow 2002, Louvain-la-Neuve, België]

Een en ander betekent ook, dat we onzekerheden bespreekbaar moeten maken. Niet iedereen in de praktijk is gediend van informatie met een onzekerheidsmarge ("Geen gezeur, ik wil getallen!"). Hier ligt ook een taak voor het onderwijs, waar men studenten moet leren denken in termen van onzekere informatie. Gelukkig heeft men dit bij ct&m ingezien en vormt omgaan met onzekerheid een wezenlijk onderdeel van het curriculum.

(5) Integratie

We praten allemaal graag en veel over de noodzaak tot integratie, maar vergeten daarbij veelal dit begrip handen en voeten te geven. Naar mijn mening is integratie het samenbrengen van kennis- en informatie-elementen tot voor een bepaald doel bruikbare informatie. Gereedschappen, zoals modellen en beslissingsondersteunende systemen, kunnen daarbij handige hulpmiddelen zijn, maar zij vertegenwoordigen niet het wezen van integratie en zijn geen alternatief voor intellectuele inspanning.

Het mislukken van MICS, mijn Twentse modelleringsgroep, in de functie van integrator tussen de aandachtsgebieden Verkeer, Bouwen en Water binnen ct&m is het leergeld dat we in Twente hebben betaald om ons dit te realiseren.

Integratie impliceert ook: een brug slaan tussen de bij ons, technici, gebruikelijke, modelmatige simulatiebenadering en voor leken veel toegankelijker vormen van kennis, zoals kennisregels, al dan niet omkleed met onzekerheidsmarges. Men zou kunnen zeggen dat simulatiemodellen laten zien wat je kunt, terwijl kennisregels vastleggen wat je weet.

(6) Multi-/inter-/trans-disciplinariteit

Een laatste implicatie, maar zeker niet de minst belangrijke, is dat we ons als technici en technologen open moeten stellen voor andere disciplines. Naar gelang de voorkeur van de betrokkenen en de mode in het taalgebruik leidt dit tot multi-, inter- of transdisciplinaire samenwerking. Onafhankelijk van de naam die we erop plakken, moet dit leiden tot combinatie en onderlinge versterking van α - (menswetenschappen), β - (natuurwetenschappen) en γ - (maatschappijwetenschappen) competenties. Als we dit projecteren op onze wens om te komen tot een betere inrichting van laaggelegen, dichtbevolkte deltagebieden, komen we tot de formule (naar prof.ir. J. Stuij)

$$\alpha + \beta + \gamma = \delta$$

of, iets minder vrijblijvend (omdat het resultaat nul wordt wanneer één van de componenten gelijk aan nul is):

$$\alpha \times \beta \times \gamma = \delta$$

Daarvoor is nodig dat alle betrokken partijen in beweging komen. Het kan niet zo zijn dat alleen de technici opschuiven en hun best doen tot integratie te komen, terwijl er in de andere disciplines niets verandert. De liefde kan niet van één kant komen!

Belangrijke voorwaarden voor samenwerking tussen disciplines zijn:

- wederzijds respect,
- een gemeenschappelijke taal (die te ontwikkelen is een niet te onderschatten inspanning),
- samenwerkingsprojecten met een gezamenlijke resultaatverplichting,
- flexibiliteit in de vorm waarin disciplinaire kennis beschikbaar en toegankelijk is,
- flexibiliteit in het schaalniveau waarop die kennis toepasbaar is,
- expliciet gemaakte onzekerheden.

Het is van belang dit te onderkennen en in de onderzoeksprogramma's expliciet ruimte te maken om aan deze voorwaarden te kunnen voldoen.

Rol universiteiten

Het voorgaande is van toepassing op de onderzoeksprogramma's van zowel universiteiten als GTI's. Toch is er ook verschil tussen de door elk van beide te spelen rol.

In Berkhout's innovatiecyclus-model (Fig. 17) spelen de universiteiten een duidelijke rol in de generatie van fundamentele kennis. Andere partijen in deze cyclus zijn in het geval van de Grond, Weg- en Waterbouwsector:

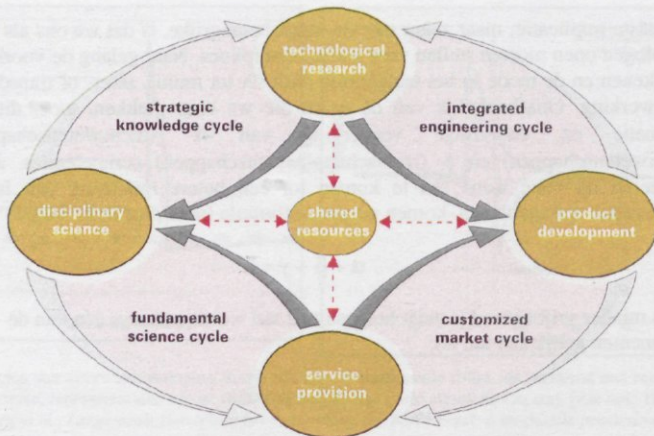


Fig. 17. Berkhout's innovatiecyclus-model

[Bron: A.J. Berkhout, 2001. *The dynamic role of knowledge in innovation*. Delft University Press]

- de GIT's, die moeten zorgen voor de vertaling naar praktisch bruikbare kennis en gereedschappen,
- de ingenieursbureaus, die met behulp van deze kennis en gereedschappen moeten komen tot praktische adviezen en ontwerpen,
- de aannemerij, die de projecten moet uitvoeren.

Deze gescheiden rolverdeling is momenteel sterk aan het vervagen, omdat men zich realiseert dat het vervlechten van de diverse taken leidt tot nieuwe kansen en mogelijkheden. Dit is het werkkterrein bij uitstek van het programma Bouwen en Bouwprocessen in ct&m.

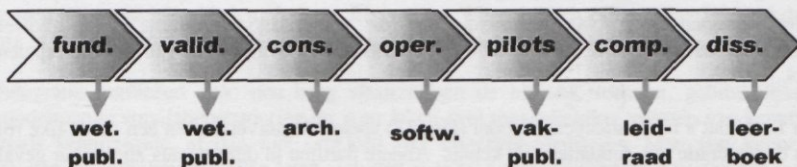


Fig. 18. Lineair model kennisontwikkelings- en overdrachtsproces

Een wat simpeler, zij het ook aanvechtbaarder weergave van het kennisontwikkelings- en overdrachtsproces is het lineaire model in Fig. 18. Het laat de diverse fasen in het traject zien (fundamenteel onderzoek, validatie, consolidatie, operationalisering, pilot-toepassingen, compilatie en disseminatie), met daaronder het belangrijkste type product voor elke fase. Ik zal dit model gebruiken waar het dienstig is om mijn visie op de positionering van het universitaire onderzoek te verduidelijken.

Naar mijn mening zouden universiteiten zich moeten positioneren aan de fundamentele kant van dit traject, maar ze moeten daarbij voldoende naar buiten gericht blijven. Waardering in de academische wereld kan en mag niet de enige norm zijn voor goed functioneren! Zelfingenomenheid en academische navelstaarderij zijn in deze tijd uit den boze. Niet alleen de toestroom van studenten naar de Master's-opleidingen is van belang, maar ook het niveau en de inzetbaarheid van de afgeleverde academici.

Een tweede advies voor de positionering is: gooi kennis niet over de muur naar de gebruikers (bijvoorbeeld in de vorm van publicaties in wetenschappelijke tijdschriften die men dan maar moet opvragen), maar denk na over hoe en in welke vorm ze gebruikt kan worden en wat u als universiteit kunt doen om die bruikbaarheid te bevorderen. Dit betekent, dat

- een wetenschappelijke publicatie-habitus wellicht nodig, maar niet voldoende is,
 - onderzoekers niet uitsluitend moeten worden afgerekend op aantallen publicaties en citaties, omdat dit maximalisatie van die aantallen uitlokt; niet alleen leidt dit tot overproductie van literatuur en inflatie van de intrinsieke en budgettaire waarde per publicatie, een en ander gaat ook ten koste van allerlei andere activiteiten die nodig zijn om de universiteiten de aansluiting bij de buitenwereld te doen behouden;
 - samenwerking gezocht moet worden met de GTI's en andere partijen in de kennisketen, niet alleen om schaalvoordelen te bereiken via het delen van onderzoeksfaciliteiten (gegevens, analysemethoden, modellen, laboratorium- en veldmeetfaciliteiten), maar ook om via communicatie met afnemers en gebruikers van de kennis te komen tot een betere articulatie van de kennisvraag,
 - het aan te bevelen is, mee te doen in *pilot*- en demonstratieprojecten, bijvoorbeeld in het kader van ICES/KIS en de EU-programma's,
- ook als u daarmee eens even niet scoort op de Science Citation Index.

Ten derde wil ik u, in lijn met de recente AWT-adviesbrief, aanraden: maak voldoende ruimte voor vrij onderzoek en speel niet teveel ingenieursbureautje. Alleen de universiteiten kunnen immers de risico's van vrij onderzoek dragen en zij moeten hun tijd dus niet verdoen met routinewerk. Zij zouden de plaats bij uitstek moeten zijn voor het stimuleren van het zo broodnodige laterale denken en zich niet teveel moeten laten leiden door het gerammel van de geldbuidels van derden (die dan bovendien vaak via allerlei al dan niet uitgesproken matching-voorwaarden beslag leggen op een aanzienlijk deel van de eigen middelen van de desbetreffende universiteit; zie bovengenoemde AWT-brief). Let wel, dit hoeft niet strijdig te zijn met het voorgaande, mits u zich richt op vraag-georiënteerd in plaats van vraag-gestuurd onderzoek.

Als vierde raad wil ik u meegeven om tot het uiterste te proberen onderwijs en onderzoek met elkaar verbonden te houden. Het onderwijs bedient immers een lange-termijn kenniscyclus en dient dus een gemeenschappelijk belang. Eigenlijk zou Berkhout's model nog een derde dimensie moeten hebben, namelijk de tijd. Zijn cyclus zou dan uiteenvallen in een aantal spiralen, elk met een andere spoed.

Tenslotte: zoek samenwerking en synergie. Het is de hoogste tijd de krachten binnen Nederland te bundelen en te stoppen met elkaar vliegen af te vangen. Nederland is wellicht de grootste van de kleintjes in Europa, maar zeker niet de kleinste van de groten. Als we vanuit Nederland niet met één mond spreken, hebben we in Europa niets te vertellen. En als we vanuit Nederland niets te bieden hebben, zal men ons niet zien staan als samenwerkingspartner. Gelukkig lijkt men dat eindelijk in te zien, afgaande op de berichten dat er gestreefd wordt naar taakverdeling en samenwerking tussen de drie TU's.

Hoe nu verder?

Wat betekent dit nu voor de groep Civiele Techniek van deze universiteit? Ten eerste, dat de banden met de andere civieltechnische onderzoekers in Nederland nog verder zouden moeten worden aangehaald, bijvoorbeeld door een nauwere samenwerking met de TUD, door actief mee te doen in ICES/KIS-3 programma's als Delft Cluster en Ruimte voor Water / Waarde van Water en door een (nog) actievere deelname in NCK en NCR. Waar dat in mijn vermogen ligt, wil ik daar graag bij helpen.

Ten tweede, dat alles in het werk gesteld moet worden om de combinatie van breedte en diepte (het 'punaise-model'), zoals die nu in het curriculum tot uitdrukking komt, vast te houden. Ik ben er vast van overtuigd, dat je niet op wetenschappelijk niveau kunt integreren zonder ook diep te gaan, al is het maar op een beperkt gebied. Besef: integratie van een lege doos levert een nog steeds lege doos op.



Fig. 19. Geforceerd (links) en vrij gedrag (rechts) van een kust; de strandhoofden op de linkerfoto leggen een vaste structuur op aan de morfologie van het strand; op de rechterfoto is er minstens zo veel structuur, zonder dat deze opgelegd wordt door enige constructie of obstakel.

Voor mijn derde punt in deze maak ik een uitstapje naar de systeemtheorie, waar sprake is van geforceerd en vrij gedrag (zie ook Fig. 19). Dit is ook aan de orde bij het management van kennisontwikkeling, of het nu aan een universiteit is of bij een GTI. Het aansturen van een groep professionele individualisten – en dat zijn onderzoekers zonder enige twijfel – is een kwestie van vrij (d.w.z. positief-creatief) gedrag stimuleren, niet van geforceerd (d.w.z. niet- of zelfs negatief-creatief) gedrag afdwingen. Een verleidingsmodel is derhalve veel geschikter voor onderzoeksmanagement dan een directief besturingsmodel. Een universiteit is dan ook echt iets anders dan een commercieel productiebedrijf!

Dit zou tot uitdrukking moeten komen in de manier waarop onderzoekers worden afgerekend op hun prestaties. Zoals gezegd, alleen maar publicaties en citaties in 'gereferende' tijdschriften tellen is echt te mager en op individueel niveau zelfs gevaarlijk, omdat het een houding van 'ieder voor zich' uitlokt. Men is niet meer bereid tijd te steken in het doen functioneren van de groep, (sub)optimaliseert op de eigen output. Als decaan van de faculteit T&M heb ik destijds bij wijze van experiment een optimale bandbreedte in het aantal publicaties per jaar en per categorie publicatie (inclusief publicaties in vaktijdschriften!) aangegeven. Groepen die onder het minimum bleven hadden iets uit te leggen, maar ook groepen die boven het maximum uitkwamen, vanuit het idee dat die mensen hun tijd wellicht verdedden aan massaproductie. Ik heb niet de illusie dat dit experiment het einde van mijn decanaat heeft overleefd.

Het mee doen functioneren van de machinerie van de onderzoekswereld (via *review-* en *editors-*werk, het zich inzetten voor een onderzoeksgroep, het organiseren van congressen en symposia, bestuurswerk in samenwerkingsverbanden, het opzetten van onderzoeksprogramma's, communicatie met afnemers en gebruikers, extern commissiewerk, etc.) zou op zijn minst meegewogen moeten worden bij de beoordelen van het functioneren van onderzoekers en onderzoeksgroepen. In het bedrijfsleven is men daar al langer achter, ook daar worden mensen niet meer alleen beoordeeld op hun bijdrage aan het financiële bedrijfsresultaat.

Slotwoord

Dames en Heren, ik heb vandaag vaak gesproken over onzekerheid. Toch zijn er nog een paar dingen zeker in deze wereld. Zeker is bijvoorbeeld, dat ik kan terugzien op boeiende en leerzame jaren aan de UT,

- als hoogleraar bij een jonge, zich ontwikkelende opleiding op een nieuw, interdisciplinair gebied; ik ben er nog steeds van overtuigd dat ct&m voorziet in een behoefte en dat de UT hiermee een goede strategische keuze heeft gemaakt!
- als leider, initiator en stimulator van een jonge, dynamische onderzoeksgroep; ik ben oprecht trots op wat daarvan geworden is!

- als bestuurder van de faculteit T&M, c.q. de bepaald niet gemakkelijke 'sub-faculteit' CT&M, waar ik de complexiteit en het unieke karakter van de universiteit heb leren kennen; ik kan u verzekeren: daar bestaat geen model van!

Verder is zeker, dat ik veel dank verschuldigd ben

- aan mijn CT&M-collega's, die ik zou willen meegeven verder te werken aan hun gezamenlijke visie en hun besliskracht als groep,
- aan mijn medebestuurders, samen met wie ik het schier onmogelijke geprobeerd heb, namelijk een (deel van een) universiteit besturen, wat een speciale band schept,
- aan onze stafmedewerkers, die ik misschien wel eens een keer te vaak de term bureaucratie voor de voeten heb gegooid, maar zonder wie het helemaal niet gaat!
- aan de MICS-medewerkers, die ik het volgende hart onder de riem zou willen steken: blijf pal staan voor het vak waar jullie goed in zijn; de maatschappij heeft jullie nodig, maar alleen als jullie weten aan te sluiten bij haar behoeften en eigenaardigheden.
- aan de UT, die ik nóg meer ben gaan waarderen nadat ik er (grotendeels) was vertrokken.

Dames en Heren, ik dank u voor uw aandacht en hoop u hiermee in bewuste onzekerheid achter te laten.