

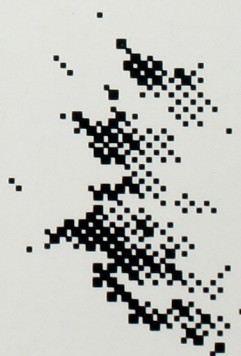
Diesrede

12 januari 1990

"Onderzoek in beweging"

Prof. dr. ir. J.A. Battjes

Technische Universiteit Delft



TU Delft

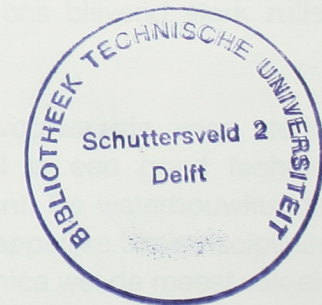
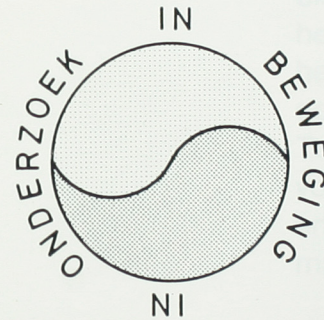
TRES Red Dées

Diesrede

12 januari 1990

"Onderzoek in beweging"

Prof. dr. ir. J.A. Battjes



Technische Universiteit Delft

Battjes_
red_
1990

INLEIDING

De term "civiele techniek" is een betrekkelijk recente naam voor een technisch vakgebied waarvan de oorsprongen in de oudste beschavingen zijn terug te vinden. Voordat van civiele techniek werd gesproken was de naam civiel ingenieur reeds ingeburgerd; daarmee werd slechts het onderscheid met de militair ingenieur aangeduid.

Civiele techniek is gericht op de primaire technische voorwaarden voor een civilisatie. Kenmerkend voor civieltechnische werken is de situering ervan in het natuurlijk milieu, hetzij om daartegen bescherming te bieden dan wel met de bedoeling daarin in te grijpen. In het bijzonder geldt dat voor de waterbouwkunde. Dit is het vakgebied dat grotendeels gezichtsbepalend is voor de civiele techniek en waarvoor Nederland, en ook de TUD, internationaal bekendheid heeft gekregen. Het vormt een levensbelangrijk onderdeel van ons nationale erfgoed, waarin we ons blijvend sterk zullen moeten maken.

Een noodzakelijke voorwaarde voor sterkte in een technisch vakgebied is een goed technisch-wetenschappelijk fundament. De waterbouwkunde stoelt op een aantal wetenschappelijke basisdisciplines; daarvan is de vloeistofmechanica wel de meest vak-eigene.

In de Faculteit der Civiele Techniek van de TUD vinden het onderwijs en het onderzoek in de vloeistofmechanica plaats in de gelijknamige sectie van de vakgroep waterbouwkunde. In deze voordracht zal ik pogen u een beeld te geven van het onderzoek in de vloeistofmechanica dat in deze sectie werd en wordt uitgevoerd.¹

KENMERKEN VAN HET VAKGEBIED

De vloeistofmechanica is een onderdeel van de stromingsleer, een vakgebied dat in de TUD breed is vertegenwoordigd. In een zevental faculteiten wordt daarin onderwijs gegeven en onderzoek uitgevoerd, vanuit verschillende invalshoeken en gericht op verschillende toepassingen.

Wat onderscheidt het onderzoek in de stromingsleer binnen de Faculteit Civiele Techniek van dat in de andere faculteiten? Bij beantwoording van deze vraag noem ik vanuit de beoogde toepassingen een aantal kenmerken die in stromingsmechanisch opzicht verschillende categorieën problemen definiëren.

Stromingsproblemen komen voor in verschillende deelgebieden van de civiele techniek, maar voor het doel van vandaag zal ik daarvan de waterbouwkunde als referentiekader gebruiken.

De typisch waterbouwkundige stromingsproblemen hebben betrekking op open water met een natuurlijke inbedding in loskorrelig materiaal, zoals in rivieren, estuaria en zeeën. De begrenzingen daarvan liggen niet a priori vast. Met andere woorden, het domein waarin de beweging plaatsvindt is zelf een onbekende in het probleem. Hierin ligt een fundamenteel onderscheid met de meeste stromingsproblemen in de andere technische faculteiten waarbij in het algemeen de begrenzingen vastliggen.

De bovenbegrenzing van open wateren bestaat uit het grensvlak met de atmosfeer, dat met recht het vrije oppervlak wordt genoemd. De voorspelling van het niveau ervan onder invloed van natuurlijke factoren zoals

wind, getijden en rivierafvoer, of technische ingrepen zoals afsluitingen en bediening van regelwerken, is vaak één van de centrale oogmerken in waterloopkundige berekeningen.

Aan het vrije oppervlak kunnen zich zwaartekrachtsgolven voordoen van verschillende origine. De meest opvallende daarvan zijn ongetwijfeld de windgolven, die u allen kent uit eigen waarneming of uit al dan niet plezierige ervaringen in de branding. De windgolven leveren veruit het grootste aandeel aan de bewegingsenergie die onze kusten vormt; bovendien veroorzaken zij de maatgevende belastingen op constructies aan de kust of in zee. Om beide redenen zijn zij een factor van grote betekenis voor de waterbouwkunde.

Het vrije oppervlak introduceert complicaties door de beweeglijkheid ervan. Daartegenover staat de matigende invloed die het heeft op de drukvariaties in het water. In combinatie met de toch al geringe samen-drukbaarheid van vloeistoffen houdt dit in dat laatstgenoemde invloed totaal verwaarloosbaar is in open water.

Ik keer nu van het oppervlak naar de onder- en zijdelingse begrenzingen. In de waterbouwkunde bestaan die begrenzingen vaak uit erodeerbaar materiaal. Ook dit voegt vrijheidsgraden toe aan het probleem. De voorspelling en beheersing van de ligging van bodem, oevers en kusten is juist één van de kerntaken in de waterbouwkunde. Zoals ik eerder opmerkte is er in dit opzicht een kenmerkend verschil met stromingsproblemen in veel andere technische disciplines, waar in het algemeen sprake is van vrijwel starre wanden.

vertikale vlak (ribbels of duinen op de bodem, zandbanken voor de kust) als in het horizontale vlak (meanders van een rivier).

Als laatste onderscheid noem ik de afmetingen van de verschillende stromingen. In technische, kunstmatige systemen zijn die normaliter zo klein dat de invloed van de aardrotatie kan worden verwaarloosd. In de meer grootschalige natuurlijke wateren waarmee de waterbouwkundig ingenieur wordt geconfronteerd kan die invloed wel degelijk van belang zijn, zoals in brede estuaria en meer nog in open zee. Hier raken we het terrein van de geofysische stromingsleer, het domein bij uitstek van fysisch oceanografen en meteorologen.

THEMA'S IN HET ONDERZOEK

In het onderzoek moeten keuzes gemaakt worden, o.m. die tussen een concentratie van beschikbare middelen op slechts één of enkele onderdelen enerzijds en een bredere dekking van het vakgebied anderzijds. De overwegingen daarvoor zijn deels van buiten-wetenschappelijke aard.

Het is een nationaal belang dat in Nederland de voorziening gegarandeerd blijft van expertise op alle terreinen van de waterbouwkunde. De Faculteit der Civiele Techniek is de enige in Nederland waar universitair onderwijs plaats vindt in dat vak. Wij achten het daarom noodzakelijk dat het daaraan toeleverende onderwijs in de vloeistofmechanica alle hoofdthema's ervan moet dekken.

Wij willen de studenten kunnen onderwijzen in de verschillende onderdelen van het vak vanuit onze eigen

actieve betrokkenheid met het onderzoek daarin, en hen in staat stellen in elk daarvan zelf onderzoek te doen. Daarom hebben wij ervoor gekozen in alle hoofdthema's van de vloeistofmechanica onderzoek te doen. Wij accepteren de geringere inspanning per deelgebied die hiervan het gevolg is.

Voor een indeling in hoofdthema's is primair een onderscheid te maken tussen stromen en golven; beide kunnen al dan niet in wisselwerking zijn met elkaar en/of met een erodeerbare bodem en/of met een constructie. Dit voert tot de volgende thema's (wisselwerkingen daartussen zijn niet aangegeven):

Stroming en transportverschijnselen

Sedimenttransport en morfologie

Windgolven

Wisselwerkingen met constructies

Om een concreter beeld te geven van de onderwerpen binnen deze thema's noem ik daarvan enkele voorbeelden:

- stroming in rivierbochten
- meanderen van rivieren
- interne golven en turbulente diffusie in gelaagde stromen
- voortplanting van windgolven in variabele diepte en stroom
- breking van windgolven (branding)
- transport van fijn zand in suspensie

- golfkrachten op offshore constructies
- stroming-geïnduceerde trillingen in kleppen

UITGANGSPUNTEN IN HET ONDERZOEK

Voor het onderzoek binnen de gekozen thema's hanteren wij de volgende uitgangspunten.

Als eerste noem ik dat de vraagstelling wetenschappelijk bepaald moet zijn, dus niet door een korte-termijn vraag in een toevallig voorhanden zijnde concrete situatie. Met andere woorden: vraagstellingen gericht op vorming van inzicht in de fysische processen in geschematiseerde toestanden, voerend naar generaliseerbare uitkomsten.

Diegenen onder u voor wie dit een niet-noemenswaardige vanzelfsprekendheid is moet ik helaas teleurstellen. Er is immers een voortdurende druk op de universiteiten om zich in het onderzoek meer marktgericht op te stellen. In het verlengde hiervan ligt de neiging een onderzoeksgroep te beoordelen naar de mate van zijn koopmanschap in plaats van naar een inhoudelijke waardering van het onderzoek. Ik acht dit in strijd met de wettelijke doelstellingen van de universitaire wetenschapsbeoefening, en ook ongewenst uit het oogpunt van de bewaking van zuivere verhoudingen met de niet-universitaire instellingen van onderzoek en advisering.

Met een wetenschappelijke vraagstelling als uitgangspunt streven wij waar mogelijk wel naar vertaling van onderzoekresultaten in praktisch hanteerbare vorm (b.v. parameterrelaties, algoritmen, software pakketten). Hierin lijkt misschien een inwendige tegenstrijdigheid te schuilen, maar daarvan is in feite geen sprake. In dit

verband citeer ik met instemming een Duits adagium, dat overigens van niemand minder dan Boltzmann afkomstig schijnt te zijn: "Es gibt nichts praktischer als eine gute Theorie".

Als overdraagbaar eind"product" van het onderzoek streven wij naar mathematische modellering van de fysische processen, zowel analytisch als numeriek. Het experiment is daarbij onmisbaar. Dit kan ten eerste betrekking hebben op gidsproeven, ten tweede op ijking van de mathematische modellen (die vaak empirisch te bepalen coëfficiënten bevatten) en ten derde op toetsing ervan. Anders gezegd: waarnemingen voor oriëntatie, calibratie en verificatie. Voor de opzet en uitvoering van dit experimentele werk, als hulpmiddel voor fundamentele kennisverwerving in wisselwerking met theorievorming, is de beschikbaarheid van adequate laboratoriumfaciliteiten in eigen beheer een vereiste. De wel eens geopperde gedachte deze faciliteiten op te geven miskent het karakter van dit onderzoek. Bovendien zou het Nederlandse universitaire onderzoek in een vakgebied dat tot ons nationale erfgoed behoort hiermee internationaal gezien in een achtergestelde positie worden gebracht.

Overigens zijn veldwaarnemingen in ons onderzoek eveneens onontbeerlijk, maar het incidentele en groot-schalige karakter daarvan rechtvaardigt niet een eigen infrastructuur daarvoor. Wij voorzien in die behoefte door nationale en internationale samenwerking.

LIJNEN IN HET ONDERZOEK

Na deze algemene opmerkingen wil ik wat meer concreet op het onderzoek ingaan. Ik zal dat niet doen in de volle breedte van alle thema's. Het nastreven van vakinhoudelijke diepgang is evenmin zinvol. In plaats daarvan zal ik proberen een schets te geven van een ontwikkelingslijn in het onderzoek binnen één thema. Ik kies daarvoor het thema van de windgolven.

Zeegang

De werking van de wind aan het oppervlak van de zee resulteert in golfvorming, de z.g. zeegang. Het ongeordende karakter hiervan heeft lange tijd de ontwikkeling van een consistente theorie ervoor in de weg gestaan. Die ontstond pas in de vijftiger jaren met de synthese tussen de klassieke hydrodynamische theorie van periodieke zwaartekrachtsoppervlaktegolven enerzijds en de veel jongere theorie van stochastische processen anderzijds.

Met deze synthese waren vanzelfsprekend niet alle belangrijke vragen op dit gebied beantwoord. Veeleer was het zo dat het een raamwerk gaf waarbinnen kon worden gewerkt. Hiermee is tevens de rode draad aangegeven in het onderzoek aan windgolven dat in de groep vloeistofmechanica in een reeks van jaren is uitgevoerd. Centraal hierin is de voortdurende poging de zeegolven en hun inwerking op kusten en constructies te begrijpen en toegankelijk te maken voor berekening, daarbij zo goed mogelijk recht doende aan het stochastische, onregelmatige karakter van de golven in tijd en ruimte. Relevante aspecten hierin zijn de ruimtelijke structuur, de voortplanting, en processen van energie-omzetting.

Structuur

Eén kenmerk van de ruimtelijke structuur van zeegang is de variatie in de richting waarin individuele golven zich voortplanten. Dit uit zich in kortkammigheid. Wij hebben daarnaar een aantal onderzoeken uitgevoerd, o.a. door stereofotografische opnamen te maken en te analyseren van het zeeoppervlak onder z.g. ideale omstandigheden van diep water en een afluende wind haaks op de kust. Deze metingen vonden plaats bij het eiland Sylt in de Duitse Bocht. De bedoeling hiervan was de mate van richtings spreiding te meten, in de verwachting dat het golfveld symmetrisch zou zijn ten opzichte van de gemiddelde windrichting. Dit laatste bleek echter niet geheel op te gaan. De oorzaak kon worden toegeschreven aan de asymmetrie van de kustlijn op grotere schaal (mondingsgebied van de Elbe). De invloed daarvan werd tegen de verwachting in niet vereffend door de lokale wisselwerkingen.

Gezien het oorspronkelijke onderzoekdoel was het jammer dat de condities minder ideaal waren dan gedacht. De afwijking van het verwachte patroon was zelf echter van verderstreckende betekenis. Er mocht onder de heersende omstandigheden blijkbaar niet worden uitgegaan van een lokaal evenwicht. De golfcomponenten uit verschillende richtingen moesten meer onafhankelijk van elkaar worden behandeld. Daarmee was een onverwachte indicatie verkregen voor verdere ontwikkelingen.

Voortplanting

Min of meer onafhankelijk van het zojuist genoemde onderzoek hadden wij studie gemaakt van de invloed van variërende diepte en stroom op de golfvoortplanting. De conventionele aanpak hiervan bestond uit berekening van golfstralen voor een enkele frekwentie en een enkele

richting. Bij een enigszins onregelmatige bodemligging met geulen en ondiepten, zoals in de buitendelta's van zeegaten en estuaria, leidde dit tot onbruikbare resultaten doordat de berekende intensiteit veel te sterk varieerde van punt tot punt (figuur 1). Het bleek ons dat het nodig was ook in dit type problemen de richtingsverspreiding in het golfveld op een realistische manier in rekening te brengen.

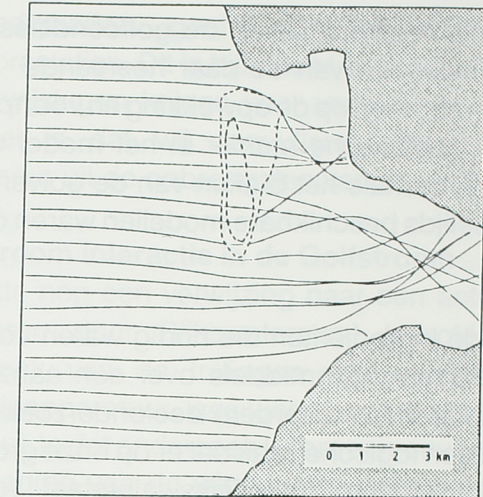
Breking

Een derde aspect waarvan ik iets wil zeggen is het breken van golven in ondiep water. Windgolven kunnen grote afstanden afleggen over de zee zonder noemenswaardig verlies van energie, om uiteindelijk geabsorbeerd te worden in de brandingszones langs ondiepe kusten. De conventionele berekening hiervan ging uit van periodieke golven. In plaats van deze onrealistische beschrijving hebben wij een formulering ontwikkeld waarin kennis van het energieverlies in schokgolven werd gecombineerd met die van de statistische variatie in de golfhoogten. Dit heeft geleid tot een eenvoudig en toch realistisch model, wat overigens enigszins verrassend was gezien de complexiteit van de waterbeweging in de brandingszone.

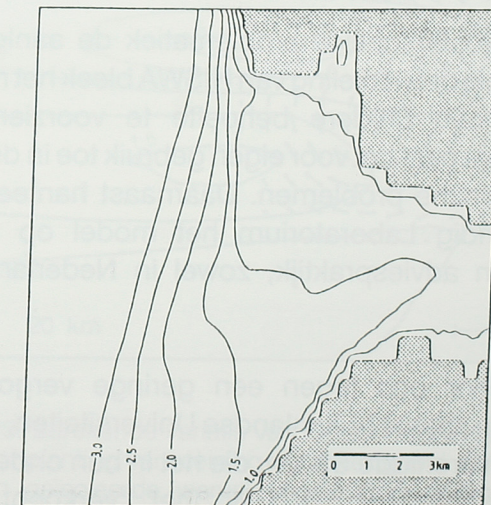
Synthese

De genoemde deelonderzoeken waren niet op voorhand opgezet met de bedoeling een omvattend operationeel model te ontwikkelen, maar een goede gelegenheid daartoe deed zich voor in verband met de aanleg van de stormvloedkering in de Oosterschelde.

De Rijkswaterstaat moest destijds verwachtingen opstellen van de morfologische ontwikkelingen in het Oosterschelde-bekken in de nieuwe omstandigheden met een gereduceerd getij. Daarvoor was o.m. een model



Figuur 1. Golfstralen in het mondingsgebied van het Haringvliet; de stippellijnen duiden de Hinderplaat aan; overige platen en geulen zijn niet aangegeven. Golfval uit het Noord-Westen; golfperiode 7 s. Het grillige stralenpatroon leidt tot onrealistisch sterke focussing en schaduwvorming.²



Figuur 2. Isolijnen van significante golfhoogte (in m) berekend met HISWA voor dezelfde condities als in figuur 1.²

nodig voor de berekening van de golfcondities in dat gebied. De invloeden van de daar heersende diepteverschillen en stromen op de opwekking en voortplanting moesten op realistische manier in het model worden weergegeven, evenals het breken van de golven op de platen. De destijds beschikbare modellen waren daartoe niet in staat.

Aangaande de ingrediënten die nodig waren voor zo'n model beschikten wij inmiddels over een aanzienlijke expertise vanuit diverse eerdere deelonderzoeken. Het was dan ook een logische zaak dat er op onze groep een beroep werd gedaan door Rijkswaterstaat voor het ontwerpen en maken van het benodigde operationele numerieke model. Wij hebben dit vervolgens onder contract met Rijkswaterstaat gedaan; het model kreeg de naam HISWA (HIndcasting Shallow water WAVes). De intensiteit van de hiermee berekende golfvelden heeft een natuurgetrouw, geleidelijk verloop (figuur 2).

Gebruik

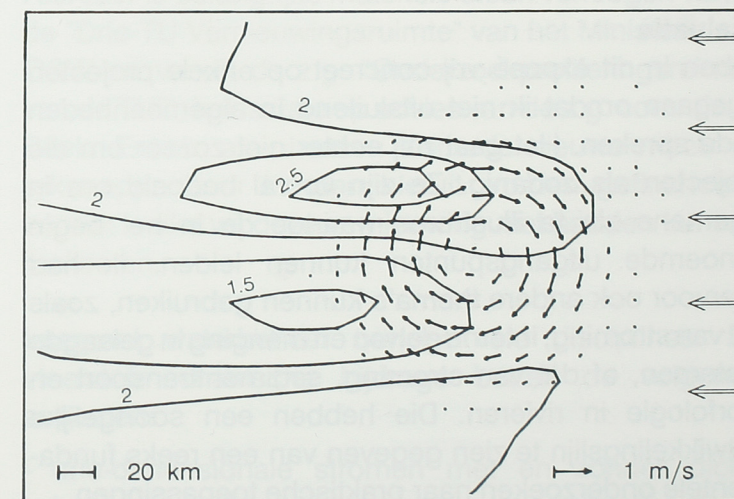
Hoewel de Oosterschelde-problematiek de aanleiding vormde voor de ontwikkeling van HISWA bleek het model al gauw in een bredere behoefte te voorzien. De Rijkswaterstaat past het voor eigen gebruik toe in diverse kustmorfologische problemen. Daarnaast hanteert het Waterloopkundig Laboratorium het model op ruime schaal in zijn adviespraktijk, zowel in Nederland als daarbuiten.

HISWA is door ons tegen een geringe vergoeding afgestaan aan enkele buitenlandse Universiteiten, o.a. in China en de Verenigde Staten, die het in hun onderzoek gebruiken. Ook hebben wij het verkocht aan buitenlandse adviesbureaus, o.a. in Australië, Italië en Noorwegen. Het veelvuldig gebruik onder uiteenlopende

omstandigheden geeft ons informatie over de modelprestaties. Dit is bijzonder waardevol, vooral waar wij aanwijzingen krijgen voor verbetering. Een tweede voordeel is dat wij aanvullend onderzoek kunnen financieren uit de opbrengsten van de verkoop.

Golf-stroom interactie in de Golfstroom

Tenslotte nog een verwijzing naar een actueel project. Wij waren door Rijkswaterstaat betrokken bij een onderzoek van de trillingen van een platform met navigatieapparatuur, gesitueerd aan de ingang van de Eurogeul. In dat onderzoek kwam een onverwacht sterke beïnvloeding van de windgolven door de getijstromen aan het licht. Hierdoor geïnspireerd hebben wij een systematisch onderzoek uitgevoerd van de belangrijkste invloeden van grootschalige stromingen op windgolven,



Figuur 3. Berekende variatie van de significante golfhoogte bij voortplanting van deining (in afwezigheid van wind) door een geïsoleerde wervel (afgeknepen meander van de Golfstroom). De enkele pijlen geven de stroomsnelheid weer; de dubbele de golfvalsrichting. Langs de getrokken lijnen is de significante golfhoogte constant (waarden in m bijgeschreven).³

en hebben wij inmiddels een numeriek model daarvoor ontwikkeld dat voorzover ons bekend op dit moment het meest geavanceerde in zijn soort is. Het wordt nu door ons gebruikt om in samenwerking met Harvard University na te gaan hoe de golfaanval op de Oostkust van de Verenigde Staten wordt beïnvloed door de grote wervels die van de meanderende Golfstroom loslaten en die als lenzen op het golfveld inwerken (zie figuur 3).³

Voor een soortgelijk doel, maar dan in het gebied van de Noorse kust, wordt dit model nu gebruikt door oceanografen van het Noors Meteorologisch Instituut te Bergen. Het Amerikaanse bureau NASA gaat het model implementeren voor gebruik bij de interpretatie van radarwaarnemingen van het zeeoppervlak vanuit satellieten.

Evaluatie

Ik ben in dit exposé vrij concreet op enkele projecten ingegaan omdat ik niet uitsluitend in algemeenheden wilde spreken. Het gaat mij echter niet zozeer om die projecten als zodanig. Ze zijn vooral bedoeld om in algemene zin te illustreren waartoe de in het begin genoemde uitgangspunten kunnen leiden. Ik had daarvoor ook andere thema's kunnen gebruiken, zoals dat van stroming, interne golven en menging in gelaagde systemen, of dat van stroming, sedimenttransport en morfologie in rivieren. Die hebben een soortgelijke ontwikkelingslijn te zien gegeven van een reeks fundamentele onderzoeken naar praktische toepassingen.

Tot slot hiervan nog één opmerking. De voorbeelden die ik heb genoemd laten zien dat de lijn die achteraf herkenbaar is niet het gevolg is van een geheel planmatig proces; daarvoor kwamen teveel onverwachte wendingen voor in het verhaal. In het onderzoek zal

daarvan altijd sprake zijn. Om deze reden sta ik ook sceptisch tegenover gedetailleerde vijfjaren-plannen voor het onderzoek, zoals die destijds gevraagd werden bij de eerste ronde van het voorwaardelijk gefinancierde onderzoek. Ik acht het juist dat inmiddels is besloten tot beoordeling achteraf.

NIEUWE ONTWIKKELINGEN

Tot slot van mijn betoog ga ik in op enkele inhoudelijke en organisatorische ontwikkelingen.

Inhoudelijke vernieuwing

De meest significante inhoudelijke vernieuwing in ons onderzoek is gericht op het integraal waterbeheer. Hiervoor is belangrijke materiële steun verkregen vanuit de "Drie-TU Vernieuwingsruimte" van het Ministerie van O&W en vanuit de z.g. "Onderzoekprofielingsruimte" van de TUD, het laatste op advies van de z.g. commissie Beek. Enkele aio-plaatsen alsmede nieuwe meet- en rekenapparatuur konden hieruit worden gefinancierd zonder welke wij deze vernieuwing niet hadden kunnen realiseren.

Integraal waterbeheer behelst vele disciplines. De vloeistofmechanische bijdrage betreft de volgende aspecten:

- drie-dimensionale stromen met en zonder dichtheidsverschillen;
- advectioneel en dispersief transport van warmte of opgeloste of zwevende stoffen in water;
- transport, depositie, consolidatie en resuspensie van slib onder invloed van stroom en golven;

- integratie van diverse waterbewegingsmodellen (één-, twee- en drie- dimensionale stromingsmodellen en golfmodellen);
- integratie van component-modellen voor de beweging van water, warmte, opgeloste of zwevende stof of slib tot transportmodelsystemen;
- ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen en expertsystemen voor het integraal waterbeheer.

De eerstgenoemde onderwerpen zijn in uitvoering bij de groep vloeistofmechanica; het laatstgenoemde onderwerp is in voorbereiding, in samenwerking tussen vakgroepen van de Faculteiten Civiele Techniek respectievelijk Technische Wiskunde en Informatica.

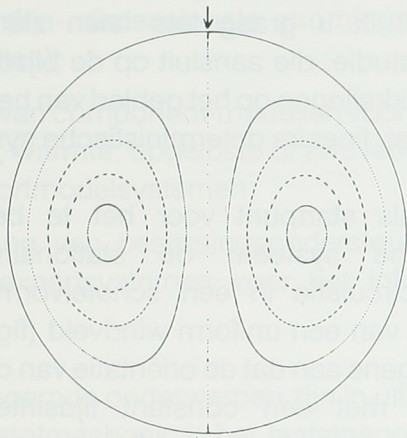
In deze opsomming is een opklimmende lijn te onderkennen van het micro-niveau van de waterbeweging in een punt tot het macro-niveau van multidisciplinaire en multifunctionele modellen voor beheer van watersystemen, een lijn van overwegend mechanica naar overwegend informatica. In feite is er een spanningsveld tussen deze uitersten, tussen de neiging naar steeds verdergaande verfijning in de beschrijving van de waterbewegingen enerzijds, en de noodzaak van een meer geïntegreerde probleemaanpak anderzijds. Hoeveel detail in het lagere niveau is nodig voor adequate antwoorden op het hogere? Hoeveel is nog effectief hanteerbaar? Dit type vragen is niet nieuw, maar om tot een goed gebalanceerd onderzoek te komen verdienen zij m.i. meer aandacht en bezinning dan zij in het algemeen krijgen. Hoe dit ook zij, het is voor ons één van de aandachtspunten in het zojuist genoemde onderzoek.

Tot slot van deze bespreking van vernieuwing in ons onderzoek wil ik u graag iets laten zien van één beginnende studie, die aansluit op de bijzonder fascinerende ontwikkelingen op het gebied van het chaotisch gedrag van niet-lineaire deterministische systemen⁴.

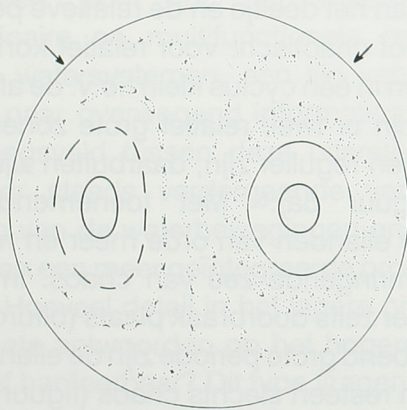
We nemen als startpunt voor het te beschouwen deterministische systeem de stationaire, dieptegemiddelde circulatie in een schotelvormig bekken onder invloed van een uniform windveld (figuur 4). We nemen vervolgens aan dat de oriëntatie van de stroming herhaald, en met een constant tijdsinterval, twee verschillende standen aanneemt (bij twee verschillende windrichtingen), en we volgen een aantal waterdeeltjes in dit periodieke snelheidsveld gedurende een groot aantal cycli.

Figuur 5 toont voor een aantal deeltjes de positie na elke cyclus (500 cycli in totaal). Afhankelijk van de beginpositie van het deeltje en de relatieve periode is de baan regulier of chaotisch. Voor relatief korte perioden (verplaatsingen in één cyclus klein t.o.v. de afmeting van het bekken) zijn er twee relatief grote zones zichtbaar waarin de banen regulier zijn; daarbuiten zijn de banen chaotisch (figuur 5a).⁵ Met toenemende periode verliezen deze eilanden van orde meer en meer terrein op de hen omringende zee van chaos. In een zeker stadium vindt er zelfs doorbraak plaats (bifurcatie, figuur 5b). Voor voldoende grote periode zijn de eilanden geheel verzwolgen en resteert slechts chaos (figuur 5c).

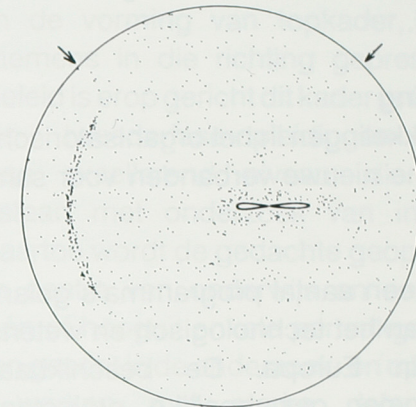
Deze academische situatie is een primitief model voor advectie in een bekken onder invloed van wind uit verschillende richtingen. Kwantitatief zijn de resultaten (nog) niet bruikbaar. Wat ze interessant maakt is dat zij een indicatie geven van de complexiteit die kan ontstaan



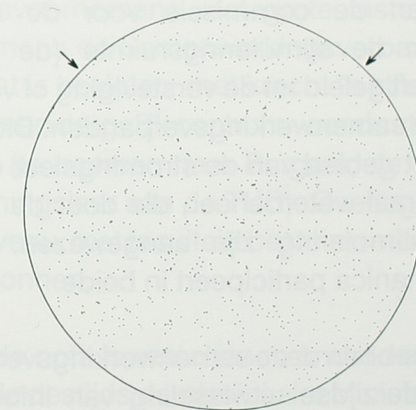
Figuur 4. Stroomlijnen van diepte-gemiddelde stationaire beweging in axiaal-symmetrisch bekken als gevolg van een uniform windveld uit de aangegeven richting.⁴



Figuur 5a. Posities van deeltjes in een toestand waarbij de wind beurtelings uit de twee aangegeven richtingen komt. Van acht deeltjes met verschillende beginposities zijn 500 opeenvolgende posities geplot. Dimensieloze periode $T = 0,14$.⁴



Figuur 5b. Als figuur 5a, nu voor drie deeltjes en $T = 0,70$.⁴



Figuur 5c. Als figuur 5a, nu voor twee deeltjes en $T = 0,84$.⁴

uit schijnbaar zeer eenvoudige en gedetermineerde toestanden, een indicatie van de grenzen van de voorstelbaarheid.

Samenwerking

Van de ontwikkelingen in het organisatorische vlak wil ik hier met name nieuwe verbanden voor samenwerking noemen.

De EG heeft een aantal programma's gelanceerd voor versterking van het technologisch en wetenschappelijk onderzoek in Europa. De beschikbaarheid van financiering voor gezamenlijke projecten heeft de internationale samenwerking sterk gestimuleerd. Wij hebben geparticipeerd in aanvragen uit twee EG-programma's. Ik ga daar nu niet op in, o.a. omdat de besluitvorming in de EG hierover nog niet rond is.

Een soortgelijke katalyserende werking is binnen de TUD uitgegaan van de commissie voor de onderzoekprofilering en de stimuleringsruimte (de commissie Beek). Dit heeft geleid tot de versteviging of vorming van interfacultaire samenwerkingsverbanden. Dit is o.m. het geval voor het gebied van de stromingsleer en voor dat van het integraal waterbeheer, die door de commissie Beek voor stimulering zijn aangewezen. De sectie vloeistofmechanica participeert in beide.

Kort gezegd hebben deze samenwerkingsverbanden tot doel een wederzijdse uitwisseling van informatie, het gezamenlijk entameren van onderzoekvoorstellen, samenwerking bij aanschaf en gebruik van kostbare apparatuur en installaties, en een gebundelde presentatie naar buiten.

In de recente ministeriële nota "Zicht op een nieuw onderzoeklandschap"⁶ wordt uitvoerig aandacht besteed aan de vorming van topkader, en worden beleidsvoornemens in die richting gepresenteerd. Ik citeer: "Het beleid is erop gericht dit kader te vormen door middel van tweede-fase-opleidingen ("graduate schools") van excellerend niveau, die in directe verbinding staan met onderzoek van internationale reputatie." Daartoe wordt de gedachte geopperd van de vorming van centra van onderwijs en onderzoek op topniveau, één of hooguit enkele per vakgebied. Zulke centra worden geacht in de onderzoek- en opleidingsfeer samen te werken met sterke delen van het niet-universitaire onderzoekstelsel. Financiering ervan zal deels plaats vinden uit een in te stellen fonds. Voorstellen voor de vorming van een centrum moeten door het onderzoeksveld worden ingediend.

In het TUD-Samenwerkingsverband Stromingsleer zijn deze beleidsvoornemens met grote instemming ontvangen. Namens dit Samenwerkingsverband mag ik u meedelen dat is besloten met kracht te streven naar de vorming van een dergelijk centrum voor de stromingsleer aan de TUD (te noemen naar Burgers, de grondlegger van de stromingsleer aan de TUD). Overleg hierover op instellingsniveau, met faculteitsbesturen en met de GTI's is reeds begonnen.

De genoemde nota is verschenen onder verantwoordelijkheid van de destijds demissionaire Minister van O&W. Diens ambtsopvolger heeft zich in een interview⁷ op een aantal punten wel in dezelfde zin uitgelaten: hij zal universiteiten "stimuleren zich te profileren, zodat de ene universiteit hierin beter is en de andere daarin." Ook heeft hij zich uitgesproken voor de vorming van "graduate schools." Dat is hoopgevend.

Ik plaats hier nog twee kanttekeningen bij.

In het begin van mijn betoog heb ik al gewezen op het feit dat de stromingsleer aan de TUD breed is vertegenwoordigd, breder dan aan enige andere Nederlandse universiteit. Het zou niet passend zijn hier een oordeel uit te spreken over de kwaliteit ervan. Laat ik me daarom beperken tot de uitspraak dat ik de vorming van een Centrum voor Stromingsleer aan de TUD zeer terecht zou vinden.

Een tweede kanttekening is dat de vorming van een centrum zoals voorgesteld, of althans van een "graduate school", mijns inziens een absolute voorwaarde is voor een concurrerende participatie van de TUD in de steeds belangrijker wordende internationalisering van het universitair onderwijs en onderzoek.

Met deze verwijzingen naar lopende veranderingen in inhoud en inbedding van ons onderzoek, aansluitend aan mijn exposé over eerdere ontwikkelingen daarin, hoop ik u ervan te hebben overtuigd dat beweging niet slechts het *object* is van het onderzoek in de groep vloeistofmechanica maar ook een *eigenschap* ervan.

Ik dank u voor uw aandacht.

NOTEN

1. Verwijzingen naar personen of publicaties worden niet gegeven, behalve bij de hier gebruikte figuren.
2. L.H. Holthuysen, N. Booy en T.H.C. Herbers: "A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents." *Coastal Engineering*, 13 (1989), 23-54, Elsevier.
3. Met dank aan dr. ir. L.H. Holthuysen en ir. H.L. Tolman voor het beschikbaar stellen van deze nog niet gepubliceerde resultaten.
4. Met dank aan dr. ir. C. Kranenburg voor het beschikbaar stellen van deze nog niet gepubliceerde resultaten.
5. Temidden van het gebied met schijnbaar uitsluitend chaotische banen zijn op kleinere schaal gebiedjes aanwezig met reguliere banen; de hier gebruikte deeltjesdichtheid is echter onvoldoende om deze fractale structuur te tonen.
6. "Zicht op een nieuw onderzoeklandschap: Wetenschapsbeleid voor de jaren negentig". Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21319, nr. 2.
7. Elsevier, 16-12-1989, p. 10-13.