Tussen waterbouw- en wiskunde

Dr. ir. J. C. Schönfeld

Rede 288

Tussen waterbouw- en wiskunde

Rede,
uitgesproken bij het aanvaarden van
het ambt van buitengewoon hoogleraar
in de vloeistofmechanica aan de
Technische Hogeschool te Delft
op woensdag 20 april 1966

door

Dr. ir. J. C. Schönfeld

Uitgeverij Waltman – Delft

Mijne Heren Curatoren,
Mijnheer de Rector Magnificus,
Mijne Heren Hoogleraren,
Dames en Heren Lectoren, Leden van de Wetenschappelijke Staf en overige medewerkers aan de Technische Hogeschool,
Dames en Heren Studenten,
en voorts Gij allen die hier door Uw komst van Uw gewaardeerde belangstelling blijk geeft,

Trachtende het terrein der vloeistofmechanica, als onderdeel van de leerstof in de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde, te verkennen, wil ik beginnen met een hoofdlijn aan te geven die ons zal kunnen dienen om ons in het terrein te oriënteren. Deze lijn loopt van de wiskunde naar de waterbouwkunde.

Onder waterbouwkunde in ruimere zin wil ik hier dan verstaan dat deel der weg- en waterbouwkunde dat, iets meer huiselijk, ook kan worden aangeduid als de natte civiele techniek. Deze richt zich op de technische voorzieningen in en om het water als element van het natuurlijke milieu waarin de menselijke samenleving geplaatst is. Hieronder zijn in de eerste plaats te rekenen de waterbouwkunde in engere zin, die door middel van constructies als dijken, sluizen en stuwen de natuurlijke wateren hun plaats wijst ten opzichte van de voor andere doeleinden voorbehouden ruimten. De waterbouwkunde in ruimere zin houdt zich ook bezig met het water als communicatiemiddel (scheepvaartweg), als bedrijfsfactor in landbouw en industrie, als bron van energie (waterkracht) en als element in de hygiëne (drinkwater, zwem- en badwater, riolering). Zowel het water in zee als het binnenwater valt binnen haar gezichtsveld, evenals het grondwater.

De waterbouwkunde behoort ongetwijfeld tot de oudste vormen van techniek, omdat ook reeds een primitieve samenleving zich geconfronteerd ziet met het water als onontkoombaar en onmisbaar element van haar omgeving.

De techniek is van oorsprong activiteit van de menselijke hand. Eerst in betrekkelijke recente tijd is een verbintenis tot stand gekomen tussen handwerk en wetenschap. Hiermede is de moderne techniek ontstaan, waarin denken en doen zo nauw met elkaar samengaan.

In tegenstelling tot diverse andere vormen van techniek die ontstaan zijn nadat de genoemde verbintenis tot stand kwam, slaat de waterbouwkunde haar historische wortels diep in het voorwetenschappelijke verleden. Het is vanzelfsprekend dat in een zo oude techniek de beproefde methoden van het handwerk nog lange tijd een grote rol kunnen spelen, terwijl intussen jongere vormen van techniek aanstonds meer tot een wetenschappelijke benadering der problemen geneigd zijn.

De huidige expansieve samenleving stelt evenwel zodanig toenemende eisen aan de techniek, ook aan die der waterbouwkunde, dat alleen door een krachtige inzet van technisch wetenschappelijke aard gehoopt kan worden aan de gestelde eisen te kunnen blijven voldoen.

Tegenover de techniek als vorm van doelgericht handelen, wil ik nu de wiskunde stellen als vorm van geordend denken. Twee aspecten wil ik hier noemen ter karakterisering, de theorie en de toepassing.

Ten eerste kan het wiskundige denken beschouwd worden als een mathêsis, een discipline. Door de theoretische beoefening van de wiskunde leren wij ons denken onder tucht te stellen. Het is deze tucht die de moderne natuurwetenschappen mogelijk heeft gemaakt.

Zonder andere vormen van geordend denken te willen onderschatten, meen ik te mogen stellen, dat het wiskundige denken zich onderscheidt door de uiterst verfijnde wijze waarop het begrip der kwantiteit gehanteerd wordt.

Dit voert mij tot de toepassing. De wiskunde vormt een methodiek, dat wil zeggen, zij wijst ons een weg waarlangs ons denken kan voortgaan en ons tot uitkomsten kan brengen.

Het is vooral hierdoor dat de wiskunde in de techniek vrucht draagt, namelijk als een denkapparaat dat uitkomsten produceert, zowel kwalitatief ter verhoging van ons inzicht in de functie van een technische oplossing, als ook kwantitatief als gegevens in getal en maat, die aan het technische ontwerp ten grondslag kunnen worden gelegd.

Dit abstracte, uitkomsten gevende apparaat krijgt een belichaming in de middelen die de moderne rekentechniek te onzer beschikking stelt, de zogenaamde computers, die men kan onderscheiden in digitale en analoge computers. Zij worden ook

wel met het wat meer huiselijke woord rekentuig aangeduid.

De naam computer, letterlijk rekenaar, is, vooral ten aanzien van de digitale computer, in zoverre misleidend, dat de functie van dit rekentuig veel meer omvat dan het eigenlijke cijferwerk alleen. Beter komt dit tot uitdrukking door te spreken van een automatische rekeninstallatie, omdat het rekenproces in al zijn onderdelen automatisch door de installatie wordt voltrokken.

De gebruiker van de digitale computer wordt dan ook voor de opgave gesteld om de organisatie van het door hem beoogde rekenproces volgens strakke lijnen te programmeren. Terwijl hij aldus verlost kan worden van een omvangrijke cijferarbeid, zal hij daartegenover veel aandacht moeten geven in het grondig doordenken van de logische structuur van zijn probleem. Dit kan dan echter tevens een beter fysisch of technisch inzicht helpen vormen.

Het ogenblik is nu gekomen om het tussenliggende terrein der fysica te betreden en onze aandacht op de vloeistofmechanica zelf te richten. We willen nagaan op welke wijze door dit vak de verbinding tussen het geordende wiskundige denken en het doelgerichte technische handelen in de waterbouw, tot stand kan worden gebracht.

De vloeistofmechanica vormt een deel van de toegepaste mechanica, welke eveneens de mechanica der vervormbare vaste lichamen omvat. Deze vaste stofmechanica vormt de basis voor het ontwerpen van constructies als bruggen, gebouwen en dergelijke.

De vloeistofmechanica, of „fluid mechanics", omvat zowel de mechanica van de weinig samendrukbare vloeistoffen, de vloeistoffen in engere zin, als ook de mechanica van de sterk samendrukbare vloeistoffen, de gassen. In het verband der weg- en waterbouwkunde is voornamelijk de mechanica van de vloeistoffen in engere zin, en in het bijzonder van het water, van belang.

Als eerste doel van de vloeistofmechanica kan gesteld worden het beschrijven van de bewegingen van de vloeistof en van het daarin werkzame krachtenspel, in wiskundig geformuleerde begrippen. Deze beschrijving noemen we het mathematische model. Door de wiskundige formulering ervan worden de vloeistofmechanische begrippen onder de tucht van het wis-

kundige denken gesteld en toegankelijk gemaakt voor behandeling met mathematische methoden. De vrucht hiervan kan zowel zijn een bijdrage tot een helder inzicht in de beschreven verschijnselen, als ook een kwantitatieve bepaling daarvan.

Het mathematische model kan ook een schakel vormen die uiteenlopende fysische problemen verbindt. Ik wil dit toelichten met een voorbeeld.

U kent, neem ik aan, de soort van schelp die men aan het oor houdt en waarin men dan zogenaamd de zee hoort ruisen. De fysicus kan de volgende verklaring van het verschijnsel geven:

Geluid is, fysisch beschouwd, een snel wisselende beweging van de lucht met een periode in de orde van een duizendste seconde. De lucht is steeds in onregelmatige beweging, geruis genaamd, ook al is deze beweging wellicht te zwak om als geluid door het oor te worden waargenomen. De lucht in de schelp vormt een zogenaamd resonantiesysteem dat gemakkelijk met bepaalde periodes in trilling kan komen. Voorzover deze periodes ook in het steeds aanwezige omgevingsgeruis voorkomen, worden zij, versterkt door de resonantie van de schelp, hoorbaar als een ruisen met een enigszins herkenbare toonhoogte.

In min of meer afgesloten waterbekkens als meren, kanaalpanden en havens, zijn bij aandachtige waarneming, met uitsluiting van golven, vaak allerlei schommelingen in de hoogte van de waterspiegel te constateren met periodes bijvoorbeeld van minuten tot uren. Men noemt dit met een internationaal woord van Frans-Zwitserse origine „seiches", of, in het Nederlands, halingen. De fysicus kan hiervan de volgende verklaring geven:

De dampkring boven het water, soms ook de bodem eronder, voert allerlei onregelmatige bewegingen uit, die als storingen op het water inwerken. Het water in het bekken vormt een resonantiesysteem dat gemakkelijk met bepaalde periodes in heen en weer gaande beweging kan komen. Voorzover deze periodes ook in de storingen vanuit de omgeving voorkomen, worden zij, versterkt door resonantie, waarneembaar als schommelingen in de hoogte van de waterspiegel.

Stelt men nu van de beide verschijnselen, het ruisen van de lucht in de schelp en het halen van het water in het bekken, de wiskundige formuleringen op, dan blijken deze in de hoofdzaken

overeen te komen. Het mathematische model van beide verschijnselen is principieel hetzelfde. Men noemt de luchtbeweging in het ene en de waterbeweging in het andere geval, analoge verschijnselen.

Voor het toelichten van de analogie had ik ook voorbeelden buiten de vloeistofmechanica kunnen kiezen. De snaren van een aeolusharp, door de wind tot klinken gebracht, zijn analoog aan de beide voorgaande verschijnselen en met een overeenkomstig mathematisch model te behandelen. Analoog zijn eveneens de stromen in een elektrische trillingskring van een radiotoestel onder invloed van impulsen uit de ether.

Dit laatste voorbeeld toont de wenselijkheid aan om de blik nog een ogenblik wat wijder om ons heen te slaan en ook op andere fysische gebieden dan die der vaste en vloeibare stoffen te richten.

Men hoeft nog niet zover te gaan als DIJKSTERHUIS, die van een mechanisering van ons gehele wereldbeeld sprak, om toch een zekere verruiming van de term mechanica toelaatbaar te achten. Men kan dan zonder bezwaar spreken van de mechanica van elektriciteit en magnetisme, van de mechanica van de warmteoverdracht, en bijvoorbeeld ook van de mechanica van verkeersstromen.

Ook van fysische grensverschijnselen kan een mechanica worden opgesteld. Als voorbeeld noem ik de grondmechanica, waarin met water verzadigde grond als een combinatie van het vaste korrelskelet met het vloeibare grondwater behandeld wordt.

Elk van deze uiteenlopende mechanica's zal met zijn eigen mathematische modellen moeten werken. In een aantal gevallen evenwel zal van eenzelfde model in verschillende mechanica's gesproken kunnen worden. Dit zijn de gevallen van analogie.

Het belang van de analogieën is tweeërlei. In de eerste plaats kan eenzelfde mathematische methode voor verschillende doeleinden dienst doen en kunnen ervaringen op het ene fysische gebied tot inzichten op het andere leiden. Van analogie kan in dit verband reeds gesproken worden bij een meer formele overeenstemming van de mathematische modellen.

Voldoen de mathematische modellen van twee fysisch verschillende verschijnselen bovendien aan bepaalde eisen van

kwantitatieve overeenstemming, dan is het ene verschijnsel als een nabootsing, simulering, van het andere verschijnsel op te vatten. Metingen van het ene verschijnsel leveren ons dan kwantitatieve gegevens ook over het analoge verschijnsel.

Zo zou men in principe de schommelingen van de waterspiegel in een bepaald waterbekken kunnen trachten te simuleren door de drukvariaties in een akoestisch systeem, een soort van schelp, dat overeenkomstig gevormd is als het waterbekken. Het akoestische systeem is dan een analoog fysisch model van het waterbekken. Men zou in principe even goed ook een mechanisch, een thermisch, of een elektrisch model kunnen trachten te maken.

Een hydraulisch model, dat het waterbekken op verkleinde schaal voorstelt, is op te vatten als een bijzonder geval van analogie. De rechtvaardiging van zulk een schaalmodel is ook gelegen in de overeenstemming van het mathematische model dat aan het schaalmodel en zijn prototype ten grondslag ligt.

De toepassing van analoge modellen is alleen doelmatig indien het model zich door een gemakkelijke constructie of door een gemakkelijke hantering onderscheidt. In de praktijk komen daarom vooral elektrische modellen in aanmerking. Voor de bouw van zulk een model kan gebruik gemaakt worden van elementaire elektrische impedantie-componenten, die in grote verscheidenheid op de markt zijn. Ook voor het opwekken, meten en registreren van elektrische verschijnselen zijn vele apparaten voorhanden.

Om deze mogelijkheden voldoende uit te kunnen buiten is het meestal nodig tot discretisering van het na te bootsen systeem over te gaan. Deze wordt bereikt doordat we er van afzien de verschijnselen op alle punten van het prototype te simuleren. We verdelen bijvoorbeeld in gedachte het waterbekken door dwarsprofielen in een aantal vakken en volstaan met in ieder vakuiteinde de hoogte van de waterspiegel en de waterstroom elektrisch na te bootsen. Het elektrische model is dan op te bouwen uit een aantal secties, die ieder één vak van het waterbekken voorstellen. Aan zulk een sectie wordt nu uitsluitend de eis gesteld dat het verband tussen de waterhoogten en waterstromen aan de beide vakuiteinden analoog correct wordt weergegeven.

Door de discretisering wordt het gedrag van het model bij slingeringen van langere periodes onaangetast gelaten, doch bij kortere periodes gaat het gedrag van het model van dat van het prototype afwijken. Door verfijning van de discretisering, dat wil zeggen vergroting van het aantal vakken, is de getrouwheid van de nabootsing bij kortere periodes op te voeren.

Tegenover het verlies aan getrouwheid bij kortere periodes staat als winst een grotere eenvoud van het model en een grotere mate van vrijheid in het ontwerpen hiervan.

Het technische doel dat met het model gediend moet worden, laat meestal tamelijk wat vrijheid in de discretisering toe.

Met name is voor het onderzoek van halingen in havenbekkens met voordeel gebruik gemaakt van elektrische modellen in gediscretiseerde vorm. De elektrische spanningen simuleren hierin de waterstanden en de elektrische stromen de waterstromen.

De mogelijkheid van het discretiseren kan nog verder worden uitgebuit in die gevallen dat het prototype elementen bevat waarvoor geen analoog elektrisch element voor handen ligt. Als voorbeeld kan genoemd worden de getijvoortplanting in een rivierennetwerk. Voor de zogenaamde lineaire termen in het mathematische model hiervan is de analogie met de voortplanting in elektrische transmissielijnen, bijvoorbeeld van signalen voor telefonie of telegrafie, direct aan te tonen. Voor de niet-lineaire termen ontbreekt zulk een analogie.

Door nu te discretiseren, dat wil zeggen de rivieren in vakken te verdelen, kan het construeren van een analoog elektrisch model grotendeels worden teruggebracht tot de opgave om voor de voor ieder vak geldende betrekkingen tussen waterstanden en stromen aan de uiteinden, een analoge afbeelding te realiseren. Dit is een opgave die met componenten van de analoge rekentechniek is op te lossen. Het analoge model dat aldus verkregen wordt, vormt in feite een complete analoge rekeninstallatie.

Aangezien de genoemde rekencomponenten doorgaans vrij wat kostbaarder zijn dan de eenvoudiger impedantiecomponenten die in de eerder genoemde analoge modellen worden verwerkt, moet met een verveelvoudiging van de kosten van het model rekening worden gehouden. Een afweging tegen de mogelijkheden van het digitale rekenen is dan op zijn plaats. Hierbij kan ook aan de combinatie van beide vormen van reken-

techniek, het hybriede rekenen, aandacht worden geschonken.

Ik voel me nu in verleiding gebracht om, uitgaande van de ervaringen met digitaal en analoog rekenen bij de Rijkswaterstaat, vergelijkingen te maken ten aanzien van de numerieke analyse der discretisering, de stabiliteit en snelheid van het rekenproces, de nauwkeurigheid, en de flexibiliteit van de installaties en hun programmering. Ik moet aan deze verleiding weerstand bieden omdat het tijd is terug te keren tot de hoofdlijn van het betoog.

Naarmate wij vorderen op onze tocht van de wiskunde naar ons technische doelgebied, de waterbouwkunde, zal de specifieke fysische aard van ons onderwerp van studie, het water, sterker de aandacht gaan vragen. De algemene mechanische methodiek, met inbegrip van de analogie, zal meer op de achtergrond geraken en de specifieke vloeistofmechanische methodiek zal op de voorgrond moeten treden.

Laten we in dit verband in de eerste plaats de getijberekeningen noemen, die, te beginnen met de afsluiting van de Zuiderzee, de uitvoering van alle grote waterstaatkundige werken hier te lande hebben begeleid. Zij hebben er belangrijk toe bijgedragen de consequenties voor de kustverdediging, de waterhuishouding en de scheepvaart tijdig te overzien.

Verwante wiskundige methoden zijn ook toe te passen op de verschijnselen van interne golven en dichtheidsstromen die zich voordoen overal waar het zoute zeewater en het zoete binnenwater elkaar ontmoeten. Het doorgronden van deze verschijnselen is van belang in verband met de verzilting van het binnenwater.

De specifieke eigenaardigheden van de getijvoortplanting kwamen reeds binnen onze gezichtskring toen wij ingingen op de moeilijkheden waarmee de constructie van een elektrisch getijde-analogon gepaard gaat. Zij vloeiden daaruit voort, dat de natuurlijke analogie tussen elektrische en hydraulische verschijnselen, niet verder reikt dan de lineaire termen in het mathematische model.

Ook de vloeistofmechanica en de mechanica der vaste stof gaan een eindweegs parallel. De mathematische modellen komen grotendeels overeen. Doch in het formuleren van het verband tussen de spanningen in de stof en de bewegingen, gaan de

beide onderdelen van de toegepaste mechanica elk hun eigen wegen.

Voorbij dit punt van uiteengaan wacht de beoefenaar van de vloeistofmechanica nog het boeiende gebied der turbulentie. De moeilijkheid om een sluitende definitie van turbulentie te geven, typeert de gecompliceerdheid, doch ook het fascinerende van de problemen die hier worden aangetroffen.

Ook bij ontbreken van een goede definitie, is het toch wel ongeveer aan te geven wat onder turbulentie wordt verstaan. Het is een onregelmatige beweging van een vloeistof met een ingewikkeld patroon van wervelingen, zo grillig als het weer.

Turbulentie is een veel voorkomend verschijnsel. De huisvrouw die al roerende de maaltijd toebereidt, maakt gebruik van de werkingen der turbulentie, zo goed als de waterbouwkundige die door het plaatsen van obstakels op de weg van het water, bij voorbeeld in spuistromen, golfoploop enzovoorts, de overtollige energie aan het langsstormende element ontneemt.

Het krachtenspel in de turbulente beweging is voorts van belang voor het transport van bodemmateriaal, en daarmee voor de stabiliteit van oevers en kunstwerken en voor de handhaving van scheepvaartgeulen.

De turbulentie is eveneens aansprakelijk voor de diffusie van opgeloste stoffen. De verzilting van onze open riviermonden is gedeeltelijk aan deze turbulente diffusie te wijten. Doch anderzijds wordt bij de lozing van afvalwater in zee de noodzakeijk te achten verspreiding en verdunning vaak alleen bereikt dank zij de turbulente diffusie.

Het ontstaan van de turbulentie is toe te schrijven aan een vorm van instabiliteit die inherent is aan de vloeistofbeweging en die verband houdt met de reeds eerder genoemde nietlieaire termen van het mathematische model. Deze instabiliteit verleent de turbulente beweging een zekere mate van onvoorspelbaarheid. De beperkte voorspelbaarheid van de depressieactiviteit in de atmosfeer kan als voorbeeld worden aangehaald en het zoeven gezegde over de grilligheid van het weer was dan ook meer dan enkel beeldspraak.

Tussen de regelmatige periodieke verschijnselen van getijden en halingen enerzijds en de zeer onregelmatige turbulentie anderzijds, vormen de golven in het wateroppervlak in zekere

zin een overgang, doordat zij zowel een periodiek karakter vertonen als ook een grilligheid die als een aspect van turbulentie kan worden opgevat.

Bestudering der golven is noodzakelijk met het oog op de invloed die zij hebben op de natuurlijke kustvorming, wegens de golfaanval op dijken en kunstwerken, en in verband met de scheepvaart, de uitvoering van civieltechnische werken in zee en het plaatsen van boortorens.

De golven ontstaan in een wisselwerking met de turbulente atmosfeer. Trouwens ook in het optreden van stormvloeden en halingen is de atmosfeer gemoeid.

De vloeistofmechanica vormt hier een terrein van gemeenschappelijke interesse van oceanologen, meteorologen en waterbouwkundigen.

Met het vorderen op onze weg en het toenemen van onze aandacht voor de fysica van het bewegende water, krijgt ook de empirie als noodzakelijke aanvulling op de theorie een toenemende functie.

Naast berekeningen zijn fundamentele onderzoekingen in het laboratorium vereist. Volstrekt onmisbaar is echter ook het empirische onderzoek in het natuurlijke milieu.

De onderzoeker kan hierbij zowel een meer passieve als een meer actieve houding aannemen.

Meer passief enquêteert hij de natuur door het uitvoeren van metingen van waterstanden, stromingen, golven, zoutgehalten en dergelijke. Zo vermeerdert hij zijn kennis van wat er in het natuurlijke milieu gebeurt.

Hij kan echter ook meer actief de natuur betrekken in een uitdagend vraag- en antwoordspel, door proefnemingen op natuurlijke schaal te ondernemen. De antwoorden die hij krijgt, zijn afgestemd op zijn eigen gedachtengangen en dienen om deze te verifiëren en daardoor het inzicht te verdiepen.

Als voorbeeld van zulk een experiment noemen wij het onderzoek der turbulente diffusie in zee ten behoeve van de prognose en het ontwerpen van afvalwaterlozingen. De proeven worden genomen door het inbrengen van een kleurstof in het zeewater en het nagaan van de verspreiding hiervan.

Het is in principe op deze wijze mogelijk de verspreiding van het te lozen afvalwater te simuleren. In het Nederlandse kustgebied met zijn voortdurend wisselende getijden en winddrift, verdient een meer fundamentele aanpak echter de voorkeur.

Daartoe stelt men een mathematisch model van de verspreiding op, waarin één der termen de turbulente diffusie weergeeft. Men gebruikt de kleurstofproeven in zee om deze term kwantitatief beter te leren kennen en vervolgens worden de prognoses gemaakt door berekeningen op basis van het mathematische model.

Na deze terreinverkenning wil ik nog enige ogenblikken onze aandacht richten op de plaats van de vloeistofmechanica in de opleiding bij de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde.

Na het voorgaande hoop ik dat het belang van de vloeistofmechanica voor de civiele techniek U voldoende duidelijk is geworden.

Het vak der vloeistofmechanica is echter veelomvattend en het is moeilijk, zo niet onmogelijk, een enigszins volledige beheersing van dit vak te integreren in het reeds omvangrijke pakket van bekwaamheden dat de student in de civiele techniek zich moet eigen maken. Een zekere mate van specialisatie lijkt dan ook onontkoombaar.

De implicaties van zulk een specialisatie voor de inrichting van de opleiding zou ik hier willen laten rusten, om uw aandacht te vragen voor een nadere beschouwing van de betekenis van het specialiseren, zowel in verband met de „statica" van een vak, het kennen, als met de „dynamica", het vindingrijke kunnen.

Ten aanzien van de kennis kunnen we onderscheid maken tussen een kennen in de breedte, dat een groot gebied van kennis omvat, en kennen in de diepte, dat tot de fundamenten doordringt.

De term specialisatie roept nog wel eens associaties op, die tot uitdrukking komen in het bekende aforisme dat de specialist beschrijft als iemand die aanvangt met veel te weten van weinig, voortgaat steeds meer te weten van steeds minder, en eindigt met alles te weten van niets. Dit aforisme verraadt de kwantitatieve gedachte, dat de breedte van onze kennis omgekeerd evenredig zou zijn met de diepte daarvan.

Afgezien van een in een aforisme aanvaardbare overdrijving, kan hier tegen ingebracht worden, dat verdieping van het in-

zicht onvermoede wijdere verbanden aan het licht kan brengen en daarmee juist tot een verbreding van de kennis kan leiden. Ik denk in dit verband bij voorbeeld aan de analogien.

Misschien zou onze beeldspraak zuiverder worden als we niet over diepte doch hoogte spraken. Vanaf een hoger gezichtspunt kan men een groter gebied overzien. Het adembenemende uitzicht op de aarde van een ruimtevaarder kan dit illustreren. Daarentegen worden de details dan heel klein. Wie deze goed wil zien zal zijn gezichtspunt dicht bij de grond moeten kiezen. Tussen de hoogte van het gezichtspunt en de mate van detailkennis bestaat inderdaad wel een omgekeerde evenredigheid.

Nu wil het mij voorkomen, dat er uit het hiervoor aangehaalde aforisme eigenlijk een zekere vrees spreekt, die niet ongerechtvaardigd is. Doch dit is niet de vrees voor de specialisatie als zodanig, als wel voor een isolement van de specialist. De gespecialiseerde kennis wordt pas vruchtbaar door haar in relatie te brengen met andere gespecialiseerde kennis. Blijft zij buiten elke relatie, dan schrompelt zij ineen tot een weten van niets.

De specialisatie eist dus als noodzakelijk complement de communicatie van de specialisten. De communicatie bij verschillende gezichtspunten is overigens niet altijd gemakkelijk en zij vereist inspanning aan weerszijden om de afstand te overbruggen. Ook in dit opzicht verschaft de ruimtevaart met zijn problemen van lancering, landing en ontmoeting, ons opnieuw een bruikbare metafoor.

De dynamica van ons denken omvat niet alleen het methosche vermogen om onze kennis langs ordelijke wegen op te bouwen, doch ook het vermogen van verandering van het gezichtspunt en het onderkennen van een andere ordening. Deze tweede dynamiek is radicaler dan de eerste.

Wij worden hiertoe in staat gesteld door het creatieve vermogen van ons denken, de fantasie. De ongebreidelde fantasie kan evenwel ook de hersenschim voortbrengen. Om tot werkelijk creatief denken te komen, moet de fantasie gesteld worden onder de tucht van de kritische ordening.

Ook hierbij kan de communicatie vruchtbaar zijn. Er zijn vormen van gedachtenwisseling die de fantasie stimuleren en die nochtans ook de functie der kritiek tot hun recht laten komen.

Wij leven in een turbulente maatschappij, waarin zich grote veranderingen voltrekken. De techniek is hierin niet alleen een factor die de ontwikkeling stimuleert, doch zij wordt anderzijds hierdoor zelf voor grote en groeiende opgaven gesteld. Dit geldt ook voor de civiele techniek als beheersing van de ruimte waarin de maatschappij leeft.

Door de snelle ontwikkeling worden de routineantwoorden vaak spoedig ontoereikend. Het vinden van passende antwoorden is alleen door meer creatief denken mogelijk.

Ook het onderwijs zal met het sneller verouderen van de techniek rekening moeten houden. Het zal minder nadruk op feitenkennis en meer nadruk op fundamentele methodes moeten leggen.

Van veel belang is hierbij de communicatie tussen docent en student.

Ik wil deze beschouwing afsluiten met een aan de civiele techniek ontleende beeldspraak.

De fantasie die in het creatieve denken tot uitdrukking komt, wil ik vergelijken met het beweeglijke water, en de kritische ordening met de strakke waterbouwkundige constructie in staal, beton of grond. Zoals deze het geweld der wateren bedwingt, zo ook dient de kritiek de fantasie te beteugelen, opdat we niet in de chaos worden meegesleurd.

Maar het water blijft onmisbaar voor het leven.

Bij de aanvaarding van mijn ambt, betuig ik Hare Majesteit de Koningin mijn eerbiedige dank voor de benoeming tot buitengewoon hoogleraar aan deze Hogeschool.

Mijne Heren Curatoren,

Voor het vertrouwen waarvan Uw voordracht voor deze benoeming blijk geeft, ben ik U zeer erkentelijk.

Mijne Heren Leden van de Senaat,

Met verscheidene Uwer mocht ik reeds contacten onderhouden, die ik op hoge prijs stel. Het verheugt me in Uw midden te worden opgenomen.

Mijnheer de Directeur-Generaal,

Ik ben U dankbaar dat u mij de gelegenheid hebt willen geven mijn werkzaamheden bij de Rijkswaterstaat te combineren met een taak bij de Technische Hogeschool. De ervaring bij de Rijkswaterstaat vormt een belangrijk deel van de grondslag waarop de vervulling van deze nieuwe taak zal moeten rusten. Ik hoop dat ook mijn arbeid bij het hoger onderwijs voor de Rijkswaterstaat niet zonder enig voordeel zal blijken te zijn.

Mijne Heren Hoogleraren en Lectoren in de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde,

Ik acht het een voorrecht in uw midden te zijn opgenomen en Uw hartelijke collegialiteit te ervaren. In het bijzonder ben ik de gewone hoogleraren onder U dankbaar voor het grote aandeel dat zij dragen in de lasten van de vele plichten die het wetenschappelijke werk omringen. Zij maken het een buitengewone hoogleraar die zijn plichten ook elders heeft, mogelijk zijn ambt te aanvaarden.

In zeer bijzondere mate zou ik hier dank willen uitspreken in een persoonlijk woord aan collega Bischoff van Heemskerck, aan wiens leerstoel der vloeistofmechanica ik mede verbonden ben. Door zijn afwezigheid op dit moment bewijst hij evenwel de juistheid van het hierboven gestelde omtrent de

lasten van de gewone hoogleraren. Het moet dus een indirect woord van dank blijven. Het verheugt me dat onze bij de Rijkswaterstaat beëindigde samenwerking, hier in het onderwijs weer is opgevat.

Waarde Schijf,

Bijna de volle achttien jaren dat ik bij de Rijkswaterstaat gewerkt heb, heb ik zulks gedaan onder Uw leiding. Veel heb ik van U geleerd door de pragmatische wijze waarop Gij, met een open oog voor de theorie, de problemen pleegt te benaderen. Ik ben U dankbaar voor de vrijheid die Ge mij bij mijn activiteit geeft en voor de steun en leiding die ik daarbij van U ontvang.

Waarde Dronkers,

Onze relatie is nog iets ouder dan de juist gereleveerde en mijn loopbaan bij de Rijkswaterstaat heeft met een groot deel van de Uwe parallel gelopen. Door Uw arbeid in deze loopbaan logenstraft Gij het denkbeeld dat een wiskundige niet tevens man van de praktijk zou kunnen zijn. Gij weet de theorie met de praktijk te verbinden en verstaat de kunst door kritische beschouwingen en intuïtie aan het water de geheimen van de getijden en getijstromen te ontfutselen. De beoefening der getijhydraulica hier te lande heeft dan ook veel aan U te danken.

Dames en Heren Medewerkers aan de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde,

De beperkingen die een buitengewoon hoogleraarschap kenmerken, gelden ook de mogelijkheden tot contact met u. Op deze beperkte schaal hoop ik dat zij niettemin vruchtbaar zullen zijn.

Dames en Heren Medewerkers aan de Mathematisch-Fysische Afdeling,

Voor de toewijding waarmee Gij elk Uw deel van de taak van onze afdeling vervult, ben ik U zeer erkentelijk. Gelukkig maakt deze ambtsaanvaarding geen einde aan onze samenwerking.

Dames en Heren Studenten,

Uw generatie zal worden uitgedaagd door de problemen van een maatschappij die ik zoëven turbulent heb genoemd. Noch Gij, noch uw docenten, kunnen nu reeds voldoende overzien welke oplossingen straks van U gevraagd zullen worden. Het zal daarom op Uw eigen bekwaamheid en vindingrijkheid aankomen. Ik zou dan ook Uw fantasie willen aanmoedigen. Doch niet minder acht ik het mijn taak U de tucht van kritisch en grondig denken bij te helpen brengen

Zeer geachte Toehoorders,

Ik dank U voor Uw aandacht.