

Over de beoefening van de stromingsleer

CBA  
WB

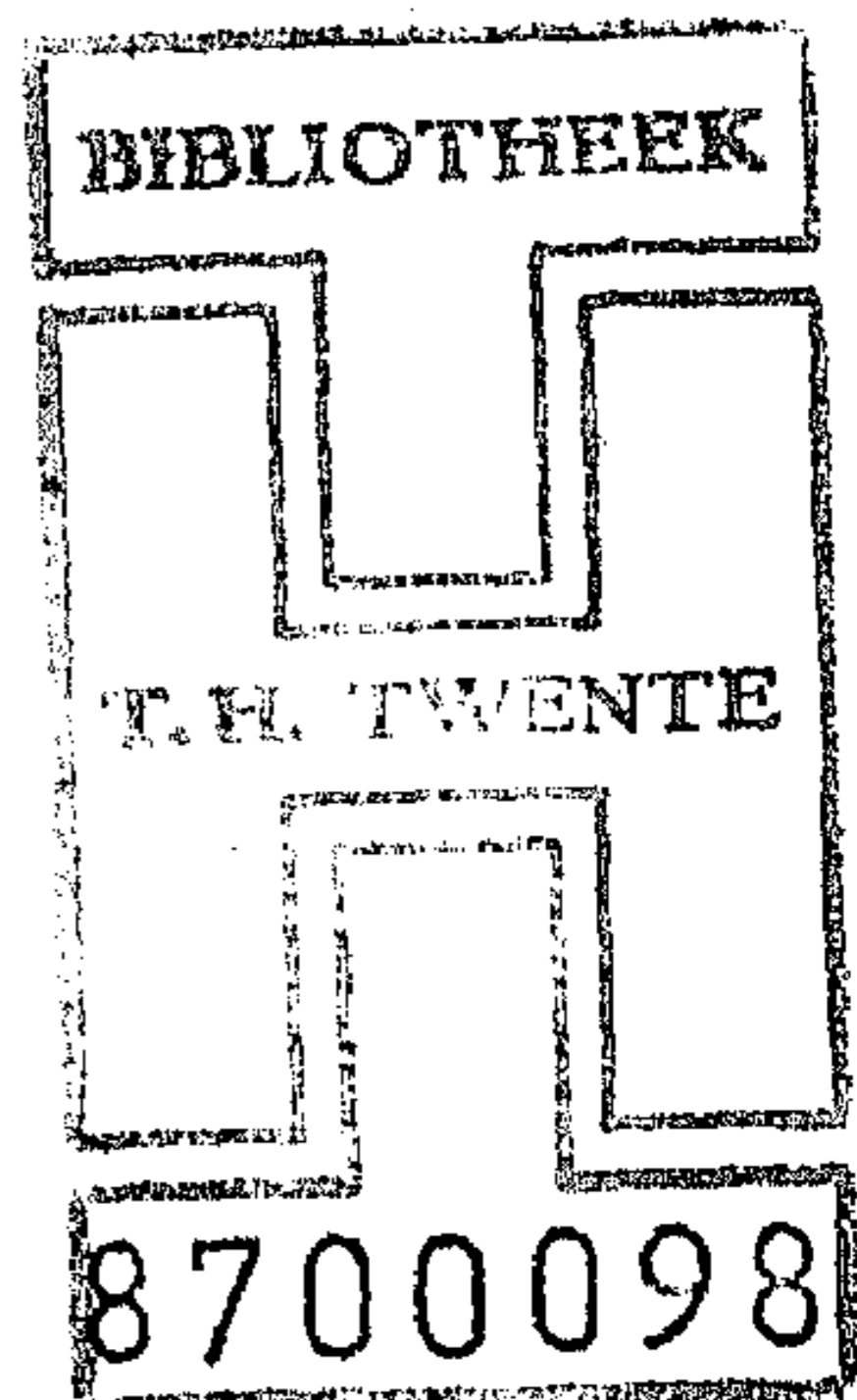
MR  
603

c 307

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN BUITENGEWOON HOOGLERAAR  
IN DE WARMTE- EN STROMINGSLEER  
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL TWENTE  
OP 27 JANUARI 1966  
DOOR  
DR. IR. L. VAN WIJNGAARDEN

g



*Mijne Heren Leden van de Raad van Bestuur,*

*Mijne Heren Hoogleraren,*

*Mijne Heren Lectoren,*

*Dames en Heren leden van de Wetenschappelijke Staf,*

*Dames en Heren leden van de technische en administratieve staven,*

*Dames en Heren Studenten, en voorts Gij allen die deze bijeenkomst met Uw aanwezigheid vereert,*

*Zeer geachte toehoorders,*

In de rij dergenen die zich van deze plaats presenteren is vandaag hij aan de beurt aan wie het onderwijs in de warmte- en stromingsleer aan deze Hogeschool is opgedragen. Nog niet zo lang geleden leerde men hem: „Non scholae sed vitae discimus”; niet voor de school maar voor het leven leren wij. Thans sta ik op het punt een deel van mijn leven aan een school, een Hogeschool, te wijden, en wel om er te leren. Het doel van dit leren laat zich niet zo gemakkelijk vastleggen in een zin, als die welke mijn leermeester in de oude talen mij voorhield. Enerzijds heeft het tot doel binnen het kader van Hogeschool en Universiteit nieuwe krachten voor onderzoek en onderwijs op te leiden, anderzijds wachten buiten de Hogeschool industrieën en laboratoria met belangstelling af of de producten van het leerproces bruikbare medewerkers kunnen zijn.

Vanmiddag wilde ik met U, die naar ik hoop van welwillendheid bent vervuld, nagaan waar, waarom en hoe de stromingsleer wordt beoefend. In mijn opdracht is ook sprake van warmteleer, ik wil mij vandaag tot de stromingsleer beperken.

Een oningewijde zou kunnen denken dat de wetenschap, die zich bezig houdt met de bewegingen van vloeistoffen en gassen, onderwezen en beoefend wordt onder meer aan de natuurfilosofische faculteiten van de Universiteiten. Dit is echter niet het geval. De aëro- en hydrodynamica, om maar eens de ouderwetse benaming te gebruiken, wordt vrijwel uitsluitend onderwezen aan de Technische Hogescholen. Dit is niet alleen in ons land het geval, het geldt ook voor elders, wat doet vermoeden dat er een zeer bijzondere relatie bestaat tussen stromingsleer en techniek.

In dit verband herlas ik nog eens een twee jaar geleden verschenen artikel van

WAYLAND GRIFFITH, directeur voor wetenschappelijk onderzoek bij Lockheed, en één van de steunpilaren van het „Journal of Fluid Mechanics”. Destijds boeide mij de titel van dit artikel: „Is fluid mechanics becoming extinct as a branch of science?”, is het met de stromingsleer als tak van wetenschap gedaan? U begrijpt dat ik me ervoor zou wachten dit geschrift hier en nu ter sprake te brengen, wanneer het antwoord op deze vraag bevestigend was geweest. Alvorens nader op deze kwestie in te gaan noemt Griffith een belangrijk verschil tussen de stromingsleer en andere takken van natuurkunde. Namelijk dit, dat terwijl in andere gebieden bepaalde ontdekkingen de aanleiding vormen tot technische toepassingen, de stromingsleer er in het algemeen gesproken op gericht is, inzicht te verkrijgen en te verdiepen in meestal reeds in de techniek voorkomende situaties. Inderdaad moeten wij Griffith toegeven, dat slechts zelden „a brand new technological concept has been made possible by a basic discovery about the nature of fluid flow”. Meestal gaat de praktische toepassing de wetenschap vooruit. Dit is maar goed ook want, hoe vreemd het U misschien moge klinken, van de stroming die ontstaat bij het openen van een waterkraan of bij het ontwijken van rook uit een schoorsteen, valt nog heel wat op te helderen en te verklaren. De behoefte aan onderwijs en onderzoek in de stromingsleer werd het eerst gevoeld aan instituten van technisch hoger onderwijs en niet aan de Universiteiten, waar vaak het zich bezig houden met technische vraagstukken als weinig verheffend werd, en soms nog wordt, beschouwd. Een gedenkwaardige dag voor de beoefening van de stromingsleer in Nederland was die waarop een jong Delfts hoogleraar in de mechanica zich te Leiden bij de grote LORENTZ vervoegde om deze te consulteren inzake de bezetting van een leerstoel in de aëro- en hydrodynamica te Delft. De jonge hoogleraar was BIEZENO die de behoefte aan onderwijs te Delft in de stromingsleer scherp aanvoelde en ernaar handelde. Het consult wees in de richting van J. M. BURGERS, die bereid bleek van de atoomfysica over te schakelen op de aëro- en hydrodynamica.

Dat dit gebeurde ten voordele van de laatstgenoemde wetenschap wordt bewezen door de belangrijke bijdragen die J. M. Burgers, die onlangs aan de Universiteit van Maryland de 70-jarige leeftijd bereikte, tot de ontwikkeling van de stromingsleer heeft geleverd. Aangezien in 1918 Delft nog geen afdeling voor technische natuurkunde bezat, kreeg Burgers een leerstoel in de afdeling der werktuigbouwkunde. De Technische Hogeschool Eindhoven liet de hoogleraar in de stromingsleer een leerstoel in de afdeling natuurkunde innemen. De Technische Hogeschool Twente deelt met de Technische Hogeschool Delft anno 1918 het gemis van een afdeling natuurkunde. Dit feit en het streven de grondslagen van een bepaalde tak van techniek in de betreffende afdeling onder te brengen heeft ertoe geleid dat aan deze Hogeschool de stromingsleer is onder-



gebracht in de afdeling werktuigbouw. Een plaats, waar de spreker van dit oogenblik zich als werktuigkundig ingenieur uitstekend thuisvoelt.

Naast de Technische Hogescholen wordt de stromingsleer beoefend in industriële laboratoria. Dit onderzoek, vroeger ten opzichte van het onderzoek aan de instituten van hoger onderwijs van weinig belang, neemt thans in omvang en betekenis voortdurend toe. CASIMIR wees er enige jaren geleden op, in een rede over de technologische vooruitgang, dat ondanks de groei van het onderzoek in de industrie, het fundamentele onderzoek in de fysica plaats vindt aan de instituten van hoger onderwijs. Voor de stromingsleer geldt dit ook, zij het in mindere mate dan voor de fysica in het algemeen vanwege de gesignaleerde gerichtheid op de techniek. Aangezien bij de leiding van de industrieën in het algemeen gesproken de overtuiging heerst, dat onderzoek, ook van fundamentele aard, noodzakelijk is bezetten de hogescholen geen monopolie-positie meer. Het is aan overheid en industrie beide om eraan mede te werken dat het onderwijs en onderzoek aan de Hogescholen van voldoende gehalte blijft. Wanneer naast bloeiend industrieel onderzoek dat aan de hogescholen zou kwijnen, zou de continuïteit van het onderzoek sterk in het gedrang komen.

Geachte toehoorders, thans komen wij aan de bespreking van het waarom van de beoefening van de stromingsleer. Eerst is daar de beoefening van de wetenschap om haarszelfs wil, het l'art pour l'art. De drijfveer is hier de nieuwsgierigheid naar de oorzaken van de stromingsverschijnselen, het verlangen om ze te verklaren en te begrijpen. In dit verband is ieder probleem belangrijk zolang het met wetenschappelijke methoden kan worden opgelost. In de tijd waarin natuurwetenschap en filosofie nog niet in gescheiden gelederen oprukten, placht men zich bezig te houden met vraagstukken als: Hoeveel engelen kunnen er dansen op de punt van een naald? Dit vraagstuk valt buiten de competentie van de stromingsleer. Wel kan men zich afvragen: Hoeveel wervels (hydrodynamische wervels wel te verstaan) kunnen er dansen op de punt van een naald? Degenen onder U die bekend zijn met de wetten van HELMHOLTZ betreffende wervels, zal de oplossing niet al te moeilijk vallen. Voor wie het interesseert, het vraagstuk is te vinden in het fraaie boek „Natural Aerodynamics” van SCORER. In dit boek worden tal van stromingsverschijnselen die zich in de natuur rondom ons voordoen, behandeld. De natuur bestaat voor een zeer groot percentage uit vloeistoffen en gassen, vooral wanneer we ook de materie op galactische schaal meerekenen. Bepaalde typen van stromingen hebben een plaats gevonden in zelfstandige vertakkingen, zoals de meteorologie en de oceanografie, waarvan de beoefenaars zich respectievelijk met de stromingen in de atmosfeer en in de

oceanen bezig houden. De stromingsverschijnselen die zich in de natuur voordoen ontmoeten we vaak op andere schaal in de techniek.

De bestudering van de fundamentele wetten en verschijnselen behoort tot de taak van de stromingsleer. Daarnaast heeft de stromingsleer concrete vragen te beantwoorden, vragen als: wat is het drukverlies in een bepaalde leiding, wat moeten afmetingen en vorm van scheepsschroeven, vliegtuigvleugels of turbineschoepen zijn voor het zo efficiënt mogelijk opwekken van de nodige kracht, hoe hoog en zwaar moeten dijken zijn om aan het water weerstand te bieden? Zelfs in de wereld van sport en spel wordt de hulp van de stromingsleer soms ingeroepen. Als voorbeeld hiervan wil ik U het volgende niet onthouden. Het is bekend dat wanneer een bol van gegeven diameter zich door lucht beweegt, de weerstandscoefficiënt bij een bepaalde snelheid een scherpe daling vertoont. Dit feit heeft in het verleden aanleiding gegeven tot veel discussie en staat bekend als de Eiffel Paradox. Enige jaren geleden zijn engelse golfspelers erdoor in gewetensnood gebracht. Immers, zo redeneerde men, wanneer iemand over zoveel kracht beschikt dat hij een golfbal boven de critische snelheid kan brengen, dan heeft hij vanwege het bovengenoemde effect een extra voordeel boven zijn minder gespierde collega's. Is dit wel fair play? Een diepgaand onderzoek werd ingesteld door een aërodynamicus met de medewerking van verschillende respectabele golfspelers. Het onderzoek wees tot geruststelling van de betrokkenen uit, dat het voordeel van een gespierde speler t.o.v. een fysiek zwakkere slechts voor een klein percentage het gevolg is van de Eiffel Paradox. „The rest is gained by honest effort” zo besluit het rapport over dit onderzoek.

Geachte toehoorders, leiden deze twee aspecten, het onderzoek om zichzelf wil en het moeten antwoorden op vragen gesteld door de techniek of anderszins tot conflicten? Ik geloof van niet. Ter illustratie moge ik U het oude verhaal in herinnering brengen van de goudsmid die voor koning Hieron II van Syracuse een gouden kroon moest vervaardigen. De koning verdacht de goudsmid ervan een kern van onedel metaal met goud te hebben bekleed en riep de hulp van de wis- en natuurkundige Archimedes in om een methode te vinden de vermeende boosdoener te ontmaskeren. Het resultaat van diens bespiegelingen, die zoals ge weet plaats vonden in een badkuip, is U allen bekend als de wet van Archimedes. Ook van de uitroep *εὕρηκα*, ik heb het gevonden, die hij slaakte terwijl hij vanuit zijn badkuip naakt naar de koning snelde hebt U weleens gehoord. Alleen zal over enige generaties, wanneer het Grieks geheel van de op utiliteit gerichte onderwijsprogramma's is verdwenen, niemand meer weten hoe dit wordt geschreven. Hoe nauw Archimedes reeds betrokken was bij het dualisme gevormd door fundamenteel en toegepast onderzoek moge verder blijken uit het feit dat hij



naast zijn fundamentele werk ook een takel, een brandspiegel en een slingerwerktuig ter verdediging van het meergenoemde Syracuse op zijn naam heeft staan.

Hoe wordt, geachte aanwezigen, de stromingsleer beoefend? Ik sprak U reeds over de taak van de stromingsleer, nl. de verschijnselen samenhangende met de beweging van vloeistoffen en gassen te beschrijven en in hun onderlinge samenhang te verklaren. Dit onderzoek kan langs theoretische weg en langs experimentele weg plaats vinden. Laten wij eens een relatief eenvoudig geval beschouwen. U weet, dat wanneer het waait, U beter verstaanbaar bent bij het spreken „met de wind mee” dan wanneer U, bij gelijke afstand tot de toegesproken persoon, tegen de wind in spreekt. De experimentele kant van dit verschijnsel hebt U allen wel eens beoefend al zult U daarbij waarschijnlijk geen kwantitatieve gegevens hebben verzameld. Daar zowel de wind als de geluidsgolven, door U bij het spreken veroorzaakt, tot de stromingsverschijnselen behoren, kunnen we hier van een stromingsprobleem spreken. Er zullen er misschien onder U zijn, die het met mij oneens zijn en het vraagstuk tot de akoustiek rekenen. Daar echter de akoustiek zich tegenwoordig ofwel onder water ofwel binnenskamers afspeelt, houd ik het maar op de „natural aerodynamics” wat dit verschijnsel betreft. Nu de verklaring ervan. Een aannemelijke lijkt de volgende: Met de wind mee wordt het geluid in de goede richting meegevoerd, zodat de weg die het ten opzichte van de lucht moet afleggen, de akoustische weg, korter is dan bij het spreken tegen de wind in. Daarbij is de akoustische weg langer, de demping dienovereenkomstig groter dan bij het spreken met de wind mee. Deze verklaring klinkt plausibel, maar kan de toets der kritiek niet doorstaan. De demping, die het gevolg is van de viscositeit en het warmtegeleidingsvermogen van de lucht, is namelijk zo gering, dat het genoemde verschil in geluidsintensiteit hierdoor niet kan worden verklaard. De theorie deugt dus niet en er moet naar een betere worden omgezien.

Het woord theorie is hiermee gevallen. Voor het gemak zullen we nu maar onder theorie verstaan het complex van beschouwingen en redeneringen dat uitgaande van bepaalde veronderstellingen leidt tot een verband tussen de verschillende waargenomen verschijnselen. Meestal spelen zoveel factoren een rol dat het ondoenlijk is om alles in de beschouwingen te betrekken. Er moeten vereenvoudigingen worden aangebracht. In het bovengenoemde is stilzwijgend aangenomen dat het geluid rechttoe rechtaan van spreker naar toegesprokene gaat. Dit behoeft correctie. Iedere stroming staat aan een vaste wand stil. Al is de windsnelheid op enige meters boven de grond nog zo hoog, aan de grond is de snelheid nul. Het verschil wordt overbrugd in de zogenaamde grenslaag. De snelheid waarmee en de richting waarin het geluid ten opzichte van de grond

wordt voortgeplant, is daardoor een functie van de hoogte boven de grond. Het valt vrij gemakkelijk in te zien dat daardoor bij het spreken met de wind mee het geluid naar beneden, bij het spreken tegen de wind in naar boven wordt afgebogen. Als gevolg hiervan blijft het geluid bij het spreken met de wind mee laag bij de gronds. Bij het spreken tegen de wind in gaat het gesprokene de ontvanger geheel of gedeeltelijk over het hoofd heen. Om dit ombuigefect te precizeren moet het verband tussen de helling van de geluidsstralen en de lokale windsnelheid worden berekend. Het afleiden van dit verband vereist het opstellen van een aantal wiskundige vergelijkingen en het oplossen ervan. Het opstellen van de vergelijkingen is een zaak van inzicht, kennis en ervaring wat betreft het verschijnsel. Het oplossen van de resulterende vergelijking, in dit geval de golfvergelijking, is een wiskundige taak. Veelal zal een exacte oplossing niet tot de mogelijkheden behoren en moet er een benaderingsmethode worden gezocht. In het hier behandelde geval kan men er gebruik van maken dat de golflengte van het geluid klein is ten opzichte van de grenslaagdikte. Het uitwerken van dit soort problemen vereist het gebruik van een min of meer forse portie wiskunde. Deze wiskunde heet toegepaste wiskunde, in tegenstelling tot zuivere wiskunde. Het onderscheid is niet altijd even duidelijk. Wat vandaag nog zuivere wiskunde heet behoort morgen tot de toegepaste wiskunde.

Toch, zeer gewaardeerde toehoorders, bestaat er tussen de beoefenaars van beide takken een wereld van verschil. Als karikatuur van wat men op dit punt te horen kan krijgen, noem ik U de uitspraak van de zuivere mathematicus, die van de in de toegepaste wiskunde veel gebruikte Bessel functie verklaarde „The Bessel function is a beautiful function in spite of its many applications”.

De rol die de wiskunde speelt bij het onderzoek is tweeledig. In de eerste plaats bij het opstellen van en manipuleren met de vergelijkingen die een bepaalde situatie beheersen en in de tweede plaats bij het oplossen ervan. Wat betreft het eerstgenoemde gebied, is men er zich sterker dan weleer van bewust dat een fysisch gebeuren nooit precies kan worden weergegeven. Waar men naar zoekt zijn modellen, die voor berekeningen vatbaar zijn en die geacht kunnen worden essentiële eigenschappen van het bestudeerde verschijnsel weer te geven. Voorbeelden van zulke modellen in de stromingsleer zijn de grenslaag en de wervel. De engelse mathematicus LIGHTHILL, een van de grootste contemporaine beoefenaars van deze soort wiskunde, heeft er op gewezen, dat de waarde van een goed model, Lighthill spreekt van „a sound idea” in dit verband, gelegen is in de rekbaarheid, de elasticiteit, ervan waardoor het gebruikt kan worden in zeer uiteenlopende problemen en onder zeer verschillende condities. Met grenslaag en wervel is dit zeker het geval. Zij behoren tot het vakjargon van de hydrodynamicus bij het bespreken van welhaast ieder stromingsprobleem.



In 1950 vertelde BOTTEMA, in een reeds veel geciteerde rede, hoe Euclides zich in vele opzichten een welkome gast voelde in het wonderland van de techniek. Bezien wij de positie van Euclides thans, ruim vijftien jaar later, dan blijkt dat de grijsaard zijn positie heeft verstevigd, ja dat hij hier en daar de dienst uitmaakt. Ziet men goed toe, dan ontwaart men dat hij daarbij vergezeld gaat van apparaten, die tot het „image” van wonderland bijdragen, en die naar de naam computer luisteren. Deze apparaten spelen een belangrijke rol bij de andere taak van de wiskunde, het oplossen van de vergelijkingen. Men spreekt dan van numerieke wiskunde. Vele ingenieuze benaderingsmethoden uit de tijd waarin er nog geen, of praktisch geen, rekenmachines waren, zijn thans verouderd en het gebruik van de rekenmachines is in vele gevallen imperatief.

Toch kruipt het bloed soms waar het niet gaan kan. Ik verschuil me dan voor de oude Euclides die me bij monde van zijn numerieke aanhangers met gestrengheid op de computer wijst en probeer van de problemen die ik op mijn weg vind een analytische oplossing te vinden. Deze uren mogen dan niet efficiënt besteed lijken, ze worden in geduld en toewijding doorgebracht.

Naast de theorie speelt bij het onderzoek in de stromingsleer het experiment een uiterst belangrijke rol. Immers naar het woord van EINSTEIN „all knowledge of reality starts from experiment and ends in it”. In een experiment kunnen verschijnselen worden geïsoleerd en bestudeerd. Voor het begrijpen en verklaren van een verschijnsel zijn zowel theorie als experiment onontbeerlijk. De theorie wijst vaak de weg bij het beantwoorden van de vraag: wat moet worden gemeten of was is interessant om te meten, terwijl anderzijds experimentele gegevens de aanleiding tot theoretische bespiegelingen vormen.

In de stromingsleer is het vooral het probleem van de turbulentie dat om oplossing vraagt. Wanneer U in een vertrek waarin geen tocht heerst de van een sigaar afkomende rook beschouwt, zult U zien dat het eerste gedeelte een keurige gelaagde ofwel laminaire stroming is, die echter na enige centimeters overgaat in een warrelige, ongeordende stroming. Dit laatste type stroming, de turbulente stroming komt in de praktijk het meeste voor. De overgang van laminaire naar turbulente stroming is nog altijd een probleem en ook de turbulente stroming zelf heeft zich tot dusver aan een precieze beschrijving weten te onttrekken. Zonder deze echter nauwkeurig te kennen, is het toch vaak mogelijk mechanismen waarbij turbulente stromingen betrokken zijn, te begrijpen. Een voorbeeld is de theorie van MILES over het opwekken van golven op een wateroppervlak door de wind. Allen hebt U waarschijnlijk weleens op een winderige dag aan het strand naar het spel van wind en golven gekeken. Wanneer U zich zo'n tafereel voor de ogen haalt, zult U begrijpen dat het geen eenvoudige zaak



is om zich van deze verschijnselen een ordelijk beeld te vormen, en het verband tussen oorzaak en gevolg te bepalen. Vele vooraanstaande fysici hebben zich over dit probleem het hoofd gebroken. De bekendste onderzoeken zijn die van Lord KELVIN uit 1871 en die van JEFFREYS, daterend uit 1925. Kelvin voorspelde een minimum windsnelheid om een golf op te wekken van ongeveer 7 m/s. Experimenteel zijn golven waargenomen ver beneden deze windsnelheid. De theorie van Jeffreys, berustend op het loslaten van de windstroming achter de top van een golf, is evenmin toereikend gebleken, zoals o.a. door URSELL is aangetoond. Eerst in de laatste tijd zijn zowel betrouwbare gegevens verzameld, alsook een bevredigende, uit eerste beginselen opgebouwde, theorie gevonden. Aan de experimenten zijn de namen van LONGUET-HIGGINS en medewerkers verbonden, aan de theorie die van J. W. MILES. In deze theorie komt van de turbulente windstroming, waarvan de precieze structuur onbekend is, alleen de verdeling van de gemiddelde snelheid voor. Het werk van Miles, daterend uit de jaren 1957 tot 1960, behoort naar mijn smaak tot het fraaiste in de hydrodynamica gedurende de laatste tijd verricht.

Geachte toehoorders, de tijd is voorbij dat men onderzoekers in ontklede toestand over straat ziet rennen onder het slaken van vreugdekreten. Niettemin stel ik mij voor dat Miles bij het ontdekken van de relatie, die de energie-overdracht van de wind naar het water bepaalt, door emoties niet ongelijk aan die welke Archimedes bezielde werd vervuld.

Evenals in de literatuur vele „minor authors” nodig zijn voor één Shakespeare, komen grote onderzoekers naar voren uit dichte rijen van minder onsterfelijke vakgenoten. Maandelijks brengen de vaktijdschriften resultaten van onderzoeken, gering in betekenis ten opzichte van die van Archimedes en bijvoorbeeld Miles. Toch is aan vele van deze meer bescheiden bijdragen tot de voortgang van de wetenschap, evenzeer een εὐρηκα moment verbonden. Deze momenten behoren tot de mooiste in het professionele bestaan van de onderzoeker.

Na deze uitweidingen, geachte aanwezigen, keer ik terug naar het in de aanvang genoemde artikel van Griffith over de vooruitzichten van de stromingsleer. Hij maakt een vergelijking tussen publikaties op stromingsgebied in 1953 en in 1963. Griffith constateert eerst dat in het tijdsinterval twee tijdschriften zijn opgericht, geheel gewijd aan de stromingsleer nl. „The Journal of Fluid Mechanics” en „The Physics of Fluids”. Het vergelijkend onderzoek leert hem vervolgens dat in de periode tussen de genoemde jaartallen de stromingsleer in plaats van uitgeblust te raken een vitaliteit vertoonde welke die van voorgaande perioden te boven gaat en dat deze bloei voor een groot deel veroorzaakt werd door de belangstelling voor magnetohydrodynamica en plasmafysica. In deze takken

van de stromingsleer worden stromingen in electrisch geleidende media bestudeerd. Naast wrijvings- en drukkrachten spelen dan ook krachten van electromagnetische aard een rol. De belangstelling voor deze stromingen is voor een groot deel het gevolg van pogingen om in zeer hoog verhitte, geïoniseerde gasen een gecontroleerde fusie van lichte elementen te realiseren. Deze hete gasen, zogenaamde plasma's, worden opgesloten in daartoe geschikte magneetvelden. Momenteel is het optimisme om zeer snel tot een gecontroleerde thermonucleaire fusie te komen wat geluwd en probeert men eerst het gedrag van de plasma's in een magneetveld beter te begrijpen. „The Physics of Fluids” is bijna geheel aan het onderzoek van plasma's gewijd. De jaatste jaren is nog een ander onderwerp sterk op de voorgrond gekomen, namelijk de hydrodynamica van de niet newtonse vloeistoffen. Bij het beschrijven van het visceuze gedrag van vloeistoffen en gassen gaat men meestal uit van het model van Newton waarin spanning en deformatiesnelheid in de vloeistof recht eventedig zijn. Het is gebleken dat vele vloeistoffen die thans op industriële schaal worden gebruikt zich anders gedragen. Hiertoe behoren modder, pulp, oplossingen van vele polymeren en bijvoorbeeld ook bloed. Zoals in de hydrodynamica de wet van Newton ontoereikend is gebleken om het gedrag van vele vloeistoffen bevredigend te beschrijven zo is dit in de mechanica van de vaste stoffen het geval met de wet van Hooke, volgens welke spanningen evenredig zijn met de overeenkomstige deformaties. Vele vaste stoffen beantwoorden niet aan het „ut tensio sic vis” waarop de elasticiteitstheorie is gebaseerd. Het opstellen van het verband tussen vervorming en spanning in zowel de niet newtonse vloeistoffen als ook de „niet hookese” vaste stoffen, vormt het werkterrein van de reologie, welk gebied in Delft MERK tot het zijne heeft gemaakt.

De stromingsleer dient om op het gebied van de niet newtonse vloeistoffen verder te komen, met de reologie nauwe contacten te onderhouden. Plasmafysica en niet newtonse vloeistoffen vormen slechts enkele voorbeelden van gebieden van onderzoek waar de stromingsleer in aanraking komt met andere takken van wetenschap. Deze voorbeelden kunnen gemakkelijk met een aantal andere worden vermeerderd.

*Zeer geachte aanwezigen,*

Voor de voortgang van de stromingsleer en de toepassing ervan in de techniek is het noodzakelijk dat zich een voldoende aantal onderzoekers eraan wijdt en dat een voldoende aantal van hen, die in de techniek werkzaam zijn, met de grondbeginselen vertrouwd zijn. Hiervoor te zorgen is zoals ik in het begin opmerkte, een taak die voornamelijk rust op de Technische Hogescholen. Was het



vroeger mogelijk in een college stromingsleer voor werktuigbouwers praktisch alle toepassingen op het gebied van de werktuigbouwkunde te behandelen, dit is thans niet meer het geval. Het komt me voor dat het nu geboden is de fundamentele wetten en verschijnselen te behandelen en daarbij de stromingsleer in het perspectief van de verschillende takken van technische wetenschap te plaatsen. De toepassing op een bepaalde stromingsmachine of een bepaald technisch proces zal des te gemakkelijker vallen wanneer de grondslagen behoorlijk verwerkt zijn. Een exacte behandeling van vele verschijnselen zou van de student meer wiskundige kennis verlangen dan hij in zijn tweede of derde jaar bezit, terwijl een op de empirie afgestemd onderwijs gelardeerd met vuistformules weinig of geen inzicht bijbrengt. Ik hoop bij mijn onderwijs van het resultaat van mijn zoeken naar het juiste evenwicht blijk te geven.

*Dames en Heren,*

Bij de aanvaarding van mijn ambt wil ik mijn eerbiedige dank betuigen aan Hare Majesteit de Koningin, die mij tot buitengewoon hoogleraar aan deze Hogeschool benoemde.

*Mijne Heren Leden van de Raad van Bestuur,*

Voor het vertrouwen dat U mij geschonken hebt door mij voor deze benoeming voor te dragen, ben ik U zeer erkentelijk. Ik hoop bij mijn werkzaamheden hier dit vertrouwen niet te beschamen.

*Mijne Heren Leden van de Senaat,*

Naar de betekenis van het woord senaat, wordt Gij geacht een college van oude, wijze mannen te vormen. De ontmoeting met zo'n groep heeft mij, een jongeling, met zorg vervuld. De hartelijkheid waarmee Gij mij hebt ontvangen en het jeugdig initiatief en enthousiasme door U tentoongespreid, hebben deze zorg weggenomen. Ik beschouw het als een grote eer in Uw midden te zijn opgenomen en ik ben ervan overtuigd niet tevergeefs bij U om raad en steun te zullen aankloppen.

*Mijne Heren Leden van de Afdeling Werktuigbouwkunde,*

Gedurende de korte tijd dat ik met U verkeer, hebben mij de voortvarendheid en doelbewustheid geïmponeerd, waarmede U de problemen rondom de op-

leiding in de werktuigbouwkunde aanpakt. Binnen Uw afdeling is het mijn opdracht het onderwijs in één van de grondslagen, de warmte- en stromingsleer, te verzorgen. Ik weet daarbij op Uw steun te kunnen rekenen en ik zal graag bij mijn onderwijs rekening houden met Uw wensen.

*Mijne Heren Leden van de Contact Groep Wis- en Natuurkunde,*

Uit hetgeen ik vanmiddag behandelde moge het belang blijken dat ik voor de stromingsleer hecht aan het contact met de overige richtingen in de wis- en natuurkunde. Het stemt mij tot vreugde met U mede te kunnen denken over het onderwijs hierin aan deze Hogeschool.

*Dames en Heren medewerkers van de Afdeling Werktuigbouwkunde,*

De hartelijkheid en steun die ik bij mijn wekelijks verblijf hier van U ondervind hebben mij buitengewoon getroffen. Uw inspanningen zijn voor deze Hogeschool van zeer grote waarde. Ik stel er een eer in met U te kunnen samenwerken in het belang van onderwijs en onderzoek.

*Hooggeleerde Broer,*

In Uw Delftse oratie hebt U gezegd dat een wetenschappelijk onderzoeker niet gekweekt wordt, maar gevormd door meer ervaren soortgenoten. Ik heb een zeer groot deel van mijn vorming aan U te danken. U bent mijn leermeester en promotor geweest en hebt mij steeds in ruime mate laten profiteren van Uw geweldig fysisch inzicht. Gaarne wil ik U hier bedanken voor het vele goede wat ik van U heb ondervonden. Uw onderricht, vooral het informele deel, o.a. aan de koffietafel van het Lab. aan de Ezelsveldlaan, heeft op mij een blijvende indruk gemaakt. Ik hoop daarvan iets te laten blijken bij mijn onderwijs hier in Twente.

Van mijn overige Delftse leermeesters wil ik hier in het bijzonder dank zeggen aan U,

*Hooggeleerde Bottema en U, Hooggeleerde Van Veen,*

Beide hebt U, ieder op eigen wijze, veel tot mijn vorming bijgedragen. Ook in de particuliere sfeer hebt U mij van Uw rijke gaven van hoofd en hart geschonken. Uw aanwezigheid bij deze gelegenheid ervaar ik met vreugde en dank.



*Hooggeleerde Timman,*

In Delft volgde ik reeds enige van Uw colleges. Wij kwamen echter in nauwer contact toen ik, door Uw toedoen, in Wageningen kwam te werken. De frisheid van Uw visie op problemen van allerlei aard, Uw lenigheid van geest en mathematisch-fysisch inzicht maken steeds weer grote indruk op me. Uw bezoeken aan het Scheepsbouwkundig Proefstation houden voor mij uren van inspiratie, inspanning en ontspanning in, waarvoor ik U uitermate dankbaar ben. Ik hoop dat de frequentie van ons samentreffen in de toekomst niet zal afnemen.

*Hooggeleerde Van Manen,*

In Uw persoon wil ik hier de Directie van het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation bedanken voor de wijze waarop het mij mogelijk gemaakt is om naast de besognes van alle dag wetenschappelijk werk te verrichten. Uw nimmer aflatende waakzaamheid voor de groei en bloei van het wetenschappelijk onderzoek bij het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation stemmen tot bewondering en dankbaarheid.

*Zeergeleerde Witte, en overige collega's van de Afdeling Hydromechanica van het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation,*

Ik ben mij bewust dat, nu ik een deel van mijn tijd aan deze Hogeschool besteed, ik een geringer aandeel neem in de lasten die op onze gezamenlijke schouders rusten. Dat Gij mij hiervan geen verwijt maakt is een bewijs van Uw tegemoetkomendheid en van de goede verhoudingen in onze afdeling, waarvoor ik U van harte dank zeg.

*Zeergeleerde Van Oort,*

Dat wij na een gezamenlijke studie in Delft elkaar hier weer in een gemeenschappelijke taak zouden vinden, heb ik niet kunnen vermoeden. Uw ervaring en kennis, opgedaan in binnen- en buitenland, zijn bij het werk in de groep stromingsleer een onmisbare steun. Van onze samenwerking hier in Twente, reeds enige maanden een feit, stel ik mij veel voor.

*Dames en Heren Studenten,*

U studeert aan een zeer jonge Hogeschool die zeer veel originele aspecten heeft. Vele van Uw collega's aan andere, volgens het beproefde recept opgezette, Universiteiten en Hogescholen, weten nog niet of zij U benijden dan wel beklagen moeten.

Hun oordeel op langere termijn zal voor een groot deel van U afhangen. Ik geloof dat het beste voor U is om met inzet van al Uw krachten gebruik te maken van de mogelijkheden die U hier worden geboden om U tot baccalaureus dan wel tot ingenieur te vormen.

Mochten er onder U zijn die zich na het baccalaureaatsexamen verder in de stromingsleer willen bekwamen dan zal het mij een groot genoegen zijn, hen daarbij, zover als in mijn vermogen ligt behulpzaam te zijn.

Ik heb gezegd.