

Het minimum

Citation for published version (APA):

Slotboom, J. G. (1959). *Het minimum*. Wolters.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1959

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

HET MINIMUM

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOOGLERAAR
IN DE AFDELING DER ALGEMENE WETENSCHAPPEN
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL TE EINDHOVEN
OP DINSDAG 17 FEBRUARI 1959

DOOR

Ir. J. G. SLOTBOOM

HET MINIMUM

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOGLERAAR
IN DE AFDELING DER ALGEMENE WETENSCHAPPEN
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL TE EINDHOVEN
OP DINSDAG 17 FEBRUARI 1959

DOOR

IR. J. G. SLOTBOOM

*Mijne heren curatoren,
Mijne heren leden en adviseurs van de senaat,
Dames en heren leden van de wetenschappelijke staf en
andere medewerkers aan deze hogeschool,
Dames en heren studenten en voorts gij allen, die deze bij-
eenkomst met Uw tegenwoordigheid vereert.*

Het mag als een goede gewoonte worden beschouwd, dat een nieuwe hoogleraar zijn ambt aanvaardt met het uitspreken van een rede. Hij is namelijk U allen een verklaring schuldig; hij zal onderzoek moeten verrichten en onderwijs moeten geven in een bepaalde tak van wetenschap of techniek. Een groot aantal studenten zullen daaraan een deel van hun aandacht moeten wijden, zij zullen tentamens of examens moeten afleggen over de behandelde stof en zij moeten daarnaast tóch al zoveel doen. Waarom nu dit vak ook nog? Hoe interessant en nuttig is het? Dient het, om met behulp van een zekere hoeveelheid op dit vakgebied vergaard en op een tentamen of examen tentoongespreid inzicht slechts tot het afleggen van een volgend examen te kunnen worden toegelaten, of kan een wijdere strekking worden opgemerkt?

U allen hebt er recht op, op deze en wellicht nog andere vragen een antwoord te vernemen. In minder dan een uur kan dat niet volledig worden gegeven, U zult dat wel willen aanvaarden. U zult echter, naar ik onderstel, meer willen vernemen, dan de simpele verklaring, dat ik de stromingsleer zo interessant vind, zo vol leven en avontuur. U zult wellicht overwegen, dat de gehele Nederlandse samenleving, dus ook U allen, geachte toehoorders bijdraagt tot het verkrijgen van de middelen, waarmee wij het vak aan deze Technische Hogeschool beoefenen, dat ik hier sta als Uw dienaar.

Welnu dan, ik zal trachten U in ruwe trekken de opkomst van de stromingsleer als apart vakgebied en de noodzaak daarvan te schetsen en wel aan de hand van het verloop van een bepaalde technische ontwikkeling. De verleiding is groot hiervoor die van het vliegen te kiezen, een wel heel sterk op de stromingsleer steunende kunst, die dan ook de grote stimulans voor de indrukwekkende groei van de stromingsleer in de laatste decennia is. Het overgangsgebied tussen goed vliegen en niet vliegen is vaak angstwekkend nauw.

Ik zou echter, mede gezien het feit, dat deze Technische Hoge-

school in deze richting geen opdracht heeft, een andere lijn willen volgen; die van de produktie van elektrische of mechanische energie, een van de steunpilaren van onze huidige materiële welstand.

Deze te volgen lijn biedt de aantrekkelijkheid, dat zij duidelijk het menselijk streven naar een maximum aan welstand bij gegeven inspanning of wel een minimum aan „verlies” naar voren laat komen en tegelijkertijd de rol van de stromingsleer daarbij illustreert. Overigens bezit de ontwikkeling van de energieproduktie daarin geenszins het monopolie.

Het is dan ook niet mogelijk het hierbij te laten. Het vliegen en de invloed op de stromingsleer komen nu en dan om de hoek kijken. Ook andere takken van techniek dienen minstens te worden genoemd.

Zowel de stromingsleer als de energieproduktie anders dan via menselijke en dierlijke spierkracht is nog betrekkelijk jong, tenminste gemeten met de maatstaf der menselijke historie. Weliswaar bestaan er al zeer lang wat men toepassingen van de stromingsleer zou kunnen noemen zoals irrigatiewerken en zeilschepen, maar evenals alle techniek van Oudheid en Middeleeuwen berusten zij op empirie. Verkregen ervaring wordt van vader op zoon, van meester op leerling doorgegeven. De relatie met de soms op hoog peil staande wetenschap met haar vaak andere doelstellingen is lang niet die, welke wij nu kennen. Bovendien zijn begrippen als energie nog lang niet tot wasdom gekomen. Wij zien dan ook in de Romeinse tijd wel zeilschepen, maar geen zweefvliegtuigen en zeker niet, omdat de mensen daarvoor niet ambitieus genoeg zouden zijn; de sage van Icarus spreekt duidelijke taal. Ook niet omdat de welstand nodig voor het bezitten, of de ambachtelijke kwaliteiten en de materialen voor het fabriceren van een zweefvliegtuig ontbreken. Zij zijn alle aanwezig, evenwel ontbreekt het inzicht in stromingsverschijnselen en krachterspel.

In de 18e en vooral in de 19e eeuw begint de U allen bekende formidabele opbloei van wiskunde, natuur- en scheikunde. Theorie en experiment gaan van dan af hand in hand.

Het energiebegrip wordt gemeengoed, warmte wordt als één der energiebronnen herkend; het meest waarschijnlijke verloop van aan zichzelf overgelaten processen wordt door de 2e hoofdwet der thermo-dynamica beschreven.

Al voor die tijd zijn de eerste, niet meer fantastisch aandoende,

pogingen aangewend tot het verkrijgen van meer energie – mechanische energie wel te verstaan – dan uit menselijke spierkracht (slaven) en huisdieren kan worden geperst. Er is reeds gedacht over een op buskruit lopende machine, over een hete luchtmotor; er bestaan al enige tijd windmolens.

Nog voor de hoofdwetten van de thermodynamica goed geformuleerd en begrepen zijn, is door James Watt de stoommachine geconstrueerd, voor de praktische toepassing pas goed bruikbaar geworden door het aanbrengen van de bekende reguleur.

Onderwijl zien wij nog een merkwaardige theorie een niet onbelangrijk aantal aanhangers hebben: de warmtestoftheorie. Merkwaardigerwijze wordt zij aan het wankelen gebracht door de geconstateerde warmteontwikkeling bij het boren van een kanonsloop, een overbekende geschiedenis. Het vreemde is, dat het ontstaan van de theorie niet volledig is verhinderd door het volkomen analoge en reeds eeuwen bekende vuur maken door het tegen elkaar wrijven van twee droge stukjes hout, later gevolgd door vuursteen, tondeldoos, lucifers en als nieuwste snuffe de vuursteen.

Met de stoommachine begint de winning van mechanische energie uit warmte op grote schaal, later met de elektriciteit als tussenschakel. Dit gebeurt via één van de vele thermodynamische kringprocessen, die worden doorlopen door een medium, dat voor alles moet voldoen aan de voorwaarde, dat het soortelijk volume sterk afhankelijk is van de temperatuur. Dit is nodig, omdat de netto levering van vermogen in de regel het verschil is van twee bedragen nl. één door de expansie van het medium geleverd en één voor de compressie van het daarbij veel koudere medium benodigd vermogen. Het verschil, dat in belangrijke mate tot stand komt als gevolg van de genoemde temperatuurafhankelijkheid van het soortelijk volume, moet relatief groot zijn, opdat bij een niet ideale werking, en die is nooit ideaal, nog een voldoende overschot aanwezig is. Aan de gestelde voorwaarde voldoen alle gassen, maar het beste voldoen, althans in dit opzicht die media, die in het compressingsgedeelte van de kringloop een vloeistof zijn. Geen wonder dus, dat met water het eerste succes werd geboekt, evenwel ten koste van een groot deel van de verdampingswarmte.

Het ligt voor de hand, dat sindsdien voortdurend is gestreefd naar een hogere energieopbrengst per eenheid van toegevoerde warmtehoeveelheid, dus naar een minimum van de verliezen.

De richting voor dit streven wordt in tweeërlei opzicht door de reeds genoemde 2e hoofdwet aangegeven: verhoging van de verhouding tussen de hoogste en de laagste temperatuur in de kringloop en beperking der verliezen. De laagste temperatuur is altijd tenminste die van de omgeving, waarbinnen het kringproces zich afspeelt, blijft dus over verhoging van de hoogste temperatuur met vrijwel onmiddellijk allerlei consequenties met betrekking tot de constructiematerialen, mede omdat vaak de warmtetoevoer dóór die materialen naar de kringloop plaatsvindt. De moeilijkheden zijn althans voor een deel elegant omzeild in de verbrandingsmotoren, door de warmteontwikkeling in het de kringloop doorlopende medium te doen plaatsvinden en dan nog periodiek, terwijl permanente koeling aanwezig is, die evenwel verlies betekent, daar ze thermodynamisch gezien op de verkeerde plaats werkt.

Dat de bestudering van de eigenschappen der actuele en potentiële constructiematerialen en hun technologie van belang is, zal geen nader betoog behoeven. Deze Technische Hogeschool heeft zich hierin een duidelijke en vooral fundamentele taak gesteld.

Zoëven is het woord verliezen al enkele malen gebruikt. Dit eist een nadere toelichting. Ik zou willen afzien van warmteverliezen – ook zij moeten natuurlijk worden bestreden – maar het oog willen richten op de verliezen in de compressie- en expansiegedeelten van de kringloop en op de andere van dezelfde aard. Zij kunnen worden samengevat in het begrip energieontwaarding, dat wil zeggen de overgang van gerichte in niet gerichte energie in de vorm van warmtebeweging. Op deze wijze gedefinieerd is het verlies gelijk aan nul bij een isentropische compressie of expansie. Het is 100% in het bekende smoorproces.

De eerste mechanische energie producerende machines waren alle zuigermachines, de kleinere zijn dat ook nu nog. De compressie- en expansie-processen hierin zijn opvallend goed, wanneer de genoemde definitie van de verliezen als beoordelingsmaatstaf wordt genomen. Een nadere beschouwing leert evenwel, dat het woord opvallend enigszins misplaatst is, omdat moeilijk anders kan worden verwacht. Het proces verloopt immers quasistatisch, de snelheden van het medium langs de cylinderwanden zijn klein, de energiedissipatie is daardoor gering.

Anders is het gesteld met de in- en uitlaatopeningen van de cylinder. Ze zijn van bestuurde afsluitorganen voorzien en mogen

slechts in bepaalde gedeelten van de cylinderwand aanwezig zijn. Beide factoren maken, dat zij niet groot mogen zijn en dus tot hoge stromingssnelheden aanleiding zullen geven. Dit betekent, dat grote schuifspanningen aan de wanden van de nauwe doortochten zullen optreden, die weerstand veroorzaken en zodoende energie-ontwaardend werken.

Waar de druk in stromingsrichting toeneemt dreigt het gevaar, dat de stroming de wand verlaat. Er wordt dan een z.g. vrije straal gevormd met een vrije grenslaag, waarin de dissipatie groot is. Het vermijden daarvan betekent, dat wij inzicht moeten hebben in de stromingsverschijnselen in de onmiddellijke omgeving van de wanden, waar de viscositeitseffecten van overwegend belang zijn, een gebied, dat de grenslaag wordt genoemd. Wanneer de machine snel loopt en dus snel bewegende afsluitorganen – kleppen – bezit, krijgen wij te maken met lopende verdichtings- en verdunningsgolven. Vooral in de eerstgenoemde golven, die de neiging hebben steiler te worden, kan een aanzienlijke smoring optreden. Een goed begrip van de optredende verschijnselen kan niet alleen leiden tot mogelijkheden voor vermindering der verliezen, maar ook tot het verder uitbuiten van een deel van de in een pulserende stroom uitlaatgassen aanwezige energie.

Veel meer nog dan voor de zuigermachines is een beheersing van de stromingsverschijnselen voor de continue werkende turbines van belang. De turbines zijn een noodzakelijk gevolg van de toenemende behoefte aan mechanische en elektrische energie, ook per machine, vooral nadat de elektrotechniek voor een goed energiedistributiëstelsel heeft weten te zorgen. In een zuigermachine met het quasistatisch gedrag van het medium in de cylinders, is de omloopsnelheid van dit medium in de kringloop niet groot. Om die snelheid toch zo groot mogelijk te maken – het geleverde vermogen is daarmee evenredig – moeten zeer grote cylindervolumina worden toegepast. De laatste grote zuigerstoommachines voor de in kruisers en slagschepen gevraagde vermogens waren van gigantische afmetingen. Lage drukcylinders met een slagvolume van ca. 5 m^3 kwamen voor.

De turbine werkt niet alleen continue, maar ook met hoge stromingssnelheden. Beide factoren hebben een gunstig effect op de afmetingen. Dat de stromingssnelheden hoog moeten zijn, volgt uit de eis, die aan de thermodynamische kringloop wordt gesteld ter verkrijging van een hoog rendement, dus een minimum aan ver-

liezen. Die eis is al genoemd: een grote waarde van de verhouding tussen de hoogste en de laagste temperatuur in de kringloop. Die wordt pas werkelijk verkregen, wanneer ook de expansie- en compressieverhouding in de kringloop groot zijn. Het essentiële van een turbine is, dat zij tot taak heeft de kinetische energie van het geëxpandeerde medium (dat in de vorm, waarin de mechanische energie nu aan de kringloop wordt onttrokken) in een bruikbare vorm aflevert, dat wil zeggen als een koppel, arbeid verrichtend op een draaiende as. Om dit te bewerkstelligen moet de snelle stroom medium (gas) op een aantal op die as bevestigde en dus bewegende lichamen een kracht uitoefenen.

De energieontwaarding kan nu onaanvaardbaar groot worden en om dit te voorkomen, moet veel meer aandacht aan de stroming worden gegeven dan in een zuigermachine. De snelheid van het medium, die als gevolg van de noodzakelijk grote expansieverhouding groot is, en de snelheid van de schoepen, zowel absoluut als t.o.v. de gasstroom, zijn van dezelfde orde van grootte. Wederom krijgen wij dus te maken met grote schuifspanningen langs de wanden, maar nu overal. De kinematisch noodzakelijke kromming in de stroming gaat gepaard met drukverschillen, die niet alleen verantwoordelijk zijn voor de nuttige kracht op de schoepen, maar ook voor de allerminst nuttige z.g. secundaire stromingen in samenwerking met de grenslagen.

Ook de gekromde baan van de schoepen draagt het hare ertoe bij. Zelfs al zou het gelukken in eerste instantie een uniforme gasstraal te maken, het gelukt niet, om daaraan op uniforme wijze energie te onttrekken. Altijd is er om constructieve redenen speling tussen de schoepen en de wanden, waarlangs zij bewegen. Daar doorheen kan gas ontwijken zonder energie af te staan. Het stromingsbeeld rond de schoepen wordt er ongunstig door beïnvloed.

Het resultaat van dit alles is een grote energieontwaarding tussen de schoepen en een verre van uniforme snelheidsverdeling, zowel naar richting als grootte, achter de schoepen. Het glad strijken daarvan door de turbulente schuifspanningen gaat met een verdere dissipatie gepaard.

De noodzakelijke grote drukverhouding voert al snel tot snelheden groter dan die van het geluid. Een verhouding 2 is voor gasen reeds meer dan voldoende.

Nu is 2 bepaald weinig, in gasturbines wordt 5 à 15 toegepast, in stoomturbines 1000 en meer. De supersone stroming die wij hier-

mee kunnen verkrijgen is enerzijds wat gemakkelijker te overzien, omdat drukstoringen maar in een deel van het stromingsveld doordringen en niet in het gehele veld, anderzijds treden complicaties op onder meer door het ontstaan van opeenhopingen van positieve drukstoringen, de z.g. schokgolven. Zij veroorzaken niet alleen een direkt verlies, maar kunnen ook het gedrag van de grenslaag ongunstig beïnvloeden. Deze effecten kunnen worden vermeden door de expansie in een aantal elk subsone trappen te laten verlopen met als nevenvoordeel lagere omtrekssnelheden dus lagere spanningen in de constructie.

Hetgeen tot nu toe is gezegd over de turbine geldt ook voor het tegengestelde ervan, de compressor, maar met een karakteristiek verschil. De in een trap van een turbine optredende dissipatie heeft tot gevolg, dat na die trap de temperatuur en het soortelijk volume hoger zijn, dan zij zouden moeten zijn. In de turbine betekent dat, dat de volgende trappen wat meer energie ter beschikking krijgen en een deel van het verlies kunnen compenseren. In de compressor kosten de volgende trappen tengevolge van diezelfde dissipatie meer vermogen. Een complete compressor is dus „slechter” dan elk van haar trappen, een turbine daarentegen „beter”.

Op het nettovermogen van een systeem, waarin beide apparaten zijn opgenomen, wordt zo van twee kanten een aanval gedaan.

Het zal uit het voorgaande duidelijk zijn, dat de beoefenaar van de stromingsleer hier de belangrijkste verdediger is.

Wij dienen nu na te gaan, over welke middelen hij beschikt, hoe die tot stand zijn gekomen en waar kansen bestaan om tot de aanval over te gaan. De middelen in deze strijd zijn nogal vreedzaam en komen neer op „begrijp Uw tegenstander zo goed mogelijk”. Dit is tegelijkertijd ook de aanval. Zij is al enkele eeuwen geleden begonnen met het werk van o.a. Newton, Bernouilli, Euler. Daarop voortbouwend is in de vorige eeuw in grote stijl de z.g. klassieke hydrodynamica geldend voor ideale media opgebouwd door Rayleigh, Navier, Stokes, Lamb en anderen. De direkte toepasbaarheid op praktische stromingsproblemen is evenwel nog niet groot, maar blijkbaar is de hydrodynamica ook zonder veel toepassingsmogelijkheden al interessant.

Intussen wordt ook van de experimentele kant uit aan stromingsproblemen gewerkt, omdat de klassieke theorie niet in staat is een aantal waargenomen verschijnselen te verklaren. De eerste stroom-

goten en windtunnels verschijnen, zoals die van Eiffel en later die van de gebroeders Wright en van Prandtl.

Een belangrijke schakel tussen de klassieke theorie en de werkelijke verschijnselen wordt gevormd door het door Prandtl in 1904 geformuleerde idee van de grenslaag. Dit is de relatief dunne laag onmiddellijk grenzend aan een lichaam, waarlangs een vloeistof of gas stroomt, en waarin de viscositeitseffecten geconcentreerd zijn. Veel tot dan niet begrepen problemen worden duidelijk door inzicht in het gedrag van die grenslaag. De voorwaarde van Kutta Joukowsky, die aangeeft, dat de stroming om een dun lichaam met een scherpe achterrand, langs die rand glad afstroomt, verkrijgt nu een fysische basis. Loslating van de stroming kan worden begrepen, waardoor tevens wegen worden geopend om ze te bestrijden o.a. de bekende grenslaagafzuiging.

Niet alleen worden methoden ontwikkeld om de snelheden van plaats tot plaats in de grenslaag te kunnen berekenen, ook kleine meetinstrumenten worden gemaakt, die het mogelijk maken de details van de stroming experimenteel na te gaan. Burgers en Van der Hegge Zijnen hebben hier in de twintiger jaren met de geringe middelen die in die tijd voor onderzoekingswerk plegen te worden toegestaan, baanbrekend werk verricht. De verdere ontwikkeling van de grenslaagtheorie (von Karman, Tollmien, Schlichting) resulteert o.a. in het voorspellen van het „omslaan” van de stroming van de laminaire in de turbulente vorm door het voor kleine verstoringen instabiel worden van de laminaire grenslaag, wanneer de snelheidsverdeling aan bepaalde voorwaarden voldoet. Deze voorspelling wordt een aantal jaren later op fraaie wijze experimenteel bevestigd door Schubauer en zijn medewerkers in een inmiddels ontwikkelde windtunnel met een zeer lage turbulentie. Deze turbulentie wordt nu zelf onderwerp van diepgaande studie en stelt de aerodynamicus nog steeds voor zeer moeilijke problemen.

Intussen zijn wij al enige tijd aangeland in de nu al enkele tientallen jaren durende periode, waarin de luchtvaart zich, om begrijpelijke redenen, meester heeft gemaakt van de stromingsleer. Steeds ruimere fondsen worden ter beschikking gesteld, steeds grotere aantallen aerodynamici leveren hun bijdragen. Het zal U duidelijk zijn, dat de 2e wereldoorlog en de sinds dien nog steeds heersende internationale spanningen hierop wel enige invloed hadden en hebben.

Ging het eerst nog om lage snelheden, waarbij de compressibili-

teitsinvloed gering is, reeds in het begin van deze eeuw komt de gasdynamica, als deel van de stromingsleer op, waarbij de snelheden zo groot zijn, dat de compressibiliteit en temperatuurveranderingen grote invloed hebben. De relaties met de toepassing in stoomturbines zijn nauw, maar al spoedig wordt ook hier het tempo van de ontwikkeling bepaald door dat van de luchtvaart.

Wij moeten helaas constateren, dat de machineïndustrie hier het initiatief heeft verloren. Ten dele is dit begrijpelijk, daar succes en mislukking minder dicht bij elkaar liggen en misschien wat minder door de verworven inzichten en toepassingen van de stromingsleer worden bepaald dan in de luchtvaart. Toch kan ik de gedachte niet van mij afzetten, dat een wat grotere activiteit wel op haar plaats zou zijn geweest. Beleggingen in goede onderzoeks- en ontwikkelingslaboratoria zijn tot nu toe nog altijd tamelijk rendabel gebleken.

De in stromingslaboratoria ten behoeve van de luchtvaart geïnvesteerde bedragen zijn evenwel bijzonder groot. Het meest in het oog springende instrument, de windtunnel, met zijn uitrusting, vergt soms een enorm bedrag. Tunnels met een kostprijs van 10^7 à 10^8 guldens en meer komen voor. Nu zou ik mij in dit verband aan een korte beschouwing willen wagen. De windtunnel ontleent haar nut aan twee hoofdfactoren:

- 1e. Bij een goede kwaliteit van de stroming en een goede regelbaarheid kunnen onderzoeken aan stromingsverschijnselen in het algemeen onder goed gecontroleerde omstandigheden plaatsvinden.
- 2e. Ten behoeve van het stromingstechnisch ontwikkelingswerk kunnen gedrag en eigenschappen van een te ontwikkelen apparaat b.v. een vliegtuig, op veilige en goedkope wijze uit metingen aan een verkleind model van dat apparaat worden afgeleid.

Deze procedure heeft slechts zin, wanneer men de vertaling van model naar ware grootte kent. Naast allerlei correcties o.a. die voor het begrensd zijn van het stromingsveld, moet ook de invloed van de schaalwaarde met voldoende nauwkeurigheid bekend zijn. Deze moet uiteindelijk komen uit het inzicht in de verschijnselen.

Naarmate model en tunnel groter zijn, is het te overbruggen verschil kleiner en kan de nauwkeurigheid van de vertaling dus wat kleiner zijn. Laten wij nu het „nut” van de tunnel ruwweg evenredig stellen met de lineaire afmetingen van het model, dus van de

tunnel. De kosten zijn evenredig met de 2e à 3e zo niet een nog hogere macht daarvan, tenminste boven een zeker bedrag, waar beneden de bruikbaarheid vrijwel nul is. Bij de nu toegepaste afmetingen van de tunnels en de daarbijbehorende geïnstalleerde vermogens komt een vergroting de hanteerbaarheid van de installatie bepaald niet ten goede, zodat de hierboven gestelde evenredigheid tussen nut en afmetingen wel eens erg optimistisch zou kunnen zijn.

In de buurt van bovengenoemde bedragen kost een toename van het nut van misschien enkele procenten een bedrag van de orde van 10 aerodynamicus eeuw salaris. Ik vraag mij wel eens af, of besteding van een dergelijk bedrag in de laatste vorm niet wat rendabeler zou kunnen zijn. Uit deze gedachtengang zult U kunnen afleiden, dat mijn beroep op de financiële middelen van deze Technische Hogeschool wat bescheidener is.

Vanzelfsprekend is de grote door velen geleverde inspanning van grote invloed op de snelheid van ontwikkeling van de stromingsleer, hoewel zij misschien aan breedte, de toespitsing op een groot aantal toepassingen, meer heeft gewonnen, dan aan diepte. Dat de specialisatie ook aan haar trekken is gekomen, behoeft geen betoog. Wij zien, dat naast de door de machinebouw, scheepsbouw en vliegtuigbouw geïnspireerde ontwikkeling van de stromingsleer andere richtingen zijn ontstaan, zoals die geïnspireerd door de waterbouwkunde en door de fysische en chemische techniek. Heeft de laatste altijd al wat meer contact met andere natuurkundige verschijnselen gehad, zoals warmte- en stofoverdracht, ook bij de eerste worden de ontmoetingen daarmee en met nog vele andere zaken steeds veelvuldiger. Niet alleen is dit het geval bij de experimentele technieken, maar ook in verband met de stromingsverschijnselen zelf. Wij behoeven slechts te denken aan de raketten met hun hoge snelheden en de erbij optredende temperaturen, die tot ionisatie kunnen leiden, waardoor de stroming beïnvloedbaar wordt door magnetische en elektrische velden.

Een verdere kortsluiting tussen specialisaties en vakgebieden kan nog wijde perspectieven openen.

Aan de specialisatie zelf zijn al vele beschouwingen gewijd. Zij heeft onmiskenbare voordelen, roept echter ook gevoelens van onbehagen op. Het moet bovendien zeer de vraag worden geacht, of een toenemende specialisatie altijd een toenemend rendement zal blijven betekenen.

Het wordt moeilijker kennis te nemen van wat op eigen en verwant gebied gebeurt, verder wordt nogal een dubbel werk verricht. Dit is overigens niet altijd een nadeel, want volmaakt identiek is het vrijwel nooit. Wij krijgen echter te maken met steeds grotere groepen specialisten, bijna detaillisten, per onderzoek, ontwikkeling of constructie. Dit alles geeft aanleiding tot het verschijnen van het gehele gamma van referatentijdschriften, coördinatie, straffere organisatie, overkoepelende organen, supraorganen, adviserende colleges in diverse schakeringen, commissies, administraties, middelen voor het onderlinge contact en de registratie daarvan en zo voort, die de moderne samenleving kenmerken.

Hoe nuttig ook, wij dienen in het oog te houden, dat zij bemand moeten worden en derhalve mensen aan het eigenlijke werk onttrekken. Ik geloof, dat het moeilijk is om in te zien, dat hier de wet van de verminderende meeropbrengst niet zou gelden. Tenslotte is de voorraad, waaruit kan worden geput eindig, zodat een ongeëlimiteerde voortgang wel eens het weinig fleurige beeld van een doorenamens ons allen perfect georganiseerd en geadmistreerd niets zou kunnen opleveren. Er zal wel ergens een optimum liggen of een minimum aan „verlies”, dat het nastreven waard is, voor zover het tenminste correspondeert met een maximum aan menselijk geluk.

Het lijkt waarschijnlijk, dat het minimum te beïnvloeden is door de uiterste klaarheid en eenvoud te betrachten en het begrip delegeren niet te veronachtzamen. Het automatiseren van bepaalde werkzaamheden, hoe geniaal ook, behoeft niet altijd de voorkeur te hebben boven het weglaten ervan. De techniek kent hiervan voldoende voorbeelden.

Het zojuist ietwat somber geschilderde vooruitzicht biedt nog een andere minder vrolijke kant: de afnemende vrijheid. Met die vrijheid bedoel ik niet het „doe wat je wilt”, maar wel, en dit vooral op het terrein van onderzoek en ontwikkeling, de vrijheid tot het aanpakken van een probleem op basis van „het lijkt me zo interessant en ik zie er wel wat in, maar wat dat precies is, kan ik nog niet zeggen”. Een zekere mate van zelfbeperking, die een onderzoeker met een goede instelling nauwelijks als vrijheidsbeperking behoeft te voelen, mag wel worden geëist. Er zijn in dit verband een paar kernachtige uitspraken uit Amerikaanse bron, die ik U niet wil onthouden, n.l.

“The best way to do research is to pick a good man and back him heavily” en “Research is Personal”.

Vooral de laatste verdient enige aandacht, juist omdat ze afkomstig is uit een land, waar enig begrip voor teamwork en organisatie bestaat. Het nut van het team zal niemand ontkennen, maar wij moeten bedenken dat de inspiratie en de vonk van het begrijpen persoonlijk is. Ik geloof stellig dat de mens primair is, niet de om utiliteitsredenen geformeerde groep.

Geachte Toehoorders,

In het voorgaande heb ik getracht U een ruwe schets te geven van de ontwikkeling van de stromingsleer en van haar belang in de strijd om het minimum. Ik heb mij verstout enkele opmerkingen te maken over consequenties van specialisatie, meer om discussie uit te lokken, dan om een afgerond standpunt te geven. Daarvoor is de materie te gecompliceerd en eist veel meer kennis van zaken dan waarover ik beschik.

U zult misschien hebben opgemerkt, dat bij de beschouwing over de verliezen in machines de nadruk geheel op de aerothermodynamische kant lag. Wellicht overweegt U dat de ingenieur, hoe vaak hij hiermee ook te maken krijgt, nog meer zal dienen na te denken over de minimum kostprijs, die wel eens tot andere resultaten zou kunnen leiden.

Is deze overweging reëel? Is er wel verschil? Ik zou een poging willen doen de standpunten wat tot elkaar te brengen en wel door wat vrij vertaald te doen, wat de thermodynamica voorschrijft n.l. een afgesloten systeem te nemen of wel zeer nauwkeurig te letten op eventuele in- en uitgangen. Welnu, eenvoudigheidshalve (hoe moeten wij met dit woord oppassen) is dit in de voorafgaande beschouwingen lang niet voldoende gebeurd. Wij moeten, nog steeds in de vrije vertaling de wanden, die de kringloop omsluiten ook in de energiehuishouding betrekken. Zij bevatten een hoeveelheid energie, nodig voor winning, bereiding en vervoer van ertsen, reductie van die ertsen verdere bewerkingen, veel menselijke arbeid, U zet de rij maar voort. De som van dit alles zouden wij met enige fantasie en na vertaling de kostprijs van de machine kunnen noemen. Op de juiste wijze in rekening gebracht samen met andere zaken als onderhoud enz., die in wezen geen ander karakter hebben, levert zij het rendement zowel in technisch-wetenschappelijke als in economische zin. Het zo vaak naar voren gebrachte verschil zie ik als een pseudoverschil.

De al meer gebezigde uitdrukkingen: uitgebreidheid voor het vakgebied, specialisatie en wat dies meer zij leiden tot de al in het begin van mijn rede opgeworpen vraag over de omvang van de behandeling van de stromingsleer aan deze Technische Hogeschool.

Daarvoor aantegeven, dat zeeen bepaald gering aantal semesteruren college en oefenmiddagen in het 3e, 4e en 5e studiejaar moet zijn, zegt waarschijnlijk niet veel meer dan haar te stellen op een mensenleeftijd.

Van veel meer belang is de geest, waarin het vak wordt beoefend en beleefd. Niets is bereikt, hoe uitgebreid ook de behandelde stof, indien zij slechts braaf wordt bestudeerd wegens haar grote nut voor het verwerven van tentamen- of examenbriefje.

Veel, zo niet alles is bereikt, wanneer de verwondering over de interessante verschijnselen, de wil om ze te begrijpen, de vindingrijkheid en het vaak zo rijk beloonde uithoudingsvermogen nodig voor het op elegante wijze kunnen toepassen van verworven inzicht, worden aangewakkerd.

Ik hoop in staat te zijn bij U, *Dames en Heren Studenten* aan deze Technische Hogeschool deze zaken te kunnen aanwakkeren.

Het jachtgebied is groot en gevarieerd, voor een groot deel is het nog niet geëxploreerd. Aan U de taak U zelf te voorzien van wapens en gereedschappen voor het maken van nieuwe wapens. Vergeet niet de belangstelling en het inzicht in de mens en de samenleving, waarvoor U mede verantwoordelijkheid krijgt te dragen.

Ik wens U een interessante jacht.

Aan het einde van mijn rede gekomen, spreek ik mijn eerbiedige dank uit jegens *Hare Majesteit de Koningin*, wie het heeft behaagd mij te benoemen tot gewoon hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Eindhoven.

Mijne Heren Curatoren,

Voor het vertrouwen, dat U mij hebt geschonken door mij voor deze benoeming voor te dragen, ben ik U zeer erkentelijk. Ik hoop dit vertrouwen waardig te zijn.

Mijnheer de Rector Magnificus, mijne heren leden en 'adviseurs' van de Senaat dezer hogeschool,

Het is een eer en een voorrecht opgenomen te worden in een kring als de Senaat van een hogeschool of universiteit. In deze hoge-

school is het tevens een genoegen. Het nog in staat van wording verkeren van onderzoek, onderwijs, bouw en inrichting van de gebouwen, de inspanning, die van velen wordt gevraagd, om het bijna onmogelijke tot stand te helpen brengen, dit alles geeft aan de Hogeschool een dynamisch karakter. De intensieve contacten, die grenzen tussen afdelingen doen vervagen, zijn een kostelijk goed, waarvan onderzoek en onderwijs de voordelen kunnen genieten. Ik hoop hierin een klein steentje te kunnen bijdragen. Dat ik uit de grote ervaring van U allen mag putten, behoef ik niet te hopen, ik weet het zeker.

Waarde Zwikker,

Onze eerste kennismaking is al van oude datum en was nogal éenzijdig, n.l. mijnerzijds als één der honderden eerstejaars studenten in Delft. De tweede kennismaking vond haar begin ruim zes jaar geleden op het Nationaal Luchtvaartlaboratorium te Amsterdam. Ondanks mijn vertrek van daar is ons contact gelukkig nooit verloren gegaan en aan deze Hogeschool weer nauwer aangehaald.

Voor de vriendschappelijke wijze waarop U mij altijd tegemoet zijt getreden en waardoor mijn intrede in de T.H.-gemeenschap zo zeer is vergemakkelijkt, ben ik U zeer erkentelijk.

Mijne heren hoogleraren en medewerkers van de afdeling W der T.H. te Delft,

Het is een voorrecht van deze plaats af mijn dankbaarheid uit te spreken voor het aandeel, dat U in mijn opleiding hebt gehad. Speciaal naar U Hooggeleerde Biezeno en Burgers gaat mijn dank uit voor de wijze, waarop U Uw enthousiasme wist over te dragen op de studenten, waartoe ik mocht behoren.

Hooggeleerde Ter Linden,

Behalve als leermeester bij mijn afstuderen, waarbij ik menige nuttige ervaring mocht opdoen, bent U ook in een meer persoonlijk vlak tot grote steun geweest. U wachtte nooit een dankbetuiging af, en verdween altijd zo spoedig mogelijk. Mijn dank staat hier gedrukt, U kunt haar niet ontwijken. Ik stel er een eer in ook U, waarde Buiskool, hierin te betrekken.

Mijne heren hoogleraren en medewerkers van het laboratorium voor aero- en hydrodynamica van de T.H. te Delft,

De contacten, die ik regelmatig met U heb gehad en die naar ik hoop, nog zullen worden versterkt, stel ik zeer op prijs. De niet geringe voordelen hiervan zijn tot nu toe geheel aan onze kant geweest. Ik hoop in staat te zijn, U het antwoord niet schuldig te blijven.

Waarde Timman,

Onze gesprekken werden en worden vaak gekenmerkt door het opzetten van bomen, een bij uitstek niet stromingstechnische bezigheid, afgezien van de bestudering van de bewegingen van de erbij geproduceerde rookwolken. Ik ben voor Uw vriendschap en voor de interessante gesprekken, doorspekt met menige goede raad zeer dankbaar.

Waarde Vrienden van het Nationaal Luchtvaartlaboratorium,

Meer dan 12 jaar heb ik met velen Uwer mogen samenwerken. Mijn opleiding heeft bij U haar voortzetting gekregen niet in het minst onder de leiding van de te vroeg overleden directeur de heer *Koning*, die zowel door zijn vriendschap als door de elegante wijze waarop hij de stromingsleer wist te beoefenen en dit over te dragen, zeer veel voor mij heeft betekend. Ik beschouw het als een grote eer tot zijn laatste dagen, die hem niet gemakkelijk werden gemaakt, tot zijn vrienden te hebben behoord.

Mijne heren leden van de directie van de Staatsmijnen, Vrienden en medewerkers van het Centraal Proefstation en daarbuiten,

In de 5 jaar, die ik bij de Staatsmijnen heb doorgebracht, heb ik gemerkt, hoeveel vrijheid in een voortvarend geleid groot bedrijf als het Uwe kan heersen. Onderzoek en ontwikkeling zijn bij U niet slechts nuttige en ernstige werkzaamheden, maar ook spannende avonturen, die in kameraadschappelijke samenwerking worden beleefd, gelukkig niet zonder de nodige botsingen van meningen. Tot dit leven in de brouwerij draagt U, *waarde van Os* in niet geringe mate bij. Een ontmoeting met U en Uw scherpzinnige, stimulerende soms overrompelende benadering van de problemen waarvoor U Uzelf en het Centraal Proefstation stelt, vergeet men niet licht.

Voor de evenwichtige en zeer efficiënte wijze, waarop U, waarde *De Braaf* met een voor deze tijd opmerkelijk laag papierverbruik het soms nogal turbulente Centraal Proefstation leidt, heb ik groot respect. U allen in het Centraal Proefstation en daarbuiten, hebt door Uw vriendschap mijn werkring wel tot een zeer prettige gemaakt. Ik prijs mij daarom gelukkig, dat onze contacten allerm minst verbroken zijn.

Ik dank U voor Uw aandacht.