



**Centrum voor Wiskunde en Informatica**  
Centre for Mathematics and Computer Science

## **Wetenschap in bedrijf**

**onder redactie van**  
**W.A.M. Aspers**  
**H.M. Nieland**



## CWI Publications

### Managing Editors

J.W. de Bakker (CWI, Amsterdam)  
M. Hazewinkel (CWI, Amsterdam)  
J.K. Lenstra (CWI, Amsterdam)

### Editorial Board

W. Albers (Maastricht)  
P.C. Baayen (Amsterdam)  
R.T. Boute (Nijmegen)  
E.M. de Jager (Amsterdam)  
M.A. Kaashoek (Amsterdam)  
M.S. Keane (Delft)  
J.P.C. Kleijnen (Tilburg)  
H. Kwakernaak (Enschede)  
J. van Leeuwen (Utrecht)  
P.W.H. Lemmens (Utrecht)  
M. van der Put (Groningen)  
M. Rem (Eindhoven)  
A.H.G. Rinnooy Kan (Rotterdam)  
M.N. Spijker (Leiden)

### **Centrum voor Wiskunde en Informatica**

Centre for Mathematics and Computer Science  
P.O. Box 4079, 1009 AB Amsterdam, The Netherlands

The CWI is a research institute of the Stichting Mathematisch Centrum, which was founded on February 11, 1946, as a nonprofit institution aiming at the promotion of mathematics, computer science, and their applications. It is sponsored by the Dutch Government through the Netherlands Organization for the Advancement of Pure Research (Z.W.O.).



**Centrum voor Wiskunde en Informatica**  
Centre for Mathematics and Computer Science

## **Wetenschap in bedrijf**

**onder redactie van**

**W.A.M. Aspers**

**H.M. Nieland**



ISBN 90 6196 315 X

Copyright © 1987, Stichting Mathematisch Centrum, Amsterdam  
Printed in the Netherlands

## Voorwoord

Toen de Stichting Mathematisch Centrum zich opmaakte om met gepaste trots haar 40-jarig jubileum te vieren, deed zich natuurlijk de vraag voor op welke wijze dat het beste kon gebeuren. Voor diegenen die de ontwikkeling van de Stichting in de loop van deze jaren hebben gevolgd, wekt het geen verbazing dat als belangrijk onderdeel daarvan een symposium werd georganiseerd over de relatie tussen fundamenteel onderzoek in de wiskunde en informatica enerzijds en het nut daarvan voor het bedrijfsleven anderzijds. Immers, reeds bij de oprichting op 11 februari 1946 werd als een der doelstellingen van de Stichting omschreven 'het dienstbaar maken van de resultaten van wiskundig onderzoek aan de samenleving'. Daaraan is in de loop der jaren op verschillende wijze gestalte gegeven. Uit de begintijd van de Stichting wil ik hier noemen het ontwerp van de eerste Nederlandse rekenmachine (ARRA) en diverse onderzoeken in het kader van het Deltaplan. Een recent voorbeeld is een praktische oplossing voor het routeren van voertuigen door middel van interactie met de computer.

In de jaren tachtig leidde de sterk groeiende rol van de informatica tot het besluit van de overheid om in het kader van het Informatica-Stimuleringsplan het onderzoeksinstituut van de Stichting, het Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI) te Amsterdam, de gelegenheid te bieden uit te groeien tot toonaangevend centrum voor informatica-onderzoek in Nederland. Deze ontwikkeling vormde een andere goede aanleiding om de wisselwerking tussen fundamenteel onderzoek en bedrijfsleven ook op dit gebied nader aandacht te geven.

Naar de stellige overtuiging van het Curatorium van de Stichting Mathematisch Centrum is een gezonde ontwikkeling van het informatica-onderzoek echter slechts mogelijk als die hand in hand gaat met het

wiskunde-onderzoek, met name in fundamentele zin. Wij mogen ons gelukkig prijzen dat deze voorwaarde bij het CWI in hoge mate vervuld is.

Dit boekje bevat de voordrachten van het symposium 'Wetenschap in Bedrijf', gehouden op 11 juni 1986 op het jubilerende CWI. Sprekers zowel als deelnemers waren afkomstig uit de wereld van de overheid, het bedrijfsleven en het onderzoek. De uitgenodigde sprekers bekleedden allen topposities op hun gebied: de minister van Onderwijs en Wetenschappen drs. W.J. Deetman, de voorzitter der hoofddirectie van Philips Nederland mr.ir. F.C. Rauwenhoff, het hoofd Internationale Research van Shell dr.ir. H.L. Beckers en de directeur van de Nederlandse organisatie voor zuiver-wetenschappelijk onderzoek ZWO prof.dr. H.J. van der Molen. De Stichting Mathematisch Centrum was vertegenwoordigd door de wetenschappelijk directeur van het CWI prof.dr. P.C. Baayen en de chef van een der onderzoeksafdelingen prof. L.G.L.T. Meertens. Met voldoening constateerde ik dat het belang, dat aan dit symposium werd gehecht, mede tot uiting kwam in de aanwezigheid van een aantal belangrijke personen uit bovengenoemde sectoren. De deelnemers kregen een programma aangeboden, waarin het raakvlak tussen fundamenteel onderzoek en toepassingen daarvan in een industriële omgeving van diverse kanten werd belicht. De inhoud van de volgende bladzijden zal u ervan overtuigen hoe veelvormig en veelkleurig de activiteiten op dit gebied kunnen zijn.

**PROF.DR.IR. P.J. ZANDBERGEN**  
Voorzitter Curatorium Stichting Mathematisch Centrum

# Inhoud

Wiskunde, informatica en overheidsbeleid	1
<i>W.J. Deetman</i>	
Het belang van fundamenteel onderzoek in wiskunde en informatica	11
<i>F.C. Rauwenhoff</i>	
Rekenen en industrie	19
<i>H.L. Beckers</i>	
Strategie voor onderzoek	31
<i>P.C. Baayen</i>	
Case studies van CWI Onderzoek	43
<i>L.G.L.T. Meertens</i>	
Slottoespraak	71
<i>H.J. van der Molen</i>	





# Wiskunde, Informatica en Overheidsbeleid

Drs. W.J. Deetman<sup>1</sup>

*Minister van Onderwijs en Wetenschappen*

Dames en Heren,

Op 11 februari 1946, vandaag precies veertig jaar en vier maanden geleden, verschenen voor notaris Abma in Amsterdam twee hoogleraren in de wiskunde, die elk in het bezit waren van volmachten van nog twee andere professoren. Deze zes comparanten, de heren Van der Corput, Van Dantzig, Koksmas, Kramers, Minnaert en Schouten, verklaarden ieder van hun vermogen een bedrag van vijftiengulden te hebben afgezonderd teneinde met het aldus verkregen kapitaal van 150 gulden een stichting in het leven te roepen onder de naam 'Mathematisch Centrum'. Een voor de huidige tijd wel bijzonder bescheiden financieel begin, maar wellicht passend in de periode van het tientje van Lieftinck, toen de gulden nog een daalder waard was.

Het was niet alleen particulier initiatief dat leidde tot de oprichting van de Stichting Mathematisch Centrum (SMC). De minister van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen in het eerste na-oorlogse kabinet, prof.dr. G. van der Leeuw, speelde in de ontstaansgeschiedenis een belangrijke rol.

De tijd was er een van opbouw en van geloof in vernieuwing. Minister Van der Leeuw was een visionair man, die in korte tijd enorm veel wist te bereiken. In zijn vernieuwingsplannen moest de wetenschap dienstbaar worden aan de maatschappij door een leidende rol op zich te nemen. Een leidende rol voor de wetenschap door het geven van geestelijke leiding aan de samenleving, door in contact te treden met de maatschappij en in het bijzonder de industrie en door

1. Namens hem uitgesproken door dr. E. van Spiegel, directeur-generaal voor het wetenschapsbeleid.

in onderlinge samenwerking de Nederlandse wetenschapsbeoefening terug te brengen op een hoog internationaal niveau.

Dit geloof in vooruitgang en culturele verheffing, stoelend op de wetenschap, vond een gewillig oor bij Van der Leeuws collega's in het kabinet. Men was overtuigd van het cruciale belang van juist de zuivere wetenschap en men erkende de stimulerende rol die de overheid daarbij moest spelen.

In deze opmars van de wetenschappen liep de wiskunde voorop. Reeds op 13 september 1945 kon Van der Leeuw in een bespreking met minister-president Schermerhorn melding maken van gesprekken met zijn Groningse mede-hoogleraren Coster en Van der Corput, die hem hadden gewezen op de kennelijke achterstand die Nederland in de oorlogsjaren had opgelopen in de natuurkunde en de wiskunde. In deze bijeenkomst werd de gedachte besproken voor het niet op toepassing gerichte onderzoek een soortgelijke inspanning te ontwikkelen als voor het toegepaste onderzoek met de oprichting van de Nederlandse organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) in 1930 was gebeurd. Hiermee werd de kiem gelegd voor de Nederlandse organisatie voor zuiver-wetenschappelijk onderzoek (ZWO) [1].

Met betrekking tot de wiskunde ging minister Van der Leeuw wel zéér snel verder. Op 26 oktober 1945 installeerde hij de Commissie voor de Coördinatie van het Hooger Onderwijs in de Wiskunde in Nederland. Een commissie bemand door de zes al eerder genoemde hoogleraren en onder voorzitterschap van prof. Van der Corput. Deze commissie kreeg een adviserende en coördinerende taak. Haar voornaamste opdracht luidde echter: 'De bestudering van de vraag of het mogelijk en wenschelijk is, in Nederland een centrum voor wetenschappelijke wiskundige werkzaamheid te doen ontstaan, en tevens, midde-len te beramen om nauwer contact te leggen tussen de zuivere wiskunde en hare toepassingen op andere gebieden'. Dit was een verstrekkende en bijzonder duidelijke opdracht: de minister wist wat hij wilde.

De commissie ontplooidde, voor onze huidige begrippen, verrassend snel activiteiten. In november 1945 stonden concrete plannen voor een instituut al op papier en in februari 1946 was de oprichting van de Stichting Mathematisch Centrum (SMC) een feit. Vanaf het begin had het Mathematisch Centrum vier afdelingen: zuivere wiskunde, toegepaste wiskunde, mathematische statistiek en numerieke wiskunde. Op dit laatste gebied stond men aanvankelijk wat onwennig, hoewel men het gevoel had dat juist de rekenafdeling zeer belangrijk kon worden [2]. Het was van het begin af duidelijk dat het Mathematisch Centrum een elektronische rekenmachine moest bezitten, ter ondersteuning van het eigen onderzoek en ten behoeve van de dienstverlening. Deze moest men echter wel zelf ontwerpen en bouwen; met het doorkijken van brochures van fabrikanten kon in die tijd niet worden volstaan.

Na de voltooiing van de eerste automatische rekenmachine voltrok zich meteen een driedeling van de Rekenafdeling. Een splitsing in wat we nu respectievelijk numerieke wiskunde, programmatuur en apparatuur zouden noemen. Ten eerste kwam er een sub-afdeling voor de oplossing van de eigenlijke numerieke problemen die aan de afdeling gesteld werden of die men zichzelf stelde. Daar werden later onder meer voor Rijkswaterstaat berekeningen

STICHTING

H e d e n den elfden Februari negentienhonderd zes en veertig, verschenen voor mij, Klaas Abma, notaris te Amsterdam, de heeren: -----

1. Professor Doctor Johannes Gualtherus van der Corput, hoogleeraar, wonende te Amsterdam, ten deze handelende: -----
  - a. voor zich; -----
  - b. als lasthebber van: -----
    - I. den heer Professor Doctor Jurien Ferdinand Kokema, hoogleeraar, wonende te Amsterdam; -----
    - II. den heer Professor Doctor Hendrik Anthony Kraemer, hoogleeraar, wonende te Oegstgeest; -----
2. Professor Doctor David van Dantzig, hoogleeraar, wonende te Amsterdam, ten deze handelende: -----
  - a. voor zich; -----
  - b. als lasthebber van: -----
    - I. den heer Professor Doctor Marcel Gilles Jozef Linaert, hoogleeraar, wonende te Utrecht; -----
    - II. den heer Professor Doctor Jan Arnoldus Schouten, oud-hoogleeraar, wonende te Epe; -----

blijkende van voormelde lastgevingen uit vier onderhandsche volmachten, welke, na door de lasthebbers in tegenwoordigheid der getuigen en van mij, notaris, voor echt te zijn erkend en ten blijke daarvan door hen allen geteekend te zijn, aan deze akte zijn gehecht. -----

FIGUUR 1. *Op 11 februari 1946 was de oprichting van de Stichting Mathematisch Centrum een feit*

uitgevoerd voor de uitvoering van de Deltawerken. Op een tweede sub-afdeling werden de programma's geschreven waarmee de problemen op de elektronische rekenmachines konden worden doorgerekend. Als derde sub-afdeling kwam er een constructie-afdeling waar nieuwe machines werden ontworpen en gebouwd.

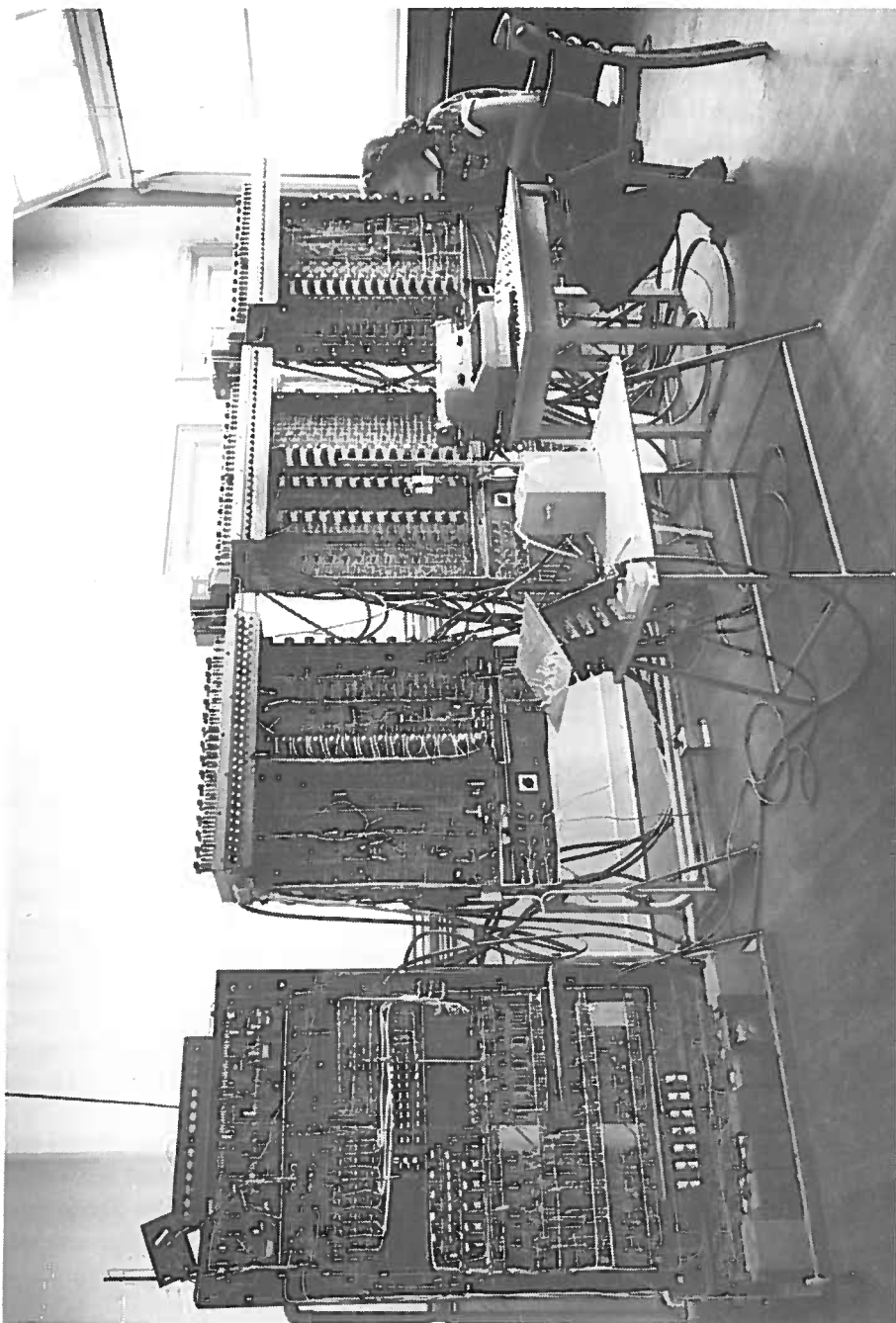
De eerste rekenmachine was de ARRA, de Automatische Relais Rekenmachine Amsterdam. Dit was tevens een van de eerste machines op het Europese continent; niet alleen in Nederland liep het Mathematisch Centrum immers voorop. Deze ARRA werd gevolgd door de ARRA II, die al geheel elektronisch was. Van een machine van dit type heeft Fokker gebruik gemaakt bij het ontwikkelen van de Friendship. En met succes, want zoals u weet, gaat de Friendship pas nu uit productie. De ARRA II zelf was echter niet zo'n lang leven beschoren, want deze werd al in 1956 opgevolgd door de ARMAC (Automatische Rekenmachine Mathematisch Centrum), die op haar beurt in 1960 plaats moest maken voor de X1.

Deze laatste machine trok in kringen buiten het Mathematisch Centrum ruime aandacht. Diverse machines van dit type zijn in binnen- en buitenland gebruikt. Daarmee had het Mathematisch Centrum een computerindustrie in huis gekregen, hetgeen natuurlijk op den duur niet te rijmen was met de doelstelling van de stichting. Daarom werd een aparte NV opgericht, de NV Elektrologica. Het Mathematisch Centrum werd daarmee de moeder van de eerste Nederlandse computerindustrie.

Niet alleen bij het bouwen van rekenmachines maar ook bij het gebruik ervan voltrok zich een dergelijke ontwikkeling. De rekenafdeling exploiteerde een rekencentrum, waar grote hoeveelheden berekeningen werden verricht voor de Universiteit van Amsterdam, de Vrije Universiteit, FOM (Nederlandse organisatie voor fundamenteel onderzoek der materie), het toenmalige IKO (nu NIKHEF, het Nationaal Instituut voor Kernfysica (K) en Hoge-Energiefysica (H)), de industrie en natuurlijk voor het Mathematisch Centrum zelf. Net als bij de constructie-afdeling dreigde hier het gevaar dat een niet-wetenschappelijke taak, namelijk het exploiteren van een rekencentrum, een onevenredige omvang binnen het instituut zou aannemen. Het gevolg was een nieuwe afsplitsing. Op 11 juni 1971, vandaag precies vijftien jaar geleden, werd SARA, de Stichting Academisch Rekencentrum Amsterdam, opgericht.

Een van de vakgebieden waarop het Mathematisch Centrum na het verdwijnen van de constructie-afdeling de vrijgekomen energie kon richten, was de programmatuur. De ontwikkeling van de programmeertalen ALGOL 60 en ALGOL 68 was een belangrijke stap in de geschiedenis van de informatica.

Informatica bleef steeds een vaste plaats houden in het Mathematisch Centrum. In het begin van de jaren tachtig werd de koers openlijk meer in die richting verlegd. De naamsverandering van het instituut van de stichting, dat vanaf 1 november 1983 als Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI) door het leven gaat, is hiervan een teken. En, als voorlopig laatste mijlpaal, werd in 1984 het Centrum voor Wiskunde en Informatica in het kader van het Informatica-Stimuleringsplan van de overheid uitgeroepen tot de plek in Nederland die zou moeten uitgroeien tot een nationaal toonaangevend centrum op het gebied van fundamenteel en toepassingsgericht informatica-onderzoek.



FIGUUR 2. *De ARRA*

Tot nu toe heb ik vrij uitgebreid stilgestaan bij de geschiedenis van de Stichting Mathematisch Centrum. Jubilea zijn natuurlijk een uitgekozen gelegenheid om eens om te zien naar het verleden. Maar ze zijn er vooral om naar de toekomst te kijken. Bij dit symposium is dat ook zeker de bedoeling, als ik kijk naar de vraagstellingen die zijn meegegeven. Welke betekenis kan fundamenteel onderzoek in de wiskunde en informatica, zowel zuiver-wetenschappelijk als toepassingsgericht, hebben voor de overheid en de industrie? Hoe is de situatie nationaal en internationaal en welke ontwikkelingen zijn te verwachten? Welke rol kan en moet een instituut als het Centrum voor Wiskunde en Informatica hierbij spelen?

Als ik op die vragen in ga, grijp ik toch eerst weer terug in de geschiedenis. De ideeën en de discussies die in 1946 ten grondslag lagen aan de oprichting van de Stichting Mathematisch Centrum, zijn namelijk veertig jaar later nog (of misschien moet ik zeggen: weer) verrassend actueel. In de stichtingsacte wordt voor het Mathematisch Centrum een tweeledig doel geformuleerd:

*‘de stichting (...) heeft ten doel de systematische beoefening van de zuivere en toegepaste wiskunde in Nederland te bevorderen, teneinde daardoor enerzijds de bijdragen van deze gebieden van wetenschap tot de verhoging van het welvaarts- en beschavingspeil in Nederland, anderzijds de bijdrage van Nederland tot de internationale cultuur te verhogen’.*

Deze formulering wordt begrijpelijk als men weet dat de filosofie achter het Mathematisch Centrum is ontstaan uit de samensmelting van de ideeën van de twee voornaamste oprichters, Van der Corput en Van Dantzig [3].

Van der Corput had de ambitie in Nederland de functie van het vooroorlogse Göttingen over te nemen, het centrum van wiskundig Europa. Later heet het: ‘De bijdrage van Nederland aan de internationale cultuur te vergroten’. Als men de wiskunde als een cultuurgoed zonder meer beschouwt, dan bestaat de bijdrage aan de cultuur uit het koesteren van dit goed: wiskunde beoefenen op hoog peil. Dat wilde Van der Corput zeker, maar zijn ideeën gingen verder. Anderen moesten in contact gebracht worden met dit cultuurgoed en leren er hun voordeel mee te doen. Wiskundigen waren in zijn ogen aan de gemeenschap verplicht hun kennis uit te dragen.

Van Dantzig volgde een andere gedachtenlijn. Hij onderkende op allerlei terreinen een grote behoefte aan wiskundigen en wel wiskundigen met een op de praktijk toegespitste opleiding. Al voor de oorlog pleitte hij in de Technische Hogeschool in Delft voor zo’n opleiding en voor een wiskundige serviceafdeling. Hij vond toen geen gehoor: de opleiding tot wiskundig ingenieur is pas in 1956 tot stand gekomen, in dezelfde periode dat op de TH de Wiskundige Dienst en later het Rekencentrum werden opgericht. In het Mathematisch Centrum zijn de ideeën van Van Dantzig juist wel gerealiseerd. Van hem kwam de gedachte aan een afzonderlijk instituut voor zuivere en toegepaste wiskunde. Hij wilde afgestudeerde wiskundigen een ander

perspectief bieden dan de baan van leraar. Hij was het die met de gedachte kwam steun te zoeken bij het bedrijfsleven door opdrachten uit te voeren, de gedachte om de maatschappelijke functie van de wiskunde te gelde te maken.

Twee visies dus. Enerzijds wiskunde als cultuurfactor, dat wil zeggen: wiskunde, zoals ze is, toepassen en op hoog niveau beoefenen. Anderzijds wiskunde als produktiefactor: wiskunde speelt mee in het economisch leven, nieuwe takken van wiskunde worden economisch ten nutte gemaakt. Wat betekenen deze twee visies veertig jaar later?

Wiskunde als cultuurgoed lijkt in de gedachtenwereld van de jaren tachtig nauwelijks meer een rol te spelen. In discussies over wetenschap en de financiering daarvan maken culturele argumenten weinig indruk. Bij de alfa-wetenschappen spelen ze wel een belangrijke rol, maar vertegenwoordigers van de exacte wetenschappen menen sterkere argumenten te hebben. Bovendien is, sinds C.P. Snow een kwart eeuw geleden zijn beroemde essay over de culturele scheiding van de kunsten en de wetenschappen publiceerde, de (overigens onterechte) tegenstelling tussen de alfa- en de bèta-wetenschappen steeds onoverbrugbaar gebleken [4]. Cultuur zal men niet snel associëren met wiskunde. Toch is wiskunde wel degelijk een nationaal cultureel produkt. De wiskunde van Bourbaki bijvoorbeeld, die wereldwijd een zeer grote invloed heeft gehad, tot in het Nederlandse voortgezet onderwijs toe, is typisch een exponent van de Franse cultuur [5].

En wiskunde als produktiefactor? Mede gezien de bijdrage die de wiskunde bij de oorlogsinspanning had geleverd, was het kort na de oorlog duidelijk, dat de resultaten van wiskundig onderzoek van grote waarde konden zijn voor de industrie en de economie. Naast de zogenaamde klassieke toepassingen van de wiskunde in andere disciplines, tekenden zich bovendien mogelijkheden af op het gebied van medisch-biologische wetenschap, sociale wetenschappen, organisatie en beleid. De introductie van de wiskunde in het bedrijfsleven en in allerlei wetenschappelijke disciplines heeft ook inderdaad plaatsgevonden, zij het wellicht in andere mate dan men had verwacht. Daarna lijkt echter de belangstelling voor de economische waarde van de wiskunde aan omvang te hebben ingeboet. Pas de laatste jaren ziet men internationaal weer een verhoogde aandacht voor de betekenis van de wiskunde en haar mogelijkheden voor industrie en overheid. In de Verenigde Staten is deze discussie het eerst begonnen.

In 1984 publiceerde de National Research Council het rapport van een commissie onder voorzitterschap van Edward E. David, president-directeur van Exxon Research and Engineering, onder de titel 'Renewing US mathematics; a critical resource for the future' [6]. Het rapport van de commissie-David stelt dat wiskunde van vitaal belang is voor wetenschap, technologie en voor de samenleving zelf, dat de mogelijkheden om met wiskundig onderzoek grote prestaties te leveren groter zijn dan ooit, maar dat om deze mogelijkheden te kunnen benutten, nieuwe overheidsstimuleringsacties nodig zijn.

Dit rapport heeft veel aandacht gekregen bij wiskundigen over de gehele wereld. Verschillende polemieken en conferenties zijn eruit voortgevloeid. Wat was echter de invloed van het rapport op de politieke beleidsmakers? Elk jaar wordt in het kader van een programma van de American Association for the Advancement of Science een vijftwintigtal wetenschapsmensen, waaronder steeds één wiskundige, toegevoegd aan de omvangrijke staven waarover Amerikaanse parlementariërs beschikken. De wiskundige congressional fellow voor het jaar 1984 - 1985 was dus in een uitstekende positie om de invloed van het rapport 'Renewing US mathematics' op de politiek waar te nemen. Het verslag dat zij onlangs publiceerde, is wat dat betreft onthullend [7]. Tot haar verrassing moest zij constateren dat vrijwel niemand ooit van het rapport van de commissie-David had gehoord, laat staan het had gelezen. Zij stelt daarom voor dat wiskundigen proberen hun boodschap te verkopen door minder het fundamentele karakter van het onderzoek en meer de directe korte-termijn toepassingen van wiskunde in de industrie te benadrukken.

Zonder te willen beweren dat politici en ambtenaren in de Verenigde Staten zoveel kortzichtiger zijn, kan ik gelukkig toch constateren dat in Nederland en in Europa het belang van fundamenteel onderzoek tegenwoordig weer kan worden besproken zonder het te verstoppen onder argumenten van korte termijn. Zowel in Nederland als in de Europese Gemeenschap zien wij een hernieuwde erkenning van het belang van fundamentele research, zonder welke de technologie op iets langere termijn zich onmogelijk verder zal kunnen ontplooiën.

Soortgelijke opmerkingen als voor de wiskunde gelden eigenlijk ook voor de informatica. De informatica heeft in de geschiedenis van de Stichting Mathematisch Centrum altijd een grote rol gespeeld en is daarbij nauw verbonden met de beoefening van de wiskunde.

In het kader van het Informatica-Stimuleringsplan heeft het CWI de taak gekregen uit te groeien tot een nationaal toonaangevend centrum op het gebied van zuiver en toepassingsgericht informatica-onderzoek. Dat betekent niet alleen dat het CWI een plaats moet zijn waar fundamenteel informatica-onderzoek op hoog niveau wordt verricht. Het betekent ook dat het Centrum zich moet profileren als een ontmoetingsplaats voor de Nederlandse informatici, als de plaats bij uitstek waar nieuwe wetenschappelijke ontwikkelingen in de informatica uit het buitenland bij de Nederlandse onderzoekswereld worden geïntroduceerd, als de plek waar informatica-onderzoekers en het bedrijfsleven met elkaar in contact komen. Dat alles is een mooie maar zware taak: een centre d'excellence wordt niet plotseling geboren, het is iets dat in de loop der jaren met grote inspanningen tot stand moet worden gebracht.

In zijn rol als Nederlands centre d'excellence op het gebied van fundamenteel en toepassingsgericht informatica-onderzoek, zet het CWI de nauwe band tussen wiskunde en informatica voort. Zoals een vooraanstaand onderzoeker in het CWI het onlangs formuleerde:



*'s morgens doen wij wiskunde en 's middags doen wij informatica* [8].

Aan die nauwe band tussen wiskunde en informatica zijn natuurlijk ook gevaren verbonden. De wiskunde is zeker niet de enige moeder van de informatica. Zij moet het ouderschap tenminste delen met de elektrotechniek en in mindere mate ook met andere vakken zoals de natuurkunde. Het is dan ook niet juist de informatica te beschouwen als een wat afgedwaald onderdeel van de wiskunde, dat te zijner tijd weer binnen de kring van de wiskunde zal terugkeren [9]. De informatica, hoe jong ook, is een afzonderlijke discipline die zich steeds verder zal ontwikkelen. Bovendien vindt men toepassingen van de informatica in vrijwel alle disciplines, van scheikunde tot kunstgeschiedenis. De koppeling wiskunde en informatica in één organisatorisch geheel, die men ook vindt bij de universiteiten en hogescholen, mag er niet toe leiden dat de banden met andere wetenschapsgebieden worden verstoord. Gelukkig is het onderhouden van deze banden bij het CWI in goede handen.

U hebt inmiddels begrepen dat ik de toekomst van de Stichting Mathematisch Centrum en in het bijzonder van haar instituut, het Centrum voor Wiskunde en Informatica, met vertrouwen tegemoet zie. Naar mijn mening is er voor een instituut als het CWI een belangrijke rol weggelegd in de ontwikkeling van fundamenteel onderzoek en de overdracht van de resultaten daarvan, die van groot belang zijn voor de industrie en voor de overheid, voor onze economie en onze cultuur. Die kennisoverdracht zal in de toekomst wellicht omvangrijker maar niet principieel anders zijn dan in het verleden. Naast contractonderzoek, cursussen en publikaties blijft de kennisoverdracht door de doorstroming van het op het CWI gevormde menselijk kader het belangrijkste instrument.

Met fundamenteel onderzoek bedoel ik zowel fundamenteel onderzoek in de wiskunde als in de informatica. De wisselwerking tussen beide, die zich dankzij de structuur van het CWI gemakkelijk kan ontplooiën, maakt het mogelijk tot resultaten te komen die voor beide disciplines van fundamenteel belang zijn. De zuivere en toegepaste wiskunde zijn onmisbare elementen bij de ontwikkeling van de informatica. Anderzijds mag echter in de schaduw van de maatschappelijke belangstelling voor de informatica geen veronachtzaming optreden van die onderdelen van de wiskunde die niet aan de informatica bijdragen. Het belang van wiskundige methoden voor het wetenschappelijk onderzoek in allerlei disciplines is immers nog steeds onverminderd groot. De toepassingsmogelijkheden zijn zelfs aanzienlijk toegenomen, juist door de hulpmiddelen die de informatica biedt. Mede aan de overheid is dan ook de taak het wiskundig onderzoek te ondersteunen, óók maar niet alleen, teneinde de mogelijkheden die ontstaan door synergie van wiskunde én informatica optimaal te benutten.

Dames en heren,

Ik wens de Stichting Mathematisch Centrum van harte geluk met haar veertigste verjaardag en ik dank de organisatoren van dit symposium voor de uitnodiging hier de opening te verrichten. Ik wens de deelnemers aan het symposium een vruchtbare dag toe, en de Stichting Mathematisch Centrum en het Centrum voor Wiskunde en Informatica een bloeiende toekomst.

#### REFERENTIES

1. J.H. BANNIER (1975). *ZWO 25 jaar?* Rede ter gelegenheid van het 25-jarig bestaan van de Nederlandse organisatie voor zuiver-wetenschappelijk onderzoek (ZWO 9, 31 mei 1975).
2. J.F. KOKSMA (1960). *Het Mathematisch Centrum 1946 - 1960*, Amsterdam.
3. De hier volgende beschrijving is ontleend aan G. ALBERTS, *Het Mathematisch Centrum: ideeën en beginjaren*. Eindhoven 1984.
4. S.T.M. ACKERMANS (1986). School en techniek. *De Ingenieur* 4.
5. NICOLAS BOURBAKI : pseudoniem van een groep gezamenlijk publicerende Franse wiskundigen. De ideeën van Bourbaki over de opbouw van de wiskunde hebben zeer grote invloed gehad, na de invoering van de Mammoetwet ook in het Nederlands voortgezet onderwijs.
6. *Renewing US Mathematics; Critical Resources for the Future*. Report of the ad-hoc committee on resources for the mathematical sciences, Washington DC 1984.
7. T. CHRISTINE STEVENS (1986). An AMS-MAA-SIAM congressional fellow's report, A mathematician weighs congressional means. *Notices of the American Mathematical Society* 33 nr 2.
8. PROF. DR. J.K. LENSTRA tijdens de slotvoordracht van het 22ste Nederlandse Mathematisch Congres. Enschede, 2 april 1986.
9. Vgl. de slotvoordracht door PROF. DR. N.G. DE BRUIJN tijdens het 21ste Nederlands Mathematisch Congres. Leiden, 11 april 1985.

# Het Belang van Fundamenteel Onderzoek in Wiskunde en Informatica

Mr.ir. F.C. Rauwenhoff

*Voorzitter hoofddirectie Nederlandse Philips Bedrijven BV*

Dames en Heren,

Ik stel het op hoge prijs bij deze gelegenheid een aantal minuten het woord te mogen voeren. U weet dat wiskunde en informatica in deze tijd ook voor industriële ondernemingen belangrijk zijn. Zonder toepassing van ver ontwikkelde mathematische kennis had het brandstofverbruik van vliegtuigen in de laatste decennia niet gehalveerd kunnen worden en zouden zij aanzienlijk meer decibels produceren dan zij thans doen. En zonder geavanceerde informatica-inzichten, gevoed door wiskundige kennis, had Philips geen Compact Disc kunnen uitvinden, waren er geen digitale telefooncentrales en niet zulke verbazingwekkende scanners voor medische diagnostiek.

U kunt het ook zó vertalen, dat een *onvoldoende* investeren in verdere verdieping van mathematische en informatietechnologische kennis, grote ondernemersrisico's vertegenwoordigt. Risico's die zelfs tot het teloor gaan van hele industrietakken kunnen leiden. Dramatische voorbeelden van zulke risico's zoudt u bijvoorbeeld kunnen vinden in de opportunistische sfeer van sommige ondernemingen in de Verenigde Staten.

Ik kan mij met enige waarschijnlijkheidsberekening voorstellen, dat u deze laatste 'jump to conclusions' niet zo maar wil laten landen in het domein van uw inzichten voor dagelijks gebruik. Inzicht moet immers onderbouwd worden. Staat u mij daarvoor een aanloop toe vanuit een historisch vertrekpunt.

In de ontwikkeling van de industrie is een voortdurend samenspel te zien tussen de ontwikkeling van fundamenteel wetenschappelijke kennis en de exploitatie daarvan in industriële bedrijvigheid. In het verre verleden waren zowel wetenschapsbeoefening als materiële produktie in de meeste gevallen een zaak van onafhankelijke individuen of kleine gezelschappen. In de 18de eeuw

onstonden vanuit de ambachtelijke wereld voorlopers van de industrie. Dat werd mogelijk gemaakt door mechanische krachtbronnen zoals de stoommachine voor de aandrijving van werktuigen.

Geleidelijk is daarbij meer gebruik gemaakt van het zich eveneens ontwikkelende inzicht in mechanische, natuurkundige en scheikundige verschijnselen. Tegen het einde van de 19de eeuw begon preciese kennis van kwalitatieve en kwantitatieve wetmatigheden een grotere rol te spelen. In het begin van de 20ste eeuw verschijnen industriële onderzoekslaboratoria, die fundamentele kennis en inzichten op hun industriële toepasbaarheid exploreren en exploiteren. Daarbij is niet zelden sprake van wisselwerking, zodat ook vanuit de bedrijfspraktijk kennis wordt verdiept en verbreed.

Dat samenspel is van essentiële betekenis en ik wil het een kenmerk van succesvolle moderne ondernemingen noemen. Wetenschap komt meestal pas in praktische toepassing tot volle ontplooiing. Leemten in bestaande kennis die bij feitelijk gebruik aan het licht komen, kunnen veelal ook het beste in de bedrijfspraktijk worden opgevuld.

Ik zou het Natuurkundig Laboratorium van Philips willen aanhalen als een goed, en historisch gezien een vroeg, voorbeeld. In dit Laboratorium wordt de op fundamentele aspecten gerichte research verricht waar een moderne industrie zoals Philips niet alleen de natuurwetenschappelijke basis van zijn ondernemen in vindt, maar ook zijn wetenschappelijk geweten. Om als zodanig te kunnen functioneren moet het Laboratorium het zicht op de gebeurtenissen in de wetenschappelijke wereld open houden en dat openleggen voor de industrie. Dat is alleen mogelijk door letterlijk en figuurlijk in gesprek te blijven met de academische wereld en daartoe dus ook zelf als gesprekspartner de moeite waard te zijn. De eigen wetenschappelijke prestaties en het zelf van binnenuit kennen en begrijpen van de academische wereld, vormen daarvoor noodzakelijke condities. Aan de andere kant: het Laboratorium zal ook goede relaties moeten onderhouden met de industriële wereld. Ook daar moet het Laboratorium adequate bijdragen leveren en die wereld van binnenuit goed kennen.

De symbiose van de twee taken leidt tot hogere kwaliteit op beide fronten. Industrieel onderzoek kan nog wel eens essentiële probleemstellingen op academisch niveau 'ontdekken'. Praktische vragen hebben vaak een diepe ondergrond. Veel fundamenteel verdiepte kennis is pas verworven nadat zich een praktische problematiek voordeed. Die kan zelden naar boven komen in universitair onderzoek, waar de primaire taak ligt in het onderzoek als zodanig en in het onderwijs.

Kennis, inzicht en probleemstellingen dus als een soort ruilhandel tussen de academische en de industriële wereld. Wie werkzaam is in industriële research, doet dat vanuit een bepaalde attitude, een bepaalde industrieel-culturele houding. Ik zou die willen vergelijken met het ademen van een levend organisme. Die cultuur rond research is voor een moderne industrie een essentiële voorwaarde, maar ontstaat niet vanzelf zodra een aantal wetenschappers in een

laboratorium gaat zitten. Er is een probleem van kritische massa. Industriële research moet voldoende breedte hebben om zich in de diepte te kunnen ontplooiën. Specialisme is daarbij een noodzakelijk ingrediënt, maar bij toepassing kan specialisme slechts gedijen in contact met andere specialismen. Bij research wordt specialisme gepaard aan creativiteit. Creativiteit in de zin van ongebruikelijke associatie of combinatie van inzichten die conventioneel niet gecombineerd worden. Juist daar is kruisbestuiving van verschillende specialismen belangrijk. Niet alleen uit de industriële wereld, maar ook van daarbuiten. Deze noodzakelijke, gevarieerde samenstelling te zamen bepaalt, wat ik heb aangeduid als kritische massa.

Grote industrieën kunnen in dit opzicht in eigen behoefte voorzien. Kleine niet. Voor kleine industrieën is het bereiken van die kritische massa pas mogelijk indien zij tot samenwerking komen - wat uitermate moeilijk is - of indien onafhankelijke wetenschappelijke instituten dit mogelijk maken voor een aantal industrieën die hun activiteiten baseren op globaal eenzelfde kennisgebied.

Wat voor de industrie geldt, geldt ook voor andere technisch-georiënteerde activiteiten. Waterstaat en Landbouw zijn goede voorbeelden. Ook daar kunnen wetenschappelijke instituten - eerder dan universiteiten, zoals ik heb toegelicht - een wezenlijke rol vervullen. En dat gebeurt ook! Het Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI) is zo'n instituut.

In het begin heb ik voorbeelden genoemd van industriële activiteiten die zonder fundamentele kennis op mathematica- en informaticagebied niet tot hun huidige niveaus hadden kunnen komen. Dat geeft al aan hoe belangrijk fundamenteel onderzoek op het werkterrein van het CWI is voor de industriële wereld.

*Wiskunde* speelt een essentiële rol in de modelvorming, de precieze formulering en de kwantitatieve analyse van fysische, chemische, mechanische, elektrische en elektronische verschijnselen en van constructies die daarop berusten. Conventioneel gaat het daarbij vooral om de continue verschijnselen. De wiskunde is daartoe een hulpwetenschap. Met de komst van rekenmachines heeft die een enorme vlucht genomen en kunnen steeds grotere en ingewikkelder problemen behandeld worden. Zelfs worden steeds meer experimenten vervangen door berekeningen. Simulaties nemen de plaats in van proefondervindelijke ontdekkingen met kostbare en niet-flexibele apparatuur. Dat heeft tot gevolg dat veel onderzoek en ontwikkeling steeds abstracter wordt.

Gezien deze tendens zouden wij van de fysicus, de chemicus, de elektronicus en de werktuigbouwer meer wiskundige kennis en kunde, om het werk te ondersteunen, moeten verwachten. Maar helaas! Het eigen, primaire vakgebied van deze technische disciplines is inmiddels ook alsmear ingewikkelder en gedetailleerder geworden. In opleiding en onderwijs - en in de uitoefening van het vak - is minder tijd en gelegenheid dan vroeger voor uitdieping van wiskundige kennis en kunde. De technisch academicus van nu is dus relatief *minder* in wiskunde geschoold dan de voorgaande generatie, terwijl het eigenlijk

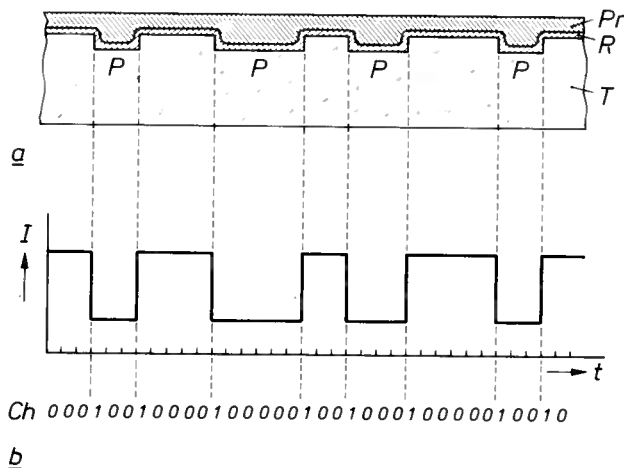
*meer* zou moeten zijn. De discrepantie wordt met name in Nederland nog versterkt door een toenemende druk om de studieduur en de studiebreedte te beperken. Er moet daarom een groter beroep worden gedaan op de gespecialiseerde wiskundige, die in het interdisciplinaire samenspel een partij met toenemende verantwoordelijkheid vormt.

Inmiddels zijn namelijk de technische en natuurwetenschappelijke vakgebieden ook zelf verdiept en verfijnd en, zoals ik zei, abstracter - meer wiskundig - geworden. In die mate, dat wiskunde van hulpdiscipline tot een wezenlijk dragende wetenschap is geworden die zelf, in pas met de groei van de behoefte, uitdijt. Dat wil zeggen: fundamenteeler en gedetailleerder - meer verdiept, maar ook breder. Meer hoofdstukken van de wiskunde gaan een rol spelen. Algebra, groepentheorie, structuren van eindige verzamelingen en abstracte ruimten, tot zelfs abstracte begrippen uit de topologie, gaan hun rol spelen in de industriële wereld. In de jaren '60 werden ingewikkelde wiskundige coderingen gebruikt om een radarreflectie van Venus mogelijk te maken. *Nu* wordt een minstens zo ingewikkelde codering gebruikt in de compact disc speler als industrieel massaproduct, om over stofjes en krassen heen de muziek foutloos in de huiskamer weer te geven. Daar komt wiskunde van hoog niveau aan te pas. Wiskunde is al lang niet meer het onderwerp van vrijblijvende academische wetenschapsbeoefening.

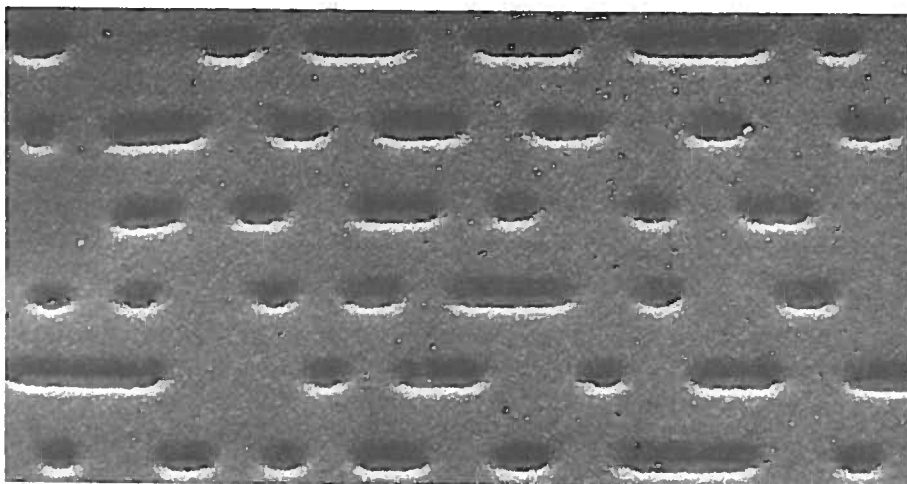
Vergeleken met een oud en gevestigd vak als wiskunde, is *informatica* zeer jong en dus nog erg onzeker over wat ze kan en niet kan. Zo bezien is te begrijpen dat informatica in deze tijd nogal eens neigt tot een zekere overmoedigheid. De rekenmachine heeft ook aan de wieg gestaan van de informatica. Eerst op het terrein van boekhouders en administrateurs, maar geleidelijk ook op andere en vaak veel ingewikkelder gebieden. De robot, automatische meet- en regelsystemen, telecommunicatiecentrales, medische apparatuur, link-trainers en natuurlijke taal-vertaalmachines zijn allemaal voorbeelden van rekenmachine-informatietechnieken, die ver uitgaan boven het conventionele boekhouden en rekenen.

Als u de huidige worstelingen in de informatica analyseert, ziet u dat verreweg de meeste problemen terug te voeren zijn naar de enorme toename van omvang en complexiteit. De informatica heeft die karakteristieken als het ware ontvangen uit het toepassingsgebied: de complexiteit van aantallen, van relaties, van ruimte en tijd in onze bedrijven, regeringsapparaten, dienstverlenende organisaties en technische systemen, waartoe informatica de middelen moet verschaffen om ze onder de knie te krijgen en beheersbaar te houden.

Informatica is vooral zichtbaar in de technologie, de data processing en de daaraan verbonden architectuur. Maar het is niet voldoende, technisch vaardig te zijn en grote systemen te kunnen bouwen om in voorkomende behoeften te voorzien. Het is evenzeer nodig dat deze technologie fundamenteel wetenschappelijk wordt onderbouwd en geordend. Er is dringend behoefte aan zuivering van de begripsvorming, aan uitbouw van algoritmisch denken en aan meer



- a) *Doorsnede door een 'Compact Disc', gemaakt in de lengterichting van het spiraalvormige spoor. T transparant dragermateriaal, R reflecterende laag, Pr beschermende laag. P langwerpige putten die samen het spoor vormen (zie ook onderstaande foto).*
- b) *I de intensiteit van het door de optische pick-up uitgelezen signaal, uitgezet als functie van de tijd. Het digitale signaal dat uit het blokvormige verloop wordt afgeleid, is aangegeven als een reeks van kanaalbits Ch.*



*De langwerpige putten*

**FIGUUR 1.** *De Compact Disc (Bron: Philips Technisch Tijdschrift, Jaargang 40, 1981/82, no. 9)*

inzicht in structuurvorming. Fundamenteel inzicht in de processen moet nog aanzienlijke bijdragen kunnen leveren tot verbetering van de effectiviteit en efficiëntie. Daar ligt de uitdaging voor het fundamentele onderzoek in de informatica.

Dames en heren, ik heb lang stil gestaan bij het belang van het uitdiepen, verbreden en onderhouden van *fundamentele* kennis, onder meer op mathematica en informatica-gebied. Die nadruk heb ik *niet* alleen zo gekozen omdat ik bij dit jubileum een welverdiend hart onder de riem van het CWI wil steken. Welverdiend, omdat wij met genoeg hebben gezien dat het CWI na een tijdelijke neiging tot, laat ik het noemen: 'academiseren' in de jaren zeventig, de laatste tijd toch weer heel goed en met vele praktische werkcontacten ook met de industrie aan de gang is.

Ik heb zo nadrukkelijk gewezen op het belang van fundamentele kennis en kunde, *ook* omdat ik zie hoe wezenlijk het belang daarvan is voor het behoud van onze industrie. Ik wil in dit verband wijzen op ontwikkelingen in de Verenigde Staten, die elke ondernemer kan waarnemen. Ontwikkelingen die wijzen op het reële risico dat de VS geleidelijk haar industrie aan het verliezen is. Dat is al gebeurd op het gebied van de elektronica; met name de industrie voor consumentenelektronica is reeds nagenoeg van Amerikaanse bodem verdwenen. Die tendens is te voorzien voor ook andere industrietakken, zoals die voor kleding, schoeisel, auto's en zelfs voor vliegtuigen. Waar komen die risico's vandaan?

In de eerste plaats: de industriële cultuur in de VS is scherp gespitst op het bereiken van onmiddellijke resultaten. Fundamentele kennis en kunde, die ik primair beschouw als resources ten behoeve van de lange termijn, worden daarbij als het ware in roofoverval geëxploiteerd. De meeste Amerikaanse universiteiten verkeren daardoor in een parasitaire positie. Hun fundamentele kennis wordt gulzig geconsumeerd door de industrie en de taak van de universiteit verschuift naar de zogenaamde 'job preparation'. Er wordt onvoldoende gedaan aan de verdieping en instandhouding van de fundamentele wetenschappen. Van de in Amerika werkzame post-graduates komt al ongeveer de helft uit het buitenland. Zo'n op korte termijn resultaat gericht industrie- en opleidingsbeleid brengt zich zelf naar de ondergang. Het leidt tot uitholling, waarbij schaarser wordende specialisten, van in mondiale vergelijking relatief afnemende kwaliteit, met hoog opgejaagde salarissen de overlevingskansen in hoog tempo verkleinen.

Het tegenovergestelde zien wij in Japan. Een generatie terug nog een land waar op industrieel-wetenschappelijk gebied weinig eer te behalen was en waar alle energie werd geconcentreerd op het productie-apparaat. Nu een land waarin *zelf* verworven fundamentele kennis veel aandacht krijgt. Met resultaten die her en der reiken naar de wereldtop.

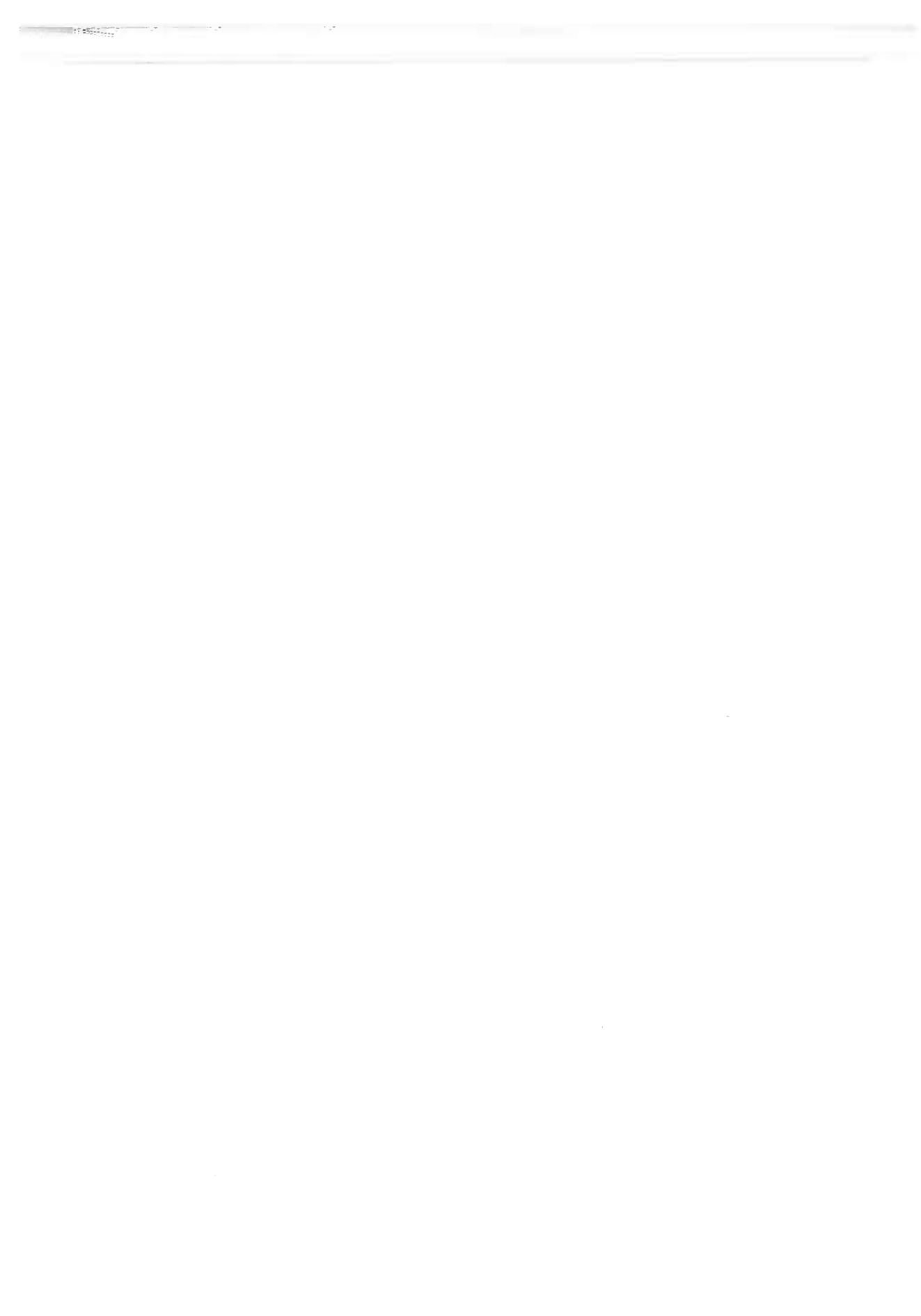
Ik heb deze duiding aan het slot van mijn betoog willen meenemen, om te wijzen op ontwikkelingen waar wij in Europa op bedacht moeten zijn. Het



nationale belang dat zich hier ook voor Nederland aftekent, betekent dat van de overheid gevraagd mag worden onze infrastructuur van fundamentele kennis en kunde, in relatie tot mogelijke toepasbaarheid op termijn ervan, mede te dragen.

Ik wens het Centrum voor Wiskunde en Informatica gaarne toe, dat het in deze context nog tot in lengte van jaren een gezonde functie kan en mag vervullen!

Ik dank u voor uw aandacht.



# Rekenen en Industrie

Dr. ir. H.L. Beckers

*Group Research coördinator Koninklijke Shell Groep  
Shell Internationale Research Maatschappij BV*

Dames en Heren,

In de loop van de jaren heeft de waardering voor het beoefenen of toepassen van de wiskunde nog al wat veranderingen ondergaan. Ik zal u een enkel voorbeeld daarvan in herinnering brengen: Plato raadde de burger de studie van de wiskunde aan, niet voor de handel of het ambacht, maar alleen voor contemplatie en oefening van de geest. 'Laat niemand die niet aan wiskunde heeft gedaan, mijn huis binnenkomen', schijnt hij gezegd te hebben! Iemand die de wiskunde beroepsmatig toepaste vond hij maar een mechanicus. Geen burger zou zo iemand als geschikte partij voor zijn dochter moeten beschouwen.

De Heilige Augustinus maakte het zelfs nog wat bonter met zijn vermaning dat goede christenen moeten oppassen voor wiskundigen, omdat het gevaar bestaat dat die een pact met de duivel gesloten hebben! Als ik dat dan zo hoor, ben ik als Limburgse katholiek vandaag wel in een fraai gezelschap beland!

Gelukkig zijn er ook nog andere meningen te vinden. Einstein heeft eens geschreven: 'Ik ben doortrokken van een groot respect voor de wiskunde, waarvan ik de subtiele onderdelen in mijn onschuld tot nu toe als zuivere luxe had beschouwd'. Met 'hun speciale helderziendheid' hadden wiskundigen zijn weg naar de algemene relativiteitstheorie heel goed voorbereid, zei hij.

Toepassingen van wiskundige theorieën in andere wetenschappen zijn heel oud: al heel vroeg zien wij die in de arithmetiek, de astronomie, muziek en geografie, terwijl na de Middeleeuwen de natuurkunde natuurlijk een uitermate vruchtbaar toepassingsgebied is gebleken.

Dit hangt uiteraard samen met het feit dat de wiskunde de ideale taal is om te communiceren in de wetenschap: zoals we allen weten is wiskunde heel

precies gedefinieerd, niet voor tweërlei uitleg vatbaar en universeel geldig. In die taal kunnen boodschappen met een maximale duidelijkheid en nauwkeurigheid worden geconstrueerd, en ze kunnen worden gemanipuleerd en getransformeerd volgens heel precieze regels zonder dat de betekenis ervan verloren gaat. Zoals Galileo al zei: 'De Natuur is geschreven in wiskundige taal'.

Toch is het pas in en vooral na de Tweede Wereldoorlog dat de wiskunde steeds meer wordt gezien als een nuttig maatschappelijk hulpmiddel voor het beschrijven en analyseren van complexe relaties, niet alleen in de natuur- en scheikunde en de technologie, maar ook in de economie, biologie, sociale wetenschappen en noem maar op.

Zoals we allemaal weten hangt deze ontwikkeling ten nauwste samen met het op grote schaal beschikbaar komen van steeds snellere en grotere reken-tuigen, waarbij het accent van analytische wiskundige modellen verschoof naar numerieke modellen, die steeds meer het karakter kregen van simulaties van de werkelijkheid op de computer. In dit verband is het misschien goed er nog eens op te wijzen, dat het beschrijven van de werkelijkheid in mathematische taal, dus het formuleren van een wiskundig model, geen garantie is dat dat model ook waar is, dat het klopt met die werkelijkheid. Het model is niet meer dan een analogie, waarin een structuur van logische en wiskundige relaties aanwezig is, waarvan wordt verondersteld dat die veel overeenkomsten heeft met datgene wat het probeert te verklaren, maar die zeker niet daarmee volledig kan worden geïdentificeerd. Toegegeven, een waarheid als een koe, maar in debatten over de interpretatie van de uitkomsten van een rekenpartij toch nog wel eens over het hoofd gezien of vaak niet eens ter discussie gesteld.

Ik wil u vandaag aan de hand van een aantal voorbeelden laten zien welke centrale rol *fundamentele wiskundige resultaten* spelen bij het maken van vorderingen op technologisch gebied en hoezeer die kunnen bijdragen aan het in stand houden van een gezond en concurrerend bedrijfsleven. De schijnwerper is hier dus bewust gericht op de *wiskunde als basisgereedschap* voor ons werk; zonder de resultaten daarvan beginnen we zelfs met de grootste en snelste computer heel weinig!

Ik heb de voorbeelden met opzet gekozen uit de 'bread and butter' praktijk van het bedrijf waar ik zelf werk, de Koninklijke Shell Groep. Dat was echter niet alleen om het mijzelf wat gemakkelijker te maken, zoals u nu wel zult denken, het had ook nog een andere reden.

U weet dat er ten aanzien van de concurrentiepositie van onze Europese industrie in brede kring bezorgdheid bestaat; je kunt vrijwel geen krant of tijdschrift opslaan zonder dat een expert of politicus (die twee zijn niet altijd synoniem!) beweert, dat Europa achter dreigt te gaan lopen bij haar voornaamste concurrenten: de Verenigde Staten en Japan. U kent ook de oplossing die voor dit probleem wordt gepropageerd: meer investeren in onderzoek en ontwikkeling. Noch met de probleemstelling, noch met de aanbevolen oplossing ben ik het in alle opzichten eens. De probleemstelling is mij te algemeen:

met de voorbeelden die ik dadelijk zal gaan geven, hoop ik te laten zien dat wij in de wereldwijde concurrentieslag ons mannetje toch wel staan, zoals ook onze Europese concurrenten dat doen en zoals ook andere industrietakken in Europa, zoals biotechnologie, waterbouw en landbouw dat doen.

Laten we naast de 'sunrise' industrieën vooral niet de 'sunshine' industrieën vergeten, die ons nog altijd het merendeel van ons inkomen en werkgelegenheid verschaffen, zowel nu als in de toekomst. En wat de aanbevolen oplossing betreft: zonder het belang van een adequate inspanning op research- en ontwikkelingsgebied ook maar enigszins te willen bagatelliseren, lijkt mij meer onderzoek en ontwikkeling als de panacee voor alle Europese kwalen, ook de politieke, een nulde-orde benadering voor een zeer complex probleem. We laten alle storingstermen weg, want dat rekent zo gemakkelijk!

Maar genoeg hierover, ook mijn mening heeft u al eerder in krant en tijdschrift kunnen lezen.

Met de voorbeelden van vandaag ga ik met reuzenstappen door een deel van onze activiteiten, omdat ik u wil laten zien dat er vanaf het zoeken naar olie en gas tot aan het verkopen van produkten aan de benzinepomp *toepassingen van de wiskunde* te vinden zijn, die het ons mede mogelijk maken als succesvolle onderneming te blijven opereren in een klimaat dat wordt gekenmerkt door hevige concurrentie.

Onderzoek, ontwikkeling en toepassing lopen hierbij steeds naast en door elkaar: voortdurend zijn wij bezig methodieken, modellen en systemen te onderzoeken, te ontwerpen, te verbeteren en in de dagelijkse praktijk toe te passen, want u weet het ook: beweging is relatief en stilstand is achteruitgang.

Mijn eerste voorbeelden komen uit het z.g. upstream deel van onze activiteiten: de exploratie en produktie van ruwe olie. Het aantal toepassingen van de wiskunde is daar zo talrijk dat ik mij beperk tot een tweetal waar de *wiskunde een primaire rol speelt*.

Naar omvang en economisch belang gemeten staat de transformatie van seismische gegevens naar kennis omtrent de plaats en kwaliteit van olie- en/of gashoudend gesteente veruit op de eerste plaats. Om u een idee te geven van het soort bedragen waar we over praten: de kosten van een typische exploratieput buitengaats liggen in de orde van 2 tot 3,5 miljoen dollar per maand en gemiddeld wordt er zo'n 2 tot 3 maanden, en regelmatig ook wel langer, geboord. Het gaat dus al gauw om zo'n 5 tot 10 miljoen dollar per put! Als we dus erg goed zijn in het bepalen van de juiste boorlocatie, d.w.z. de kans om olie of gas aan te boren kunnen vergroten, kan dat tot immense besparingen leiden.

Seismisch onderzoek is dus zeer belangrijk. Bij dit onderzoek wordt een puls akoestische energie de bodem ingedreven. Die puls plant zich in de aarde als een golf voort en wordt aan grensvlakken tussen rotsformaties teruggekaatst. De teruggekaatste geluidsgolven worden aan het oppervlak door detectoren opgevangen en omgezet in elektrische signalen die moeten worden verwerkt en geïnterpreteerd. Dat enorme karwei wordt geklaard dank zij de ondersteuning

van zelf al zwaar mathematisch geladen disciplines, zoals:

- meet- en regeltechniek voor de dataverwerking;
- geofysica voor de modellering van de signaalvoortplanting door de aarde;
- informatica voor de verwerking van de immense hoeveelheid data.

Sinds een aantal jaren zijn we, dank zij supercomputers als de Cray, in staat zo'n seismisch onderzoek uit te voeren met een twee-dimensionaal netwerk van detectoren, waarvan de signalen uiteindelijk worden verwerkt tot een drie-dimensionaal plaatje van de structurele ondergrond.

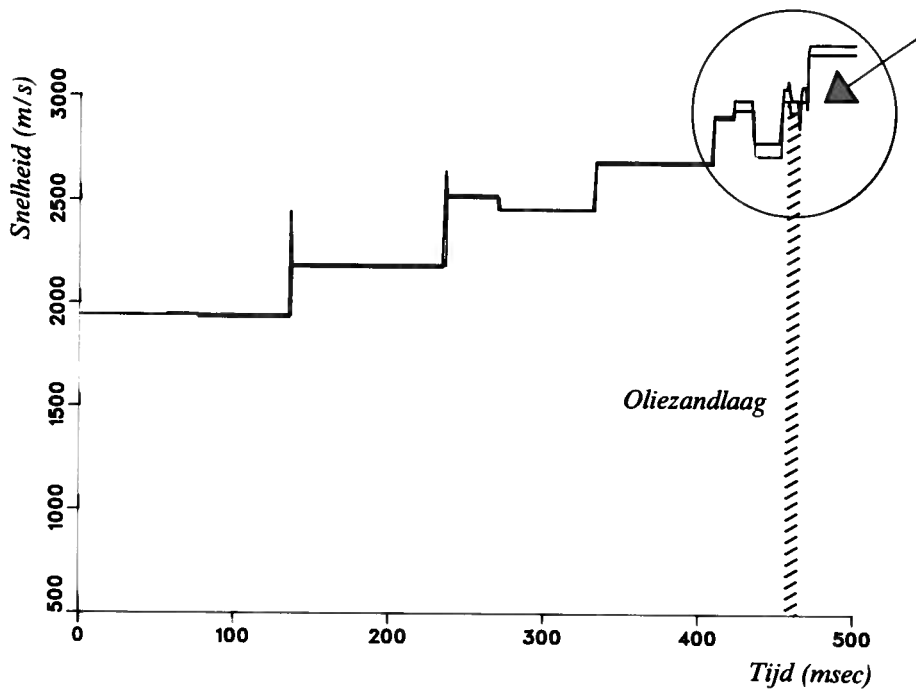
In de kern echter berusten de oplossing en berekening op *twee fundamentele wiskundige resultaten*:

- de inzichten van Wiener omtrent filtering, specifiek wat nu onder kenners de Levinson-recursie voor Toeplitz-matrices heet;
- de Fast Fourier Transform van Cooley en Tukey.

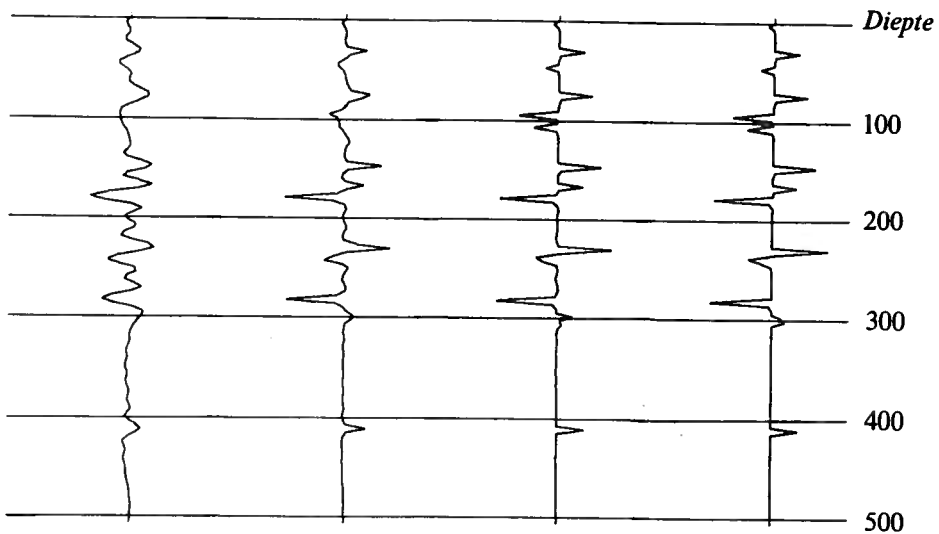
Sinds met deze concepten en de opkomst van de computer in het begin van de jaren zestig de grondslagen voor grootschalige seismische processing waren gelegd, heeft de ontwikkeling geen moment meer stil gestaan. Voortbouwend op de resolutie-analyse van onder meer Backus en Gilbert en gebruik makend van de algoritmen voor 'singular value decomposition' is het oplossend vermogen van de complete techniek blijven stijgen. Het gevolg is dat steeds kleinere olievoorkomens en steeds dunnere oliezanlagen met groeiende precisie kunnen worden gedetecteerd (zie figuur 1).

De recente ontdekking van een klein olieveld dat ten dele onder Rotterdam ligt en het feit dat de olie- en gasreserves in de wereld de laatste jaren op peil zijn gebleven, zijn afdoende illustraties voor de succesvolle ontwikkeling van deze techniek.

Toch blijft *harde* evidentie omtrent het voorkomen van olie of gas schaars. Zelfs met de beste verwerking van seismiek en gegevens van naburige putten blijft de beslissing een nieuwe put te boren in laatste instantie een extrapolatie. We kennen allen de uitspraak van de Britse politicus Disraeli, die, geconfronteerd met de noodzaak onzekerheden te hanteren, uitriep: 'Lies, damned lies and statistics'. En ofschoon sommigen van ons in bepaalde gebieden en activiteiten zeker nog in deze stelling geloven, zijn we op andere gebieden in de olie-industrie steeds groter vertrouwen gaan stellen in waarschijnlijkheidsuitspraken. De afgelopen jaren hebben een definitieve doorbraak te zien gegeven van de *geostatistiek*: de statistische modellering van geologische informatie. Eerst met betrekking tot het schatten van reserves, maar, opererend met Markov-ketens om sedimentatie te karakteriseren en met random fields om ruimtelijke variatie van gesteente-eigenschappen te beschrijven, dringt deze beschouwingwijze nu niet alleen door in de seismiek, maar ook in de simulatie van stroming in een olieveld tijdens de produktie. Het gevolg is dat beperkte seismische resultaten kunnen worden aangescherpt tot nauwkeurige positioneringen van gesteentelagen door een geologische verwachting omtrent het aantal laagovergangen statistisch verantwoord te verwerken (zie figuur 2).



FIGUUR 1. Detectie van een dunne oliezandlaag uit seismische gegevens



FIGUUR 2. Een beperkt seismisch resultaat (geheel links) wordt op een statistisch verantwoorde manier aangescherpt tot een nauwkeurige positionering van gesteentelagen (geheel rechts)

Ook hier zien we dus weer: vooruitgang door gebruik te maken van fundamentele wiskundige resultaten.

Na de seismiek is reservoirsimulatie onze grootste gebruiker van computertijd. We proberen daarbij het stromingsgedrag van olie, water en gas in het poreuze formatiegesteente zo realistisch mogelijk te modelleren, zodat we het gedrag van een put tijdens productie en onder invloed van bijvoorbeeld waterinjectie in het veld zo betrouwbaar mogelijk kunnen voorspellen. De stromingsvergelijkingen die hiervoor moeten worden opgelost, zijn (even diep ademen):

*gekoppelde systemen van inhomogene, anisotrope, niet-stationaire, niet-lineaire partiële differentiaalvergelijkingen van gemengd parabolisch-hyperbolisch type in geometrisch willekeurige drie-dimensionale gebieden.*

Kortom, vreselijk gecompliceerd en alleen numeriek, met de computer, op te lossen. Veel van wat de laatste tien jaren in de numerieke wiskunde is ontwikkeld op het gebied van discretisatie, linearisatie en oplosroutines voor gestructureerde lineaire stelsels heeft in de simulatieprogrammatuur een plaats gevonden. Naar verwachting zal dat ook zo blijven, want de gewenste detaillering in de modellen en de gewenste nauwkeurigheid in de numerieke oplossingen zijn nog lang niet bereikt.

Een oliedruppeltje dat met oudere methoden door numerieke fouten tijdens transport 'oploste' blijft met de nieuwere methoden intact, zodat er langzamerhand geen druppeltje olie meer aan onze aandacht ontsnapt!

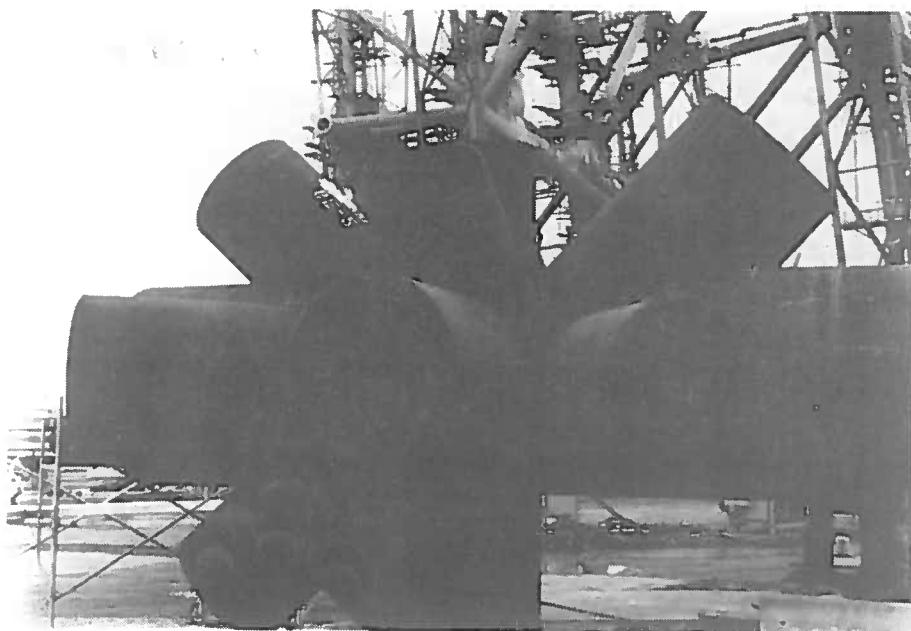
Uit de olieput omhoog klauterend, wil ik nu een kijkje nemen op een offshore productieplatform (zie figuur 3).

De veiligheid van zo'n platform wordt bepaald door de onderbouw en de fundamente. Als u bedenkt dat bijvoorbeeld het Shell Esso North Cormorant platform van 31.000 ton in de Noordzee in 160 meter diep water staat, waarvan de golven tijdens een zware storm een hoogte van meer dan 30 meter kunnen bereiken, dan zal het u duidelijk zijn dat bij het ontwerpen van zo'n constructie het berekenen van de mechanische eigenschappen van essentieel belang is. Een aspect dat daarbij veel aandacht krijgt is het z.g. vermoeiingsgedrag van de constructie. Bij ingewikkelde knooppunten (zie figuur 4) van onderdelen van de constructie, en wel speciaal bij de lassen of ook op plaatsen waar geometrische discontinuïteiten optreden, zijn normaal gesproken de mechanische spanningen hoger dan in de rest van de constructie. Gecombineerd met de wisselende belasting veroorzaakt door de golfbewegingen zouden bij een bepaalde las de mechanische spanningen zo hoog op kunnen lopen, dat na een zekere tijd die las het zou kunnen gaan begeven, met natuurlijk grote risico's voor mens en milieu.





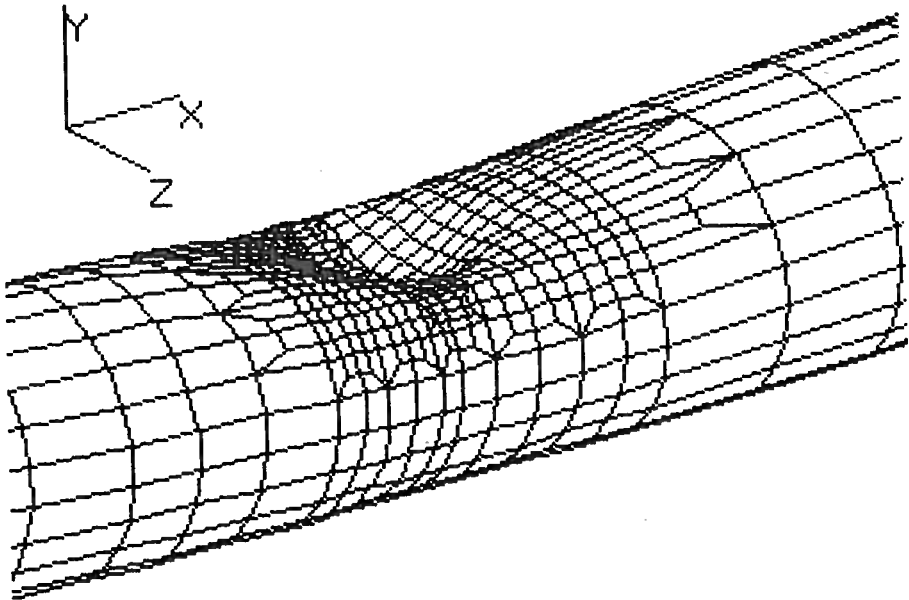
**FIGUUR 3.** *Shell/Esso Cormorant A productieplatform*



**FIGUUR 4.** *Een ingewikkeld knooppunt*

Berekening van de spanningen bij die geometrisch zeer complexe situaties kan niet analytisch gebeuren en we nemen daarom weer onze toevlucht tot numerieke methodes, waarbij we gebruik maken van de z.g. eindige-elementen-methode. Toepassing van deze methode voor een platform waar een voorraadschip tijdens een storm een deuk in had gevaren, liet precies zien hoe de verdeling van de mechanische spanningen veranderd was rondom de deuk (zie figuur 5). Op basis van dit soort eindige-elementen-berekeningen kon dan vervolgens worden bepaald hoe gevaarlijk de deuk voor de integriteit van het platform was en of een vaak zeer ingewikkelde en kostbare reparatie noodzakelijk was.

Het gebruik van de eindige-elementen-methode is tegenwoordig wijd verbreid. Een interessante toepassing vormt voor ons daarbij ook de gesteentemechanica die van belang is voor het verkrijgen van een goed inzicht in de stabiliteit en historie van de bestaande structuur van geologische formaties.



FIGUUR 5. *De verdeling van de mechanische spanningen rondom de deuk*

Om te voorkomen dat u nu de indruk gaat krijgen dat toepassingen van de wiskunde bij ons voornamelijk te vinden zijn aan de upstream kant en in de werktuigbouw, wil ik nog een voorbeeld geven van een zeer belangrijke toepassing in de z.g. downstream sector, weer in een 'bread and butter', maar hoogtechnologisch stuk van ons bedrijf, namelijk bij de raffinaderijplanning en -scheduling.

Raffinaderijen bestaan tegenwoordig voor het merendeel uit een geïntegreerde verzameling van complexe fabrieken. Op de langere termijn is zeer belangrijk hoe fabrieken en processen worden geïntegreerd, opdat de raffinage-operatie zo efficiënt mogelijk verloopt. Op de kortere termijn moet de raffinaderij zien te bepalen hoe op de meest economische manier uit de beschikbare ruwe olie de produkten gemaakt kunnen worden, waar op dat moment vraag naar bestaat.

Sinds de oliecrisis in 1973 is de ruwe olie voor een raffinaderij als Pernis niet langer afkomstig van een beperkt aantal bronnen. Afhankelijk van de situatie en de prijsontwikkelingen op de oliemarkt kunnen voorraden ruwe olie van zeer verschillende kwaliteit en samenstelling voor verwerking worden aangekocht. Dit betekent dat een grote mate van flexibiliteit in de procesvoering vereist wordt om steeds zo economisch mogelijk te kunnen opereren. Ook aan de produkten-kant is flexibiliteit noodzakelijk, omdat bijvoorbeeld de afname van een bepaald produkt sterk seizoengebonden is. Voor het oplossen van deze uitermate complexe optimaliseringsvraagstukken wordt met nog steeds toenemende intensiteit onder andere gebruik gemaakt van lineaire programmeringstechnieken.

Sinds de ontdekking door Dantzig in 1947 heeft deze techniek zich ontwikkeld tot een van de basisinstrumenten voor het bedrijfsleven, zeker ook dank zij de enorme groei in rekenmogelijkheden met de digitale computer. Deze ontwikkeling is nog lang niet ten einde: computers met een nieuwe architectuur die nog meer kunnen en nog sneller zijn, zijn in aantocht (ik denk aan parallel computing) en ook zijn er nieuwe algoritmische ontwikkelingen voor lineaire programmering in de maak.

De gigantische modellen die bij deze planningsoperaties worden gebruikt, vragen zeer veel rekestijd met de huidige generatie computers en algoritmen, en versnelling van het rekenwerk kan tot grote kostenbesparingen leiden. Ik verwacht dat de mogelijkheden voor geïntegreerde optimalisering van complexe aanvoer-, verwerkings- en marketing operaties van directe invloed zullen zijn op de winstkansen voor die operaties. Met de nog steeds bestaande overcapaciteit voor raffinage blijft toepassing van dit soort technieken voor een bedrijf als Shell van cruciaal belang om de concurrentie het hoofd te bieden.

Overigens is onderzoek aan optimaliseringstechnieken, of te wel Operations Research, in de begintijd meer een zaak van de industrie dan van de wetenschap geweest. Hier in Nederland hebben vooraanstaande Shell-onderzoekers, die later de overstap naar de wetenschappelijke wereld maakten, mede een belangrijke impuls gegeven aan het fundamenteel onderzoek op dit

gebied. De aanwezigheid van een actieve afdeling Operations Research aan dit instituut (CWI) vormt het bewijs dat uit een dialoog industrie - wetenschap iets tot stand kan komen, waaraan beide partijen plezier kunnen beleven zonder dat die wetenschap het werk van de industrie gaat doen. Het CWI-werk aan combinatorische optimaliseringstechnieken heeft raakvlakken met ons huidige onderzoek ten behoeve van raffinaderij- en distributie scheduling en kan dus een basis voor een verdere dialoog zijn.

Zoiets is geloof ik *nog niet* gerealiseerd in een ander gebied waar de laatste jaren zeer interessante dingen gaande zijn, namelijk het gebied van de kennisverwerkende systemen, of te wel expert systems. Expert systems zien wij als een hulpmiddel met groot potentieel voor het verspreiden en toegankelijk maken van zeer specialistische en daarmee schaarse kennis voor alle onderdelen van de Shell Groep. Ze kunnen ook een belangrijke rol gaan spelen in besluitvormingsprocessen waarin steeds opnieuw met weinig harde gegevens moet worden gewerkt.

Toen wij ons eind jaren zeventig serieus met deze 'knowledge engineering' gingen bezighouden, moesten de betrokken research medewerkers voor hun informatie naar het buitenland en nog steeds lijkt het zo te zijn 'dat we het lekers van ver moeten halen'! Laat Nederland hier een kans liggen? Ik weet het niet, maar zou het niet een goed thema zijn voor het gesprek tussen wetenschap en industrie?

Dames en heren,

Het lijkt mij hoog tijd om af te ronden, maar toch wil ik nog twee zaken kwijt. De eerste is een zorg, *een zorg om het fundamentele onderzoek in de wiskunde*. Ik heb u met mijn voorbeelden hopelijk duidelijk kunnen maken dat vorderingen in het wiskundig onderzoek van cruciaal belang zijn geweest voor de 'sprong voorwaarts', die wij in onze technologieën hebben gemaakt. Ik ben ook van mening dat er nog ruimte is voor verbetering van onze prestaties.

Maar, als ik zo hoor en zie welke nadruk de laatste tijd gelegd wordt op computers en informatica, dan vraag ik mij wel eens af of er voldoende aandacht overblijft voor studie van de basistheorieën. Is het nog steeds zo dat wiskundigen met 'die speciale helderziendheid', die Einstein frappeerden, over genoeg middelen beschikken om wegen voor te bereiden die we dan de komende jaren kunnen volgen, of naderen we het eind van het gebaande pad en worden alle bouwers van wiskundige wegen omgeschoold tot informatici en computertechnici? Ik ben benieuwd wat professor Baayen daar straks over te zeggen zal hebben.

De andere zaak die ik nog kwijt wil, is de aankondiging dat er momenteel intensieve discussies gaande zijn tussen onze laboratoria in Amsterdam en Rijswijk enerzijds en het CWI anderzijds, om te komen tot een heropleving van samenwerking. Gezien het aantal raakvlakken dat er op onderzoeksgebied

tussen ons bestaat, vertrouwen wij er op dat die discussies zullen leiden tot het instellen van een door Shell gesponsord Fellowship bij het CWI.

Het doet mij genoegen dat ik die mededeling vandaag kan doen, want uiteindelijk bestaat de SMC veertig jaar en heeft Shell aan de wieg gestaan bij de oprichting en heb ik net geprobeerd duidelijk te maken hoe belangrijk 'rekenen in de industrie' is en blijft.

Als de jaren gaan tellen wordt de uitspraak: 'Iemand is zo jong als hij zich voelt' wel eens wat vaker van stal gehaald. Ik hoop, dat het CWI zich niet alleen heel jong zal blijven voelen, maar dat *ook* in zijn activiteiten aan de buitenwereld duidelijk zal blijven maken.

Ik dank u voor uw aandacht.



# Strategie voor Onderzoek

Prof.dr. P.C. Baayen

*Wetenschappelijk directeur SMC/CWI*

Dames en Heren,

Het is opmerkelijk en verheugend te constateren hoeveel overeenstemming er is bij de drie eerdere sprekers vandaag over de betekenis van fundamenteel onderzoek, vandaag nader toegespitst naar fundamenteel onderzoek op de gebieden wiskunde en informatica. Ik mag misschien sommige van de argumenten pro onderzoek nog eens voor u herhalen. Gezegd is dat onderzoek een instrument is en soms ook een drijvende kracht voor vernieuwing bij het bedrijfsleven, aangedreven of ondersteund door researchlaboratoria of door het werk aan universiteiten.

Gezegd is dat onderzoek ook een groot economisch belang heeft, onderzoek leidt tot nieuwe producten, onderzoek draagt bij aan verhoging van productiviteit, onderzoek kan geweldige bijdragen leveren voor het beheersen van kosten. De heer Beckers gaf hiervan enige sprekende voorbeelden! Ook is uitgesproken vandaag dat wetenschappelijk onderzoek nodig is om het venster open te houden op de wereld. Een bedrijf als Philips, heeft de heer Rauwenhoff gezegd, ieder groot bedrijf dat aan zijn toekomst bouwt, moet zelf betrokken zijn bij wetenschappelijk onderzoek om te kunnen weten waarover men spreekt als men met onderzoekers elders in gesprek raakt. Men moet immers op het niveau van die onderzoekers het gesprek kunnen voeren, hun taal verstaan, men moet ook hun respect hebben en zelfrespect om dat gesprek op de juiste wijze te kunnen voeren. Onderzoek is noodzakelijk voor een juist zicht op de wereld. Tenslotte is gezegd, dat sommige van de beste resultaten van onderzoek ontstaan in de confrontatie van theorie en praktijk, in de samenwerking en wisselwerking tussen onderzoekers en industriële toepassers en gebruikers.

Op welke wijze is dat onderzoek gestructureerd? Daar is ook al wel wat over gezegd. Ik denk dat het totale veld veel te gecompliceerd is om in een paar woorden te vangen, maar laat ik toch een paar grote lijnen aangeven.

We hebben de universiteiten, die een heel belangrijke taak hebben, niet alleen bij het wetenschappelijk onderwijs maar juist ook bij het onderzoek. De initiatiefgroep voor de informatica-universiteit heeft de term 'research driven education' gebruikt. Bij de gevestigde universiteiten treft men dit aan, maar ook het tegenovergestelde: 'education driven research', en dat is geweldig belangrijk.

Een tweede groep instituten, in één geval zelfs een hele familie van instituten, waar onderzoek gebeurt zowel complementair aan als in samenwerking met de universiteiten en technische hogescholen, is de groep van de grote technische instituten (GTI's) en van de TNO-familie.

De industrie is genoemd, het Natuurkundig Laboratorium van Philips als goed voorbeeld en de laboratoria van Shell in Rijswijk en hier in Amsterdam. Ook kleinere onderzoeksgroepen bij de industrie mogen daarbij niet vergeten worden.

Als vierde noem ik dan toch nog even die centra, die er zijn in Nederland en waarvan wij een voorbeeld zijn met ons Centrum voor Wiskunde en Informatica, die je niet kunt onderbrengen bij de grote technische instituten en die toch, vrij van het bedrijfsleven, zelfstandig, ondersteund in ons geval via de Organisatie voor zuiver-wetenschappelijk onderzoek, een bijdrage leveren in het zelf verrichten van onderzoek, en die daarbij een brugfunctie vervullen tussen de onderzoeksgroepen die ik eerder noemde: de universiteiten, de grote technische instituten en TNO, en het bedrijfsleven.

Dat voert mij tot een vraag, of liever gezegd tot de veronderstelling dat er bij u een vraag zou kunnen ontstaan: 'Waarom moeten er naast universiteiten, GTI's en researchlaboratoria nog centra zijn zoals het Centrum voor Wiskunde en Informatica?'

In de toespraak namens minister Deetman zijn een aantal redenen genoemd. In een centrum als het CWI wordt als het aan zijn doel beantwoordt, fundamenteel onderzoek op hoog niveau verricht. Een dergelijk Centrum moet stimulerend en vitaliserend werken in zijn contacten met anderen, zowel naar het bedrijfsleven als naar de universiteiten en de meer technisch-gerichte instituten. Het moet een ontmoetingsplaats zijn in Nederland voor Nederlandse onderzoekers. Het moet een plaats bij uitstek zijn, waar nieuwe wetenschappelijke ontwikkelingen uit het buitenland bij de Nederlandse onderzoekerswereld worden geïntroduceerd, en een plek waar informatica-onderzoekers en bedrijfsleven met elkaar in contact komen. Deze vier, vanmorgen eerder genoemde, redenen voor een toonaangevend centrum zou ik nog wat verder willen uitwerken.

Een Centrum als het CWI moet een kweekbed zijn voor kader, voor hooggekwalificeerde onderzoekers en één van de produkten van een dergelijk centrum zijn die onderzoekers, die daarna ter beschikking komen voor de Nederlandse maatschappij. Een centrum als het CWI moet een aantrekkelijke



omgeving bieden voor bedrijven, bedrijven zoals Philips en Shell, die kunnen rekenen op een stuk belangstelling, op een gesprekspartner, op een klankbodem voor hun eigen onderzoeksinspanningen en voor hun eigen onderzoekers. Een centrum als het CWI moet ondersteuning bieden voor groepen van kleinere bedrijven, die zelf de, door de heer Rauwenhoff genoemde, 'noodzakelijke kritische massa', niet kunnen realiseren. Eén centrumfunctie, de ontmoetingsplaats, spreekt voor zichzelf, maar ik wil daar ook nog aan toevoegen dat het onderzoek een wereldwijd gebeuren is, of het nu om onderzoek in de wiskunde, in de informatica of in andere wetenschappen of techniek gaat. En in zo'n wereldwijd gebeuren moet je, als land, meedoen - er is een soort stilzwijgende, vanzelfsprekende taakverdeling - willen buitenlandse onderzoekers bereid zijn en blijven om met je samen te werken en hun kennis met je te delen. In die internationale arbeidsdeling heeft een centrum als het CWI zijn eigen plaats en zijn eigen taak.

Ik noem nog één laatste taak voor een centrum als het CWI. Een dergelijk centrum is ook een voorraad, een reservoir, een pool van deskundigen waarop een beroep kan worden gedaan door de maatschappij, zowel door de publieke sector als door het bedrijfsleven, als ook vanuit de richting van de universiteiten en het onderwijs, wanneer zich plotseling situaties voordoen waarbij een grote en brede inzet van deskundigheid gewenst is.

Het is natuurlijk mooi om zo'n theoretisch plaatje op te hangen en een aantal dingen op een rijtje te zetten, en te zeggen: 'Zo moet het allemaal zijn'; maar wat brengt het CWI daarvan terecht? Wat heeft het in het verleden ervan terecht gebracht en hoe denken wij in de toekomst dit verder uit te werken en te realiseren?

Laat ik met het verleden beginnen. Het is al gezegd, namens de minister, dat in 1946 Van Dantzig, Van de Corput en Koksma als trekkers, maar gesteund door een aantal anderen, het Mathematisch Centrum hebben opgericht met de duidelijke tweeledige bedoeling (die statutair ook is vertolkt) om bij te dragen aan de wederopbouw, de welvaartsverhoging in Nederland enerzijds en aan de cultuur in Nederland en de bijdrage van Nederland aan totale buitenlandse, internationale cultuur anderzijds.

Hebben zij in die eerste jaren kans gezien die doelstellingen die ik u noemde voor een centrum als het onze te realiseren? Is het Mathematisch Centrum, het CWI, bijvoorbeeld inderdaad er in geslaagd, een 'kweekbed' te zijn voor kader? Ik stel vandaag zulks inderdaad het geval is; een snel doornemen van oude personeelslijsten leerde mij bijvoorbeeld dat zo'n zeventig hoogleraren, voordat zij benoemd werden in Nederland of in het buitenland, tenminste een jaar aan het Mathematisch Centrum hebben gewerkt. Van die zeventig zijn er zo'n 15 in het buitenland werkzaam en zo'n 55 zijn in Nederland werkzaam geweest. Van die ongeveer 55 Nederlandse hoogleraren zijn er zeker een vijftiental hoogleraar in de informatica. In de afgelopen drie jaar alleen zijn er, vanuit de kringen van het Mathematisch Centrum, vier hoogleraren in de wiskunde benoemd en vijf in de informatica (ten dele deeltijdse

benoemingen: gelukkig kunnen wij nog voor een deel van hun werkkraft en van hun deskundigheid gebruik maken).

Is het Mathematisch Centrum een ontmoetingsplaats geweest? Nou en of: door de jaren heen zijn er vele colloquia, cursussen en voordrachten aan het Mathematisch Centrum gehouden en velen uit Nederland en uit het buitenland hebben aan die cursussen deelgenomen. Vorige week nog hadden wij hier een internationale conferentie over 'Teletraffic and performance-evaluation', waarin deskundigen uit de hele wereld participeerden; eerder in het jaar hadden wij een, op verzoek van CREST (Commission de Recherche d'Etude de Science et Technologie), van de Europese Commissie, georganiseerde, tweewekse cursus over beveiliging en cryptosystemen, waar ook weer velen vanuit Nederland en vanuit het buitenland aan hebben meegedaan. Iedere keer weer ontmoet men elkaar binnen de muren van het Mathematisch Centrum, het Centrum voor Wiskunde en Informatica. Ik heb nagegaan dat in de veertig jaar dat wij bestaan zo'n vierduizend buitenlandse onderzoekers hier op bezoek zijn geweest, voordrachten hebben gehouden en met mensen binnen ons eigen instituut of vanuit de Nederlandse universiteiten hebben gesproken. Tussen de twee- en de driehonderd onderzoekers hebben enige maanden tot een jaar hier als gastmedewerker doorgebracht en ook zij waren toegankelijk voor Nederlandse onderzoekers die met hen in contact wilden treden. De ontmoetingsfunctie is in het verleden zeker gerealiseerd.



FIGUUR 1. *Nederlandse en buitenlandse wiskundigen ontmoeten elkaar binnen de muren van het Mathematisch Centrum*

Heeft dit centrum de functie waargemaakt van een venster op wat er gebeurt in de wereld? Is door het Mathematisch Centrum inderdaad bijgedragen aan het naar Nederland halen van nieuwe ontwikkelingen en nieuwe theoretische inzichten? Ook die vraag kan naar mijn mening bevestigend worden beantwoord. Van Dantzig, één van de oprichters van het MC, heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan het introduceren van mathematische statistiek in het curriculum van de Nederlandse universiteiten. Hij heeft, samen met o.a. Kriens en later De Leve ook heel veel gedaan om Nederland bewust te maken van het belang van besliskunde, zoals operations research in zijn mond heette, en van linear programming. Om nog een voorbeeld te noemen: in de zestiger jaren waren het Lauwerier en De Jager die op het Mathematisch Centrum aandacht gaven aan de toen nieuwe techniek van distributies, generaliseerde functies, als een nieuwe aanpak bij het behandelen van differentiaalvergelijkingen. (Het colloquium dat vrijdags in, zeg, de even weken in Amsterdam werd gehouden, mocht ik zelf daarna in de oneven weken in Groningen nog eens over vertellen.) Daarbij ben ik tot nog toe voorbij gegaan aan de informatica: U hebt vanmorgen uit de mond van de heer Van Spiegel al gehoord, dat het het Mathematisch Centrum geweest is dat dit vak in Nederland heeft binnengehaald en inhoud gegeven.

Is het Mathematisch Centrum in de afgelopen periode ook een ontmoetingsplaats geweest voor het bedrijfsleven en onderzoekers? Ook dat is het geval. Door de jaren heen niet altijd even intens, maar zeker in de eerste periode en de laatste jaren opnieuw, hebben wij grote aantallen consulten verzorgd. In de eerste periode hebben wij ons beziggehouden met onderwerpen als watervoorziening, verzilting, landbewerking, oogstschema's; we hebben bij vele onderzoekingen die gesteund werden door ZWO statistische, numerieke en soms ook mathematisch-modellerende ondersteuning gegeven. Wij zijn ook nu nog, zij het op een andere wijze dan in die eerste periode, geregeld betrokken bij wetenschappelijk werk voor opdrachtgevers uit het bedrijfsleven.

Hebben wij ook een functie gehad als deskundigheidspool? Mag ik u nog eens een keer, bij ons veertigjarig jubileum, in herinnering brengen dat, toen in 1953 de overstromingsramp in onze delta plaatsvond, door het Mathematisch Centrum een behoorlijke inzet is gegeven aan de statistische, de mathematisch-fysische en de numerieke benadering van de totaal-problematiek, terwijl ook vanuit de besliskunde een belangrijke bijdrage is geleverd.

Maar dit is grotendeels verleden tijd. Bij een jubileum mag je omkijken, maar je moet ook vooruitzien. Wat is het CWI nu en waar gaan we naar toe?

Wat is het CWI? Een Centrum voor Wiskunde en Informatica. Laat ik die kernwoorden, Centrum, Wiskunde, Informatica even in omgekeerde volgorde mogen langslopen.

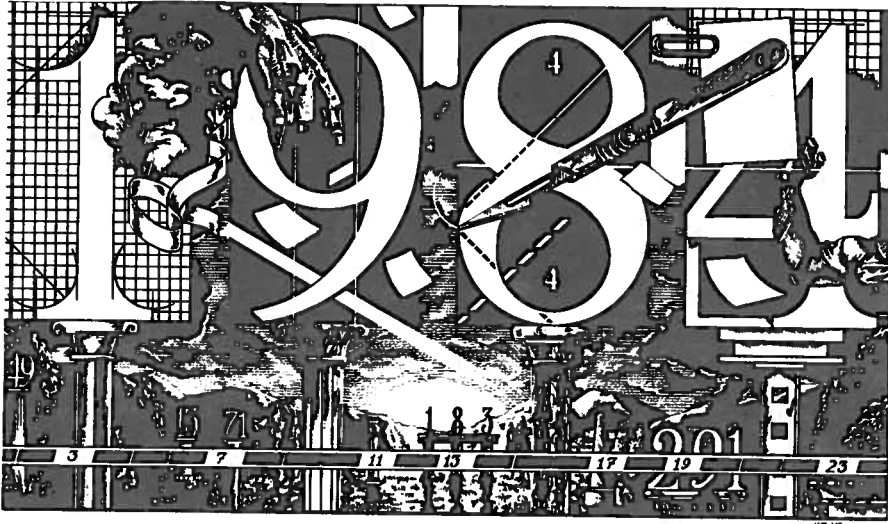
*Informatica.* Onderzoek in de informatica hebben wij verricht vanaf onze oprichting en, zoals vanmorgen gezegd is namens minister Deetman, is het een onderdeel van het beleid van de overheid dat het CWI zich nog verder

profileert als toonaangevend centrum in Nederland voor fundamenteel en strategisch onderzoek in dit vakgebied. De informatie-technologie heeft een sterke, nog steeds toenemende, invloed op heel het maatschappelijk gebeuren. Voor Nederlandse bedrijven liggen hier belangrijke mogelijkheden en die worden onderkend en uitgebuit. Maar om dat op een vóórtrekkende wijze te blijven doen, moet in Nederland deelgenomen worden aan het internationale grensverleggend onderzoek. Het CWI, dat zulks altijd al heeft nagestreefd, versterkt en verbreedt zijn participatie in het grensverleggend onderzoek dankzij de steun van de overheid in het kader van zijn Informatica-Stimuleringsplan, alsook van de Europese Gemeenschap, met name via ESPRIT (European Strategic Program of Research in Information Technology). Daarbij is ook een project op het gebied van de kunstmatige intelligentie geïnitieerd. De heer Beckers zei terecht dat Nederland tot nog toe onvoldoende inspanning heeft geïnvesteerd in onderwerpen als expertsystemen: 'Het lekkers moet van ver komen', zei hij. De taak voor het CWI lijkt m.i. vooral daarin op een dergelijk gebied methodologisch, fundamenteel onderbouwend, onderzoek te doen naar methoden en technieken vanuit de informatica ten behoeve van de kunstmatige intelligentie. (Daarbij mogen wij ons niet blind staren op een deelgebied als expertsystemen op zich, dat momenteel weliswaar midden in de belangstelling staat - zie bijvoorbeeld het recente OVUM-rapport<sup>1</sup> - maar waarbij het gevaar bestaat dat te zeer de aandacht beperkt wordt tot technieken uit de zeventiger- en ten dele zelfs de zestiger jaren.)

*Wiskunde.* Het is vandaag al een paar keer gezegd: wiskunde is een fundamentele dynamische factor in wereldwijde ontwikkelingen die economisch en sociaal van belang zijn. Wiskunde is de taal en de grondslag voor zowel de kwantitatieve als de kwalitatieve wetenschappen. Wiskunde is de dynamiek achter nieuwe gebieden van 'computational science' en wordt zelf diepgaand beïnvloed door de moderne faciliteiten voor rekenen en informatieverwerking.

De vitaliteit van de wiskunde kan ik niet beter aantonen dan door een aantal recente doorbraken te noemen, die vaak een gevolg waren van een kruisbestuiving van zeer uiteenlopende wiskundige disciplines en ook buiten vakkringen sterk de aandacht trokken: de classificatie van alle eindige simpele groepen (Norton, 1981, en vele voorgangers), het bewijs van de stelling van Mordell, waardoor onder andere nieuw licht werd geworpen op het eeuwenoude vermoeden van Fermat (Faltings, 1983), het bewijs van het vermoeden van Bieberbach (de Branges, 1984), de ontcrachting van het vermoeden van Mertens (te Riele, Odlyzko, 1984) en het verband tussen  $C^*$ -algebra's en de classificatie van knopen, met mogelijk nieuwe inzichten in de eigenschappen van DNA (Jones, 1985).

1. Expert Systems 1986, Vol I: USA and Canada, OVUM Ltd. London.



## The golden age of mathematics

FIGUUR 2. *In 1984 werd een aantal beroemde wiskundige problemen opgelost; vandaar dat de New Scientist er in haar editie van 18 april bijzondere aandacht aan besteedde*

Tegelijkertijd is er in de laatste decennia sprake geweest van een enorme verbreding van de toepassingen van moderne wiskundige technieken en inzichten in diverse andere disciplines. Enkele der recente Nobel-prijzen zijn toegekend voor werk in de astrofysica, geneeskunde, economie, scheikunde en natuurkunde, dat grotendeels wiskundig van aard was<sup>1</sup>. Ook hier bleek een belangrijke drijvende kracht de wederzijdse bevruchting van ogenschijnlijk ver uit elkaar liggende vakgebieden.

Ingaande op de vraag die de heer Beckers aan het eind van zijn voordracht stelde, of de hedendaagse wiskundige nog wel een 'wegbereider' kan zijn, of dat het gevaar reëel is dat zij allen worden omgeschoold tot informatici en computertechnici, kan ik gelukkig wijzen op recent werk waaruit blijkt dat er in ieder geval nu nog zulke wegbereiders rondlopen. Ik bedoel bijvoorbeeld het reeds bovengenoemde werk van Jones, of dat van Donaldson die door toepassing van recente ideeën uit de fysica (instantons) een moeilijk topologisch probleem oploste, dat implicaties blijkt te hebben voor de structuur van ons ruimte-tijd continuum.

Terug naar het CWI. Zoëven, aan het begin van de morgen, heeft de heer Van Spiegel in herinnering gebracht dat bij de oprichting het Mathematisch Centrum vier afdelingen telde; Zuivere Wiskunde, Toegepaste Wiskunde, Numerieke Wiskunde en Mathematische Statistiek. Op dit ogenblik is het aantal afdelingen groter; er zijn er een achttal, maar die vier genoemde zijn er nog

1. Zie Beleidsbegroting SMC 1986, p.1.

steeds. Daarnaast is er een afdeling Mathematische Besliskunde en Systeemtheorie opgericht (de andere nieuwe afdelingen moet u zoeken op het gebied van de Informatica: een afdeling Programmatuur, een afdeling Algoritmiek en Architectuur en een afdeling Interactieve Systemen). In de vijf wiskunde-afdelingen wordt onderzoek gedaan, ondersteund vanuit en in samenwerking met de informatica. Onderzoek dat van belang is, naar onze stellige overtuiging, voor de toekomstige ontwikkelingen van de wiskunde en de toepassingen daarvan.

Ik kan de verleiding niet weerstaan om op dit ogenblik even een citaat van Christopher Fry aan te halen, die over de vrouwen iets zegt dat u, mutatis mutandis, zo op de wiskunde kunt toepassen:

*'If every man gave up women in God's name  
where in God's name would be the men  
to give up women in a generation's time?'*

*Centrum.* Wij zijn, ik heb het al gezegd, een ontmoetingscentrum, een centrum voor fundamenteel onderzoek dat wij kiezen, gemotiveerd vanuit toepassingsvelden die wij naar beste vermogen proberen vast te stellen. Daarbij werden wij in het verleden geadviseerd door een Raad van Advies, voornamelijk bezet met raadsleden vanuit de universiteiten. Wij willen echter in toenemende mate de confrontatie met de praktijk, waar de heer Rauwenhoff over sprak, bij de keuze van ons onderzoek een zwaar gewicht geven. Het Curatorium van de Stichting Mathematisch Centrum heeft daarom besloten dat een nieuw adviesorgaan zal worden opgericht in plaats van de Raad van Advies, zoals die de afgelopen veertien jaar heeft gefunctioneerd; een adviesorgaan waarin juist ook vanuit het bedrijfsleven inbreng zal worden gevraagd. Ik hoop dat vanuit het bedrijfsleven de bereidheid zal bestaan om hieraan mee te werken. Wij zullen daarbij, in die confrontatie met de praktijk, streven naar samenwerkingsresearch. Op dit ogenblik doen wij dat al; wij zijn betrokken bij vijf ESPRIT-projecten; wij zijn, via een zevental STW-projecten, projecten gesubsidieerd door de Stichting Technische Wetenschappen, ook in contact met toekomstige gebruikers uit het bedrijfsleven; wij zullen in de toekomst samenwerken met o.a. Philips in een programma, gesteund door SPIN, het Stimulerings Projectteam Informatica Nederland. Deze samenwerkingsresearch is voor ons van groot belang. Wij hebben met grote voldoening geconstateerd dat onderzoek, in ESPRIT-verband bijvoorbeeld, heel interessant en heel fundamenteel onderzoek kan zijn dat uitstekend past binnen ons werkprogramma en dat stimulerend werkt, ook voor dat onderzoek dat wij zagezegd autonoom verrichten.

We zullen ook in opdracht onderzoek verrichten, maar dat ligt niet bovenaan in de la. Contract-research waarbij het bedrijfsleven alleen maar als opdrachtgever optreedt is niet een primaire doelstelling van het CWI. Die taak ligt in de eerste plaats bij de daarop toegespitste bedrijven zelf, in de tweede plaats bij de grote technische instituten. Voor fundamenteel onderzoek dat je strategisch kiest, is een confrontatie met de praktijk nodig, maar de praktijk

moet daarbij stimulerend, uitdagend op je afkomen en niet bepalend.

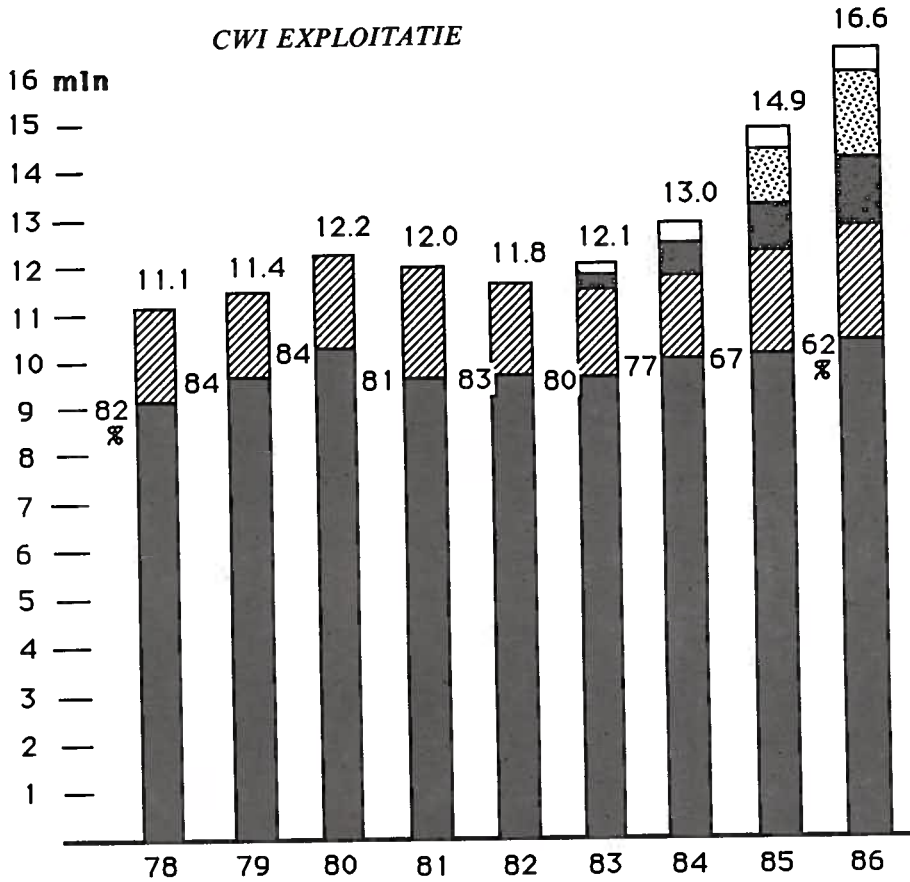
Er is heel veel gesproken vanmorgen over dit centrum, vroeger Mathematisch Centrum en nu Centrum voor Wiskunde en Informatica geheten, maar u weet wellicht nog nauwelijks, aan welke omvang u moet denken bij dit toonaangevend instituut voor strategisch en fundamenteel onderzoek. Wij zijn een instituut van de Stichting Mathematisch Centrum dat gesubsidieerd wordt door de Nederlandse Organisatie voor zuiver wetenschappelijk onderzoek. Op deze plaats wil ik met nadruk uitspreken dat niet alleen de subsidie, maar vooral ook de ondersteuning, het meedenken, het grote begrip dat bij ZWO altijd bestaan heeft voor het MC en voor zijn eigen problemen, van wezenlijk belang voor ons zijn geweest. Wij willen ZWO daarvoor heel hartelijk bedanken. Het diagram op pagina 40 spreekt verder voor zichzelf.

In dit verband wil ik hier nog een opmerking maken over het door minister Deetman vanmorgen vermelde feit dat Amerikaanse politici en ambtenaren weinig belangstelling tonen voor de wiskundewereld, getuige hun onwetendheid omtrent het zgn. David-rapport. Het is verheugend te mogen constateren dat het blote feit van die vermelding al aangeeft dat dit verwijt in ieder geval niet onze minister geldt!

Op een verjaardag moet je natuurlijk blij zijn met alles wat je gegeven is (en we hebben heel veel ontvangen in de loop van de jaren), maar misschien mag je ook wel een enkele wens uitspreken of een enkel aspect van de realiteit nog eens onder de aandacht brengen. In de jaren die achter ons liggen, hebben wij op zeer bescheiden wijze kunnen investeren in apparatuur. Dankzij het Informatica-Stimuleringsplan is daar in 1984 een sprong naar boven in gekomen, maar de middelen die via het Informatica-Stimuleringsplan aan het CWI ter beschikking zijn gesteld, zijn op dit ogenblik besteed, in die zin dat wat niet al uitgegeven is aan apparatuur inmiddels geblokkeerd is door aanstellingen (als regel met een aanstellingsduur van enige jaren). Al die nieuwe medewerkers verhogen wel de behoefte aan apparatuur en aan infrastructurele ondersteuning.

In het diagram op pagina 41 worden vergeleken de totale investeringen van het CWI de facto beschikbare subsidies enerzijds en de berekende behoefte aan computerapparatuur anderzijds. De berekening berust op gegevens uit het Snow-bird-rapport waarin een aantal universiteiten in de VS met elkaar onder ogen hebben gezien wat een redelijke ondersteuning zou moeten zijn. Omdat bij ons vrij veel theoretisch onderzoek wordt gedaan, hebben wij de uitkomsten nog wat naar beneden afgerond. In een recent rapport<sup>1</sup> van een workshop van mathematisch statistici in de VS wordt genoemd een bedrag van \$10.000/jaar per onderzoeker. Dat ligt dus (ook voor meer theoretisch onderzoek) iets hoger dan die fl 19.000 per medewerker per jaar die hier zijn aangegeven.

1. W.F. EDDY (1986). Report of a Workshop on the use of Computers in Statistical Research.

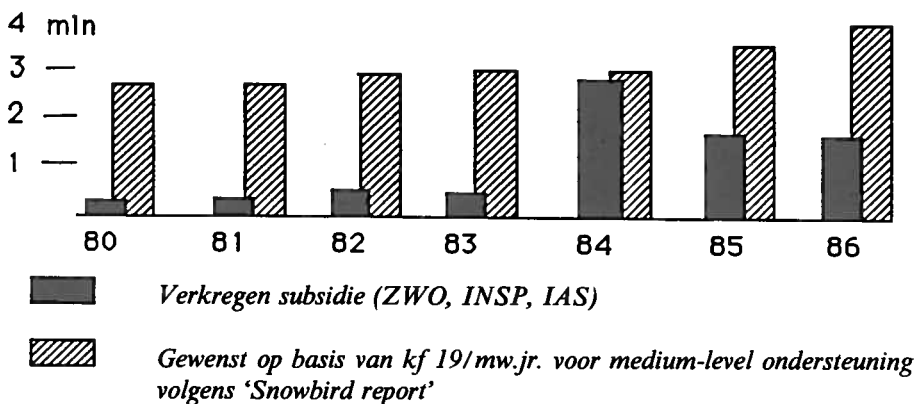


- ZWO regulier subsidie*
- Opdrachten, cursussen en overige inkomsten*
- Projectgebonden subsidies (o.a. ESPRIT)*
- Informatica-Stimuleringsplan*
- Integraal Apparatuur Schema O&W*
- Gedetacheerden by CWI (STW etc.) gekapitaliseerd*



Ik moet u zeggen dat het voor ons op dit ogenblik een grote zorg is dat onze apparatuur regelmatig ernstig overbelast is; wij zien onvoldoende op welke wijze wij op korte termijn kunnen voorzien in de toch echt noodzakelijke uitbreiding. Dat is niet de enige zorg waar we voor staan. Een andere zorg is dat wij uit deze comfortabele en aantrekkelijke behuizing barsten (het gebouw is ontworpen voor 175 medewerkers, we zijn er een paar jaar geleden met zo'n 150 man ingetrokken en we hebben op het ogenblik 210 mensen die hier binnen onze muren hun werk verrichten. En we zouden nog zo veel meer willen doen. We zouden stagiaires kunnen begeleiden, we zouden onderzoekers in opleiding hier wellicht een plaats kunnen geven, we zouden meer samenwerkingsresearch willen doen en meer gedetacheerden willen ontvangen. We hebben de ruimte niet; wij hopen dat daar op korte termijn in kan worden voorzien. Een laatste zorg is dat personeel soms ook moeilijk te krijgen is. Dat geldt vooral voor personeel in de informatica en meer nog voor technisch personeel dan voor onderzoekers: want dankzij de hoge kwaliteit en goede reputatie van ons onderzoek willen onderzoekers nog wel enige tijd bij ons komen werken.

#### *CWI INVESTERINGEN: verkregen vs. gewenst*



Voorzitter, dames en heren. De Stichting Mathematisch Centrum is 40 jaar geleden opgericht door een aantal enthousiaste onderzoekers, die ervan overtuigd waren dat onderzoek in de wiskunde, in de meest brede zin opgevat, wezenlijke bijdragen kon en moest leveren aan de wederopbouw van Nederland.

Ik heb u voorgehouden dat het MC en het CWI in deze 40 jaren de oprichters in het gelijk hebben gesteld. Wij delen nog steeds het enthousiasme van de oprichters en vanuit dat enthousiasme gaan we morgen weer aan het werk. De uitdrukking 'toonaangevend centrum' suggereert iets van een halo; maar ons streven was en is, gekend en gewaardeerd te worden om onze daden, onze resultaten. Want, om nog eens Christopher Fry aan te halen:

*'What, after all, is a halo? It is only one more thing to keep clean!'*

# Case Studies van CWI-Onderzoek<sup>1</sup>

Prof. L.G.L.T. Meertens  
*Chef afdeling Algoritmiek en Architectuur CWI*

Dames en Heren,

Wat ik u ga aanbieden, is een boeket veldbloemen die ik op het onderzoeksveld geplukt heb. Ik heb een aantal gevallen geselecteerd, want ik kan uiteraard niet in dit beperkt tijdsbestek laten zien wat hier allemaal gebeurt. Daarom moest ik selectiecriteria hebben. Ik heb er in de eerste plaats op geselecteerd dat het inderdaad om onderzoek ging en niet om het soort gevallen waarbij iemand binnenkomt die een probleem voorlegt waarop de onderzoeker zegt: 'O, dat staat daar in dat boek, hoofdstuk zoveel, vers zoveel, dat is precies uw geval'. Het moest dus echt om onderzoek gaan. Een tweede criterium was dat de motivering van het onderzoek extern moest zijn en niet omdat de onderzoeker het zelf zo leuk vond vanuit de dynamiek van het onderzoek om daar eens naar te kijken. Een derde criterium dat ik gehanteerd heb is dat het om recent onderzoek moest gaan en een vierde dat het leuk moest zijn. Nu weet ik natuurlijk niet wat u leuk vindt, dus heb ik dat maar zo gehanteerd dat ik heb uitgekozen wat ik zelf leuk vind.

## I. STROMING ROND EEN VLEUGEL

Bij het eerste onderzoek gaan we vliegen. Het gaat om luchtstromingen rond een vleugel. Dat is op zich een bekend probleem, waar veel werk aan is gedaan. Het gaat erom hoe dat op een handige manier aangepakt kan worden. Dit is een project dat gehonoreerd wordt door de Stichting voor de Technische Wetenschappen (STW). Het is verricht in samenwerking met het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR).

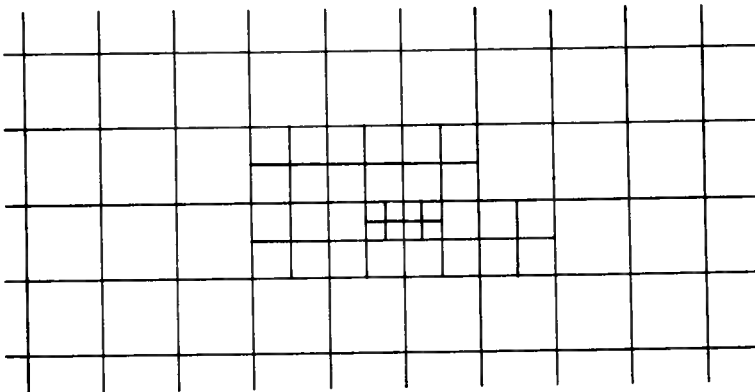
1. Dit is een redactioneel lichtelijk bewerkte weergave van de uitgesproken tekst.

We kennen de vergelijkingen voor de stationaire stroming rond een vleugel. Het onderzoek gaat om het stationaire geval. Na een tijdje stelt zich een soort evenwicht in en de vraag is: hoe zit dat evenwicht in elkaar? Als je dat weet kun je uitspraken doen over het dragend vermogen van die vleugel.

Deze vergelijkingen worden numeriek opgelost. Je maakt een rooster van puntjes en je berekent de waarde in die puntjes (discretisering). Er zijn verschillende methoden. Je kunt het 'eerste-orde' doen, dat is de meest voor de hand liggende manier. Maar dat heeft een aantal bezwaren: er is een behoorlijk fijn rooster nodig om het goed uit te kunnen rekenen en de discontinuïteiten worden niet zo mooi behandeld. Deze bezwaren verdwijnen bij 'tweede-orde' methoden. Maar daaraan kleven nieuwe bezwaren, namelijk stabiliteitsproblemen en iets wat in het Engels 'wigggle' heet (= 'gewriemel' of 'gewiebel').

Laten we even naar die roosters kijken. Als die een bepaalde vaste maaswijdte hebben, dan kan dat onvoordelig zijn. Stel dat u een net van correspondenten wilt opzetten in Nederland. Als u die correspondenten gelijkmatig over het land verdeelt, dan doet u iets onverstandigs: er zijn er te veel op de Veluwe en te weinig in Amsterdam. In gebieden waar weinig gebeurt, heb je eigenlijk niet zoveel informatie nodig, maar op die paar punten waar het gebeurt, heb je veel informatie nodig.

Dit bezwaar is te ondervangen met een vrij nieuwe methode waar hier op het CWI veel werk aan is verricht: een 'multirooster'-methode, die de maaswijdte laat verspringen. Ik heb hier een heel eenvoudig geval genomen, waarbij de maaswijdte gehalveerd kan worden; waar het erg interessant is zo nodig een aantal malen (zie figuur 1).



FIGUUR 1. *De multi-roostermethode wordt gekenmerkt door roosters met verspringende maaswijdte*

Voor juist het soort vergelijkingen waar het bij die vliegtuigvleugels om gaat (Euler-vergelijkingen) is op het CWI heel recent, vorig jaar, een zeer efficiënte

methode ontwikkeld. Dat is echter helaas een eerste-orde methode en we hebben zojuist gezien dat we voor die vleugel eigenlijk tweede-orde zouden willen rekenen.

Toen kwam er een idee. Stel, we hebben een eerste-orde stelsel, vereenvoudigd weergegeven door  $N_1 = 0$ . De onbekenden zitten in het linkerlid en we kunnen dit stelsel dan op de roosterpunten op de een of andere manier oplossen. Ook bij het tweede-orde stelsel  $N_2 = 0$  zitten links weer de onbekenden. Als zowel  $N_1$  als  $N_2 = 0$ , dan zou het verschil ook  $=0$  moeten zijn. Nu stel ik hier een nieuwe vergelijking op:  $N'_1 = N_1 - N_2$ . Als het goed is, is dat dus  $=0$ , dus het zelfde als het oorspronkelijke stelsel. Zie ook figuur 2.

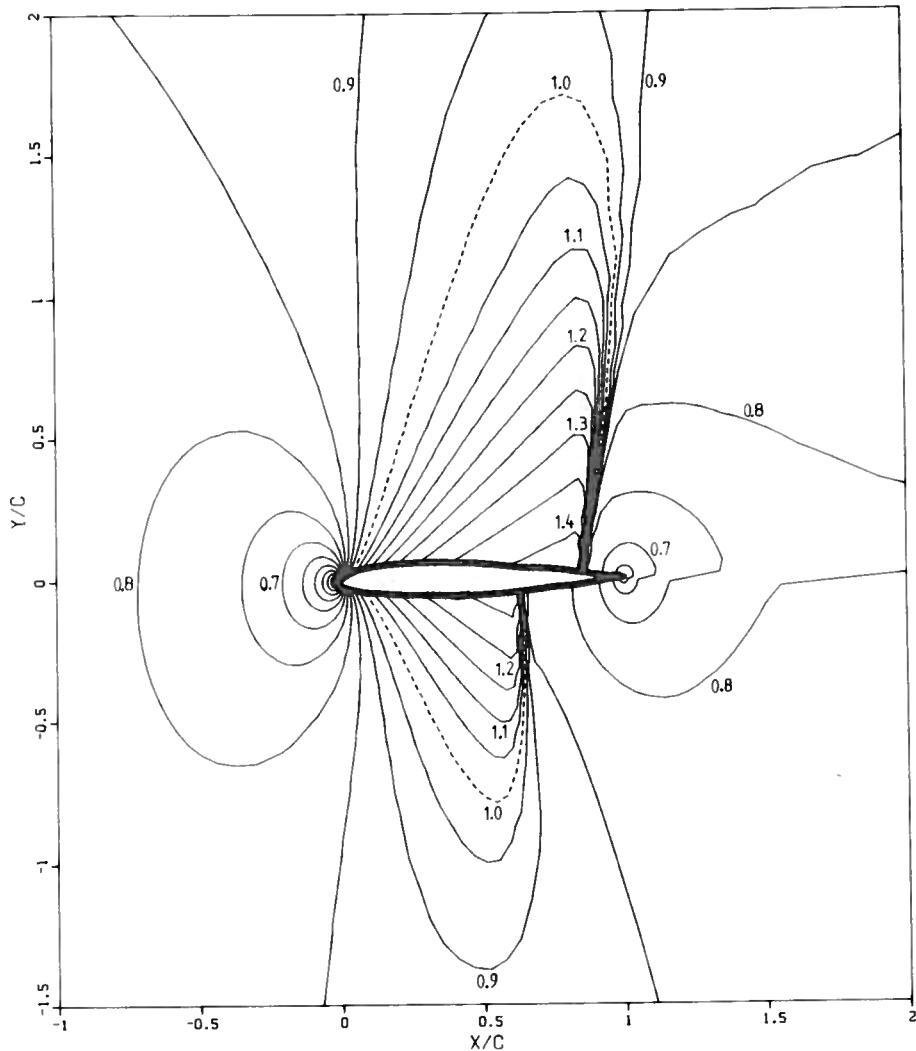
<i>Eerste-orde-stelsel:</i>	$N_1 = 0$
<i>Tweede-orde-stelsel:</i>	$N_2 = 0$
<i>Defect:</i>	$N_1 - N_2$
<i>Los nu (iteratief) op:</i>	$N'_1 = N_1 - N_2$ .
<i>Gebruik hiervoor de nieuwe multiroostermethode.</i>	

FIGUUR 2. *De methode van defect-correctie*

We gaan dit iteratief oplossen. We beginnen hier met in het rechterlid 0 neer te zetten en we lossen dan de onbekenden aan de linkerkant op. Dat is gewoon het stelsel wat we al hadden. De antwoorden voor de onbekenden zetten we aan de rechterkant erin en we lossen het stelsel opnieuw op. En dat herhalen we tot het convergeert, en dat doet het ook.

Als de oplossing nu geconvergeerd is, wat hebben we dan? Het convergeert omdat die  $N_1$  en  $N'_1$  eigenlijk hetzelfde zijn. Maar als dat zo is, dan heb ik eigenlijk  $N_2 = 0$ . Ik heb dus een oplossing van het tweede-orde stelsel,  $N_2 = 0$ . Dus naar de inhoud zijn we hier een tweede-orde stelsel aan het oplossen, maar als we naar de vorm kijken, dan zien we iedere keer rechts iets bekends staan en links het eerste-orde stelsel, dus naar de vorm zijn dit eerste-orde vergelijkingen. Hiermee heb ik aangetoond dat de wiskunde een prozaïsch gebeuren is, want als de wiskunde poëzie was, dan zouden vorm en inhoud één zijn, dat is hier dus niet zo.

Wat men in het algemeen doet is dit probleem twee-dimensionaal benaderen, dan stel je je voor dat die vleugel een oneindig lange cylinder is. De doorsnee is die van een vleugel, maar hij strekt zich in één richting oneindig uit (zie figuur 3). Dat is niet echt realistisch, het geeft wel redelijke antwoorden, maar niet echt de goede. Deze methode blijkt echter zo efficiënt te zijn dat deze het perspectief opent bij het ontwerpen van vliegtuigvleugels het probleem drie-dimensionaal door te rekenen.



FIGUUR 3. Machgetallen berekend voor een testgeval; goede overeenstemming met bekende oplossing

## 2. ADVIESSNELHEDEN

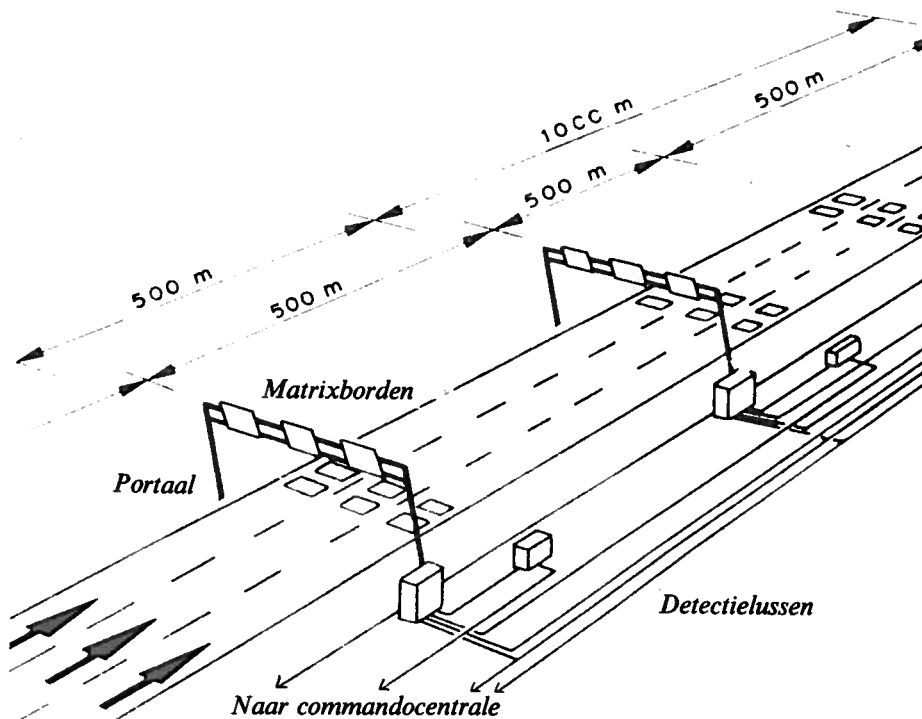
Het tweede geval was ook een STW-project, verricht in samenwerking met de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat.

Als u zich wel eens op de Nederlandse snelwegen begeeft, dan heeft u vast wel eens van die 'matrixborden' gezien die op een soort portaalhouder boven de weg zijn gespannen. Daar staat dan op dat u een rijstrook wel of juist niet moet nemen en er staan ook adviessnelheden op. Wat u misschien niet weet is

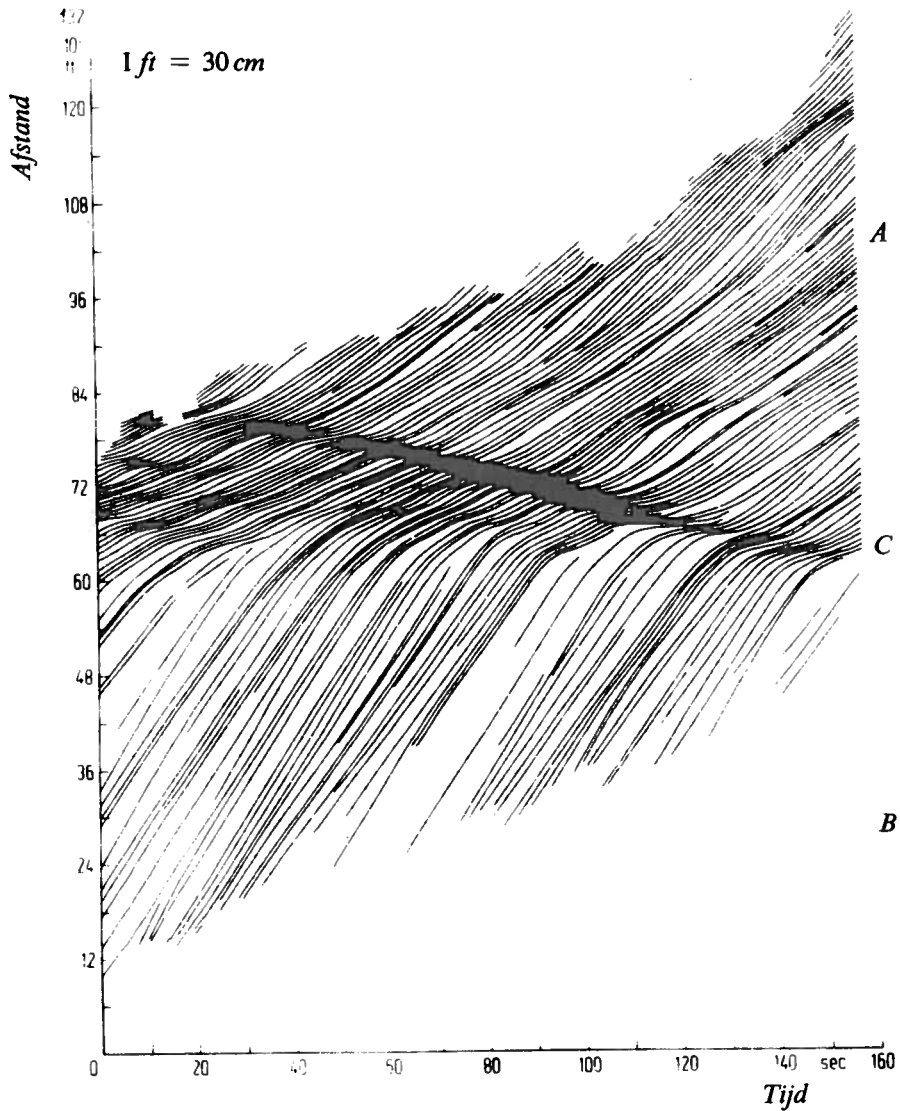
dat als u onder zo'n bord doorrijdt, u over een weg rijdt waar u gedetecteerd wordt (zie ook figuur 4). Er bevinden zich 'lussen' onder het wegdek die veranderingen in de magnetische flux kunnen constateren als er iets van metaal passeert en dat zal dan wel een voertuig zijn. Die gegevens worden doorgegeven aan processoren die langs de kant van de weg staan en die dat op hun beurt weer kunnen doorgeven aan centrale processoren. Er zijn dan operatoren die dat zien en op een gegeven ogenblik kunnen constateren dat er ergens niets meer langs komt, terwijl het ergens anders, bijvoorbeeld de rijbaan ernaast, juist heel erg druk is. Ze kunnen zo constateren dat er kennelijk een blokkade is en dan bijvoorbeeld rode kruisen opzetten en pijlen naar de andere rijbaan een eindje terug.

In feite gaat het hierbij in zekere zin nog om een proefproject. Het is nu operationeel in de buurt van Rotterdam en van Oudenrijn/Utrecht.

Het zou nu mooi zijn, als je dat detecteren niet alleen zou kunnen gebruiken om mensen naar een andere rijstrook te sturen als er een opstopping is, maar om van te voren zo'n opstopping te voorkomen door mensen tijdig het advies te geven wat langzamer te rijden.



FIGUUR 4. *Het signaleringssysteem*



FIGUUR 5. *Het ontstaan van een opstopping*

Hier is een plaatje uit de Amerikaanse literatuur dat iets laat zien over het ontstaan van een opstopping (zie figuur 5). Op de horizontale as is de tijd afgezet, op de verticale de positie. Ieder streepje is een voertuig. U ziet voertuigen betrekkelijk langzaam rijden (A) en een stroom van voertuigen (B) die met hoge snelheid daar op inrijden, op een gegeven moment moeten gaan afremmen en tot stilstand komen zodat een opstopping (C) ontstaat.

De probleemstelling is nu: we hebben een continue stroom van meetgegevens van de langskomende auto's en we willen adviessnelheden bepalen



voor een optimale doorstroming. Dit is een moeilijk probleem. Laten we maar eens beginnen dat in een aantal deelproblemen te ontbinden.

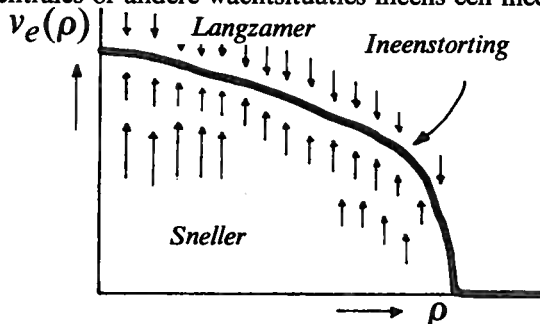
Het eerste deelprobleem is: bouw een model van hoe dat verkeer werkt. Het tweede is de bepaling van de modelparameters (parameter=variabele, grootheid) uit de gegevens die binnenkomen. Het derde is: hoe kan men op basis daarvan voorspellingen doen van wat er zal gebeuren? En dan het laatste probleem: bepaling van de strategie om dan de zaak te regelen.

Dit onderzoek is nu in voortgang en u zult zien dat we aan dit laatste punt nog niet echt zijn toegekomen.

Eerst de modellering. Er is een aantal redenen, die ik hier niet zal noemen, om dat niet per voertuig bij te gaan houden, maar daar een macroscopisch model voor te hanteren alsof er een min of meer homogene stroom over die weg rijdt, alsof die auto's een soort stroop zijn: een vloeistofachtig model waar dan stroming in plaatsvindt. Dan kun je elk baanvak of elke positie karakteriseren met twee parameters: de dichtheid van de stroom ( $\rho$ ) en de stroomsnelheid ( $v$ ). De doorstroming is het produkt van die twee parameters. Als je in een file zit, dan is daar de dichtheid heel hoog (zoals de Amerikanen dat plastisch uitdrukken: bumper to bumper), maar de snelheid is heel laag en daarmee het produkt, de doorstroming ( $\rho v$ ), ook.

Die twee grootheden variëren in de tijd en hangen op de een of andere manier af van de dichtheden en snelheden op andere plaatsen en tijden. De kunst is hiervoor wiskundige uitdrukkingen te vinden. Voor de dichtheid gaat dat heel gemakkelijk, dat is gewoon de simpele behoudswet dat er geen auto's opeens verdwijnen. Voor de snelheid is het wat ingewikkelder. Zelfs in spitsituaties heb je onderdelen waar de dichtheid laag is en snelheden hoog, e.d.

Drie effecten zijn, naar wij stellig vermoeden, voldoende voor een redelijke beschrijving van het verkeer. Allereerst het effect dat zich bij een gegeven dichtheid een snelheid instelt. Als de zaak erg dicht zit, dan gaan de auto's langzamer rijden. Is er niemand op de weg, dan haalt men een snelheid van 100 km per uur of misschien iets hoger. Er is dus een tendens om, als je onder die snelheid zit, op te trekken en boven die snelheid naar beneden te gaan. In een realistisch geval zal deze functie opeens instorten (zie figuur 6). Voor een bepaald bereik van de parameters kan de weg het niet meer aan, zoals je ook bij telefooncentrales of andere wachtsituaties ineens een ineenstorting krijgt.



FIGUUR 6. Bij iedere dichtheid  $\rho$  hoort een evenwichtssnelheid  $v_e(\rho)$

Hierover is een heleboel bekend, maar het handigste is waarschijnlijk om dat gewoon zo uit de praktijksituatie te halen.

Ten tweede is er een effect dat de bestuurder zich niet alleen instelt op de directe voorganger, maar ook wat vooruitkijkt. Als ze zien dat het verkeer verderop optrekt of inhoudt, dan doen ze dat zelf ook. En dan is er een derde effect dat wel wat lijkt op de behoudswet: als er auto's het baanvak binnenrijden die bijvoorbeeld sneller rijden dan wat er al reed, dan stijgt daarmee de gemiddelde snelheid. Dat is dus een eenvoudige vergelijking.

Met het verkregen model kunnen we al gaan voorspellen. We kunnen gewoon de tijd vooruit laten lopen en dan veranderen de dichtheid en de stroomsnelheid en weten we wat er gebeurt. Als dat onbegrensd nauwkeurig zou zijn, dan zouden we die sensoren langs de weg niet meer nodig hebben. Dan laten we gewoon dat model alles uitrekenen en dan weten we wat er op de weg gebeurt. Er zijn twee redenen waarom dat niet werkt. Eén is een nogal grove reden: het traject is maar begrensd en we weten niet wat er aan de ene kant binnenkomt, dus na een tijdje weet je niets meer. Een andere reden is dat het uiteraard een model is en niet het echte rijgedrag, bijvoorbeeld er zitten automobilisten tussen met individueel gedrag, bijvoorbeeld iemand die opeens remt zonder duidelijke reden en dergelijke. Dat soort dingen gebeurt gewoon. Dus moet je de parameterwaarden die je krijgt door de modelvoorspelling te nemen, later nog aanpassen bij wat er echt gebeurt. Daar kun je schattingstheorieën op toepassen en je kunt zelfs formules opstellen die je precies vertellen wat de optimale schatter is aan de hand van alles wat je gemeten hebt.

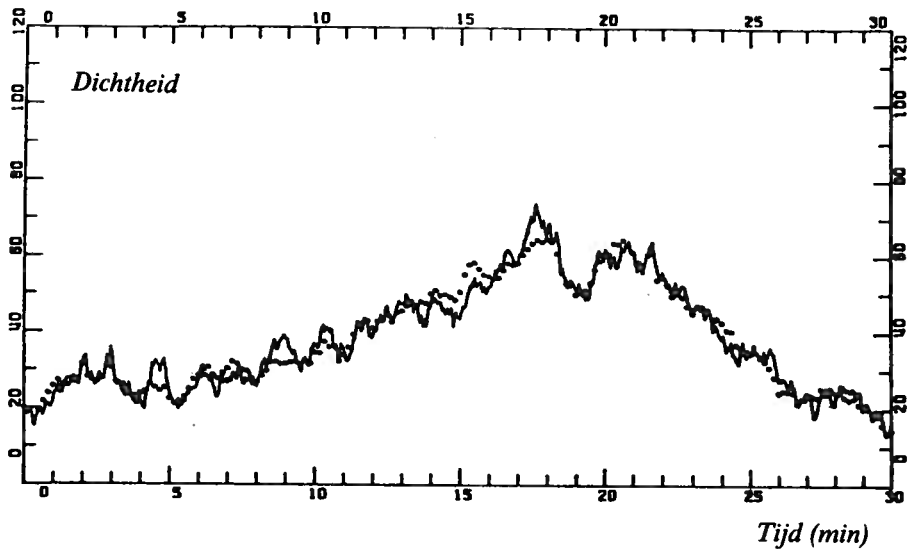
Er zijn twee redenen waarom we dat niet doen: een reden is dat het nogal ingewikkeld en dus duur is om uit te rekenen. Maar er is nog een heel andere belangrijke reden: je wordt te gevoelig voor detectiefouten, want er raken wel eens voertuigen zoek. Die detectoren hebben nu eenmaal een bepaalde gevoeligheid en als iets net op die grens van de gevoeligheid zit, bijvoorbeeld twee voertuigen die vlak achter elkaar rijden of iets dergelijks, dan zal de ene detector het voertuig misschien wel zien en de volgende net niet, en dan is er een voertuig verdwenen of komt er een voertuig bij.

Het effect van die optimale schatter zou zijn dat als je echt uitgaat van wat die detectoren je melden en je hebt twee detectoren waarvan de één gevoeliger is dan de volgende, dan rijden er steeds voertuigen het baanvak binnen die het niet meer verlaten en dan zou dus het systeem na een tijdje denken dat er tientallen, honderden, duizenden voertuigen op dat baanvak zijn, die bovendien nog snel rijden ook. Dat is dan echt een reden om in paniek te raken, in modeltermen. Dat moeten we dus anders doen.

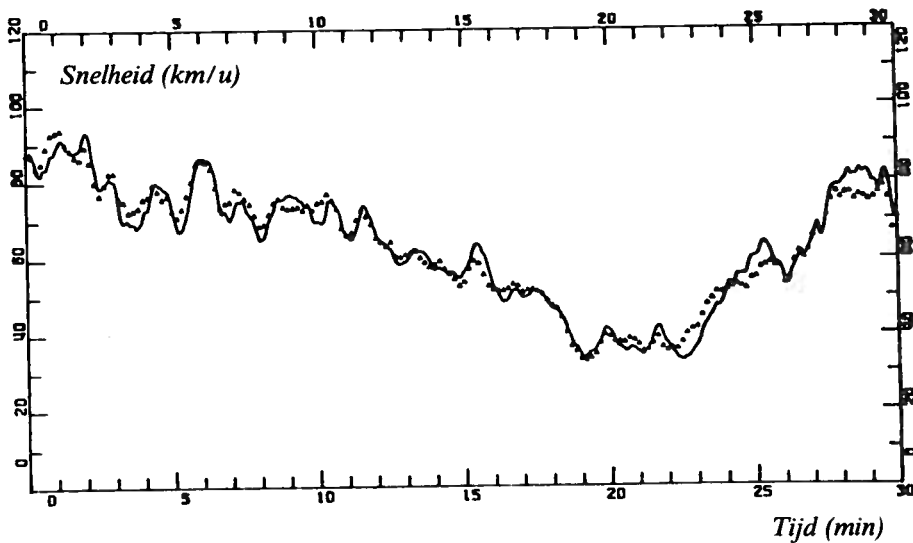
We weten bij een bepaalde detector hoeveel voertuigen er gepasseerd zijn. Als je daarvan de variatie in de tijd neemt, geeft je dat de intensiteit van het verkeer. Die kennen we ook uit het model, namelijk het produkt van  $\rho$  en  $v$ . Idealiter zouden die twee grootheden dus gelijk moeten zijn, maar dat zijn ze natuurlijk niet. Dan moet je naar het verschil gaan kijken, dat vertelt je dan

hoe goed je model op dat moment de werkelijkheid weergeeft. Bouw nu in het model een correctieterm in, die op de een of andere manier de parameters  $\rho$  en  $v$  bijstuurt. De manier van bijsturing doet een beetje denken aan hoe je in de regeltheorie iets bijstelt. Wat hier bijgesteld wordt, is niet iets externs zoals de temperatuur, maar iets interns, nl. die parameters.

We hebben hier nu een adaptief model dat zich, ook als het er flink naast zit, toch weer bijstelt en dat ook nog vrij snel doet. In bijgaande figuur (zie de figuren 7a en b), ontleend aan een promotie-onderzoek in Nijmegen, blijkt dat zo'n model ook dit soort fluctuaties aardig kan bijhouden. De dichtheid komt hier overigens uit een simulatieprogramma.



FIGUUR 7a. *Dichtheid uitgezet tegen de tijd: simulatieresultaten (getrokken lijn) en geschatte waarden (punten)*



FIGUUR 7b. *Snelheid uitgezet tegen de tijd: simulatieresultaten (getrokken lijn) en geschatte waarden (punten)*

Tot slot nog iets over de regelstrategieën. Daar is nog geen onderzoek aan gedaan, maar het model geeft een aantal mogelijkheden aan voor wat je zou kunnen doen. Je kunt namelijk met een model voorspellen. Let even niet op wat er binnenkomt, maar reken een eindje door en dan zie je een opstopping ontstaan. Nou, je zou dat voorspellen kunnen doen met alternatieve snelheden en dan die combinatie kiezen die de beste doorstroming geeft. Dat zou nogal duur zijn om te doen, omdat er erg veel mogelijkheden zijn. Aan de andere kant heb je op een gegeven moment al de optimale snelheden ingesteld en dan hoef je alleen per geval kleine variaties daar in de buurt te bekijken.

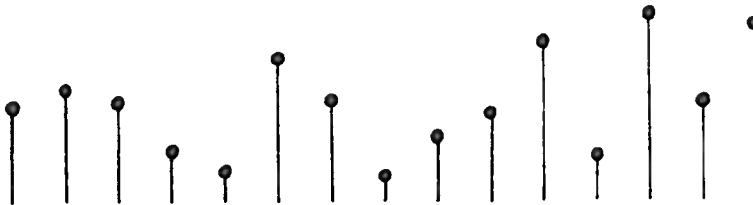
Een andere mogelijkheid, die waarschijnlijk qua rekenwerk veel beter uitkomt, is uit het model als het ware vooruitrekenen wat de optimale snelheden geweest zouden zijn en dan lijnen terugtrekken vanwaar de opstopping zich voordoet. Zelfs als je gewoon rechte lijnen neemt, krijg je al betere adviessnelheden dan wat er bekend is. Hier kan natuurlijk veel aan gesimuleerd worden en dat zal op een gegeven ogenblik ook in de praktijk bijgesteld moeten worden, omdat er een effect zal zijn dat we nu nog niet kennen: wat zal een automobilist zich aantrekken van het gegeven advies?

### 3. BASISPEIL

Het volgende onderwerp is weer in opdracht van Rijkswaterstaat, maar nu de 'natte' waterstaat, we gaan nu echt het water in. Een van de redenen waarom ik dit onderwerp leuk vind is dat dit in zekere zin een vervolg is op het al eerder op deze dag genoemde onderzoek aan de problematiek rond de Deltawerken na de waternoodsramp van 1953, waar hier op het Centrum erg veel werk aan is verricht, onder andere op statistisch gebied. Dit is een statistisch onderzoek. Het basispeil is gedefinieerd als dat peil van de buitenwaterstand dat gemiddeld precies eens in de tienduizend jaar wordt overschreden. En het probleem is om dat peil te schatten uit de bekende waarnemingen van de waterstanden.

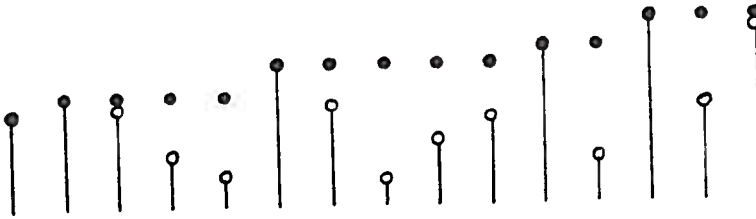
Daaraan is hier al eerder onderzoek verricht, maar er bleven een paar problemen liggen en om die reden heeft de Deltacommissie indertijd in haar eindrapport geadviseerd daar later een vervolgonderzoek voor op te starten, wat inmiddels begonnen is. Een der problemen was dat voor sommige gebieden de waarnemingsreeksen te kort waren om op grond daarvan uitkomsten te produceren. Een ander probleem is dat het gemiddelde niveau van de zeespiegel rijst en dat was niet in de eerdere berekeningen verdisconteerd - toen was het ook nog onvoldoende bekend - en zo iets geldt ook voor de getijverschillen, die ook door bepaalde effecten groter worden (dat zou ook verdisconteerd moeten worden).

We hebben nu dertig jaar meer gegevens. We hebben betere statistische methoden (daar gaat dit verhaal eigenlijk over) en, wat niet onbelangrijk is, we hebben meer rekencapaciteit. Want zonder dat zouden we ook met die betere statistische methoden weinig kunnen doen. Welke methode gebruik je nu voor iets dergelijks? Het heeft te maken met de extreme waarden in stochastische grootheden. We hebben een rij waarnemingen en nemen aan dat die getrokken zijn uit een bepaalde kansverdeling (zie figuur 8).



FIGUUR 8. Een rij onafhankelijke waarnemingen met dezelfde kansverdeling

Iedere waarneming is uit dezelfde kansverdeling getrokken en alle trekkingen zijn onafhankelijk. Dan kunnen we uit die gegevens een nieuwe rij gaan bepalen van waarden die tot dan toe het hoogst geweest waren, de recordhouders. De eerste waarde is natuurlijk altijd recordhouder. Als de tweede iets hoger is, neemt die het record over. De derde is iets lager en het record blijft op de tweede staan, enzovoorts. We krijgen hier dus een niet-afnemende rij (zie figuur 9).



FIGUUR 9. *De niet-afnemende rij van de op ieder moment tot dan hoogste opgetreden waarneming*

Volgens een recent resultaat uit de statistiek kun je zo'n rij zodanig omschalen dat je een nieuwe rij stochasten krijgt met een nieuwe kansverdeling die, als hij convergeert, een exponentiële vorm heeft. Er zit één parameter  $k$  in en afgezien van die parameter kunnen we, onafhankelijk van het type van de oorspronkelijke kansverdeling, iets zeggen over de kansverdeling van dat eindgeval. Voor het limietgeval  $k \rightarrow 0$ , krijgen we dan een dubbel exponentiële vorm (zie ook figuur 10). Deze functie is in feite gebruikt bij de studie die hier op het Centrum eerder is verricht, toen in het kader van het rapport van de Deltacommissie.

*Als de kansverdeling van de record-rij convergeert (na een 'goed gekozen' normerende omschaling) heeft deze de vorm*

$$G_k(x) = e^{-(1-kx)^{\frac{1}{k}}},$$

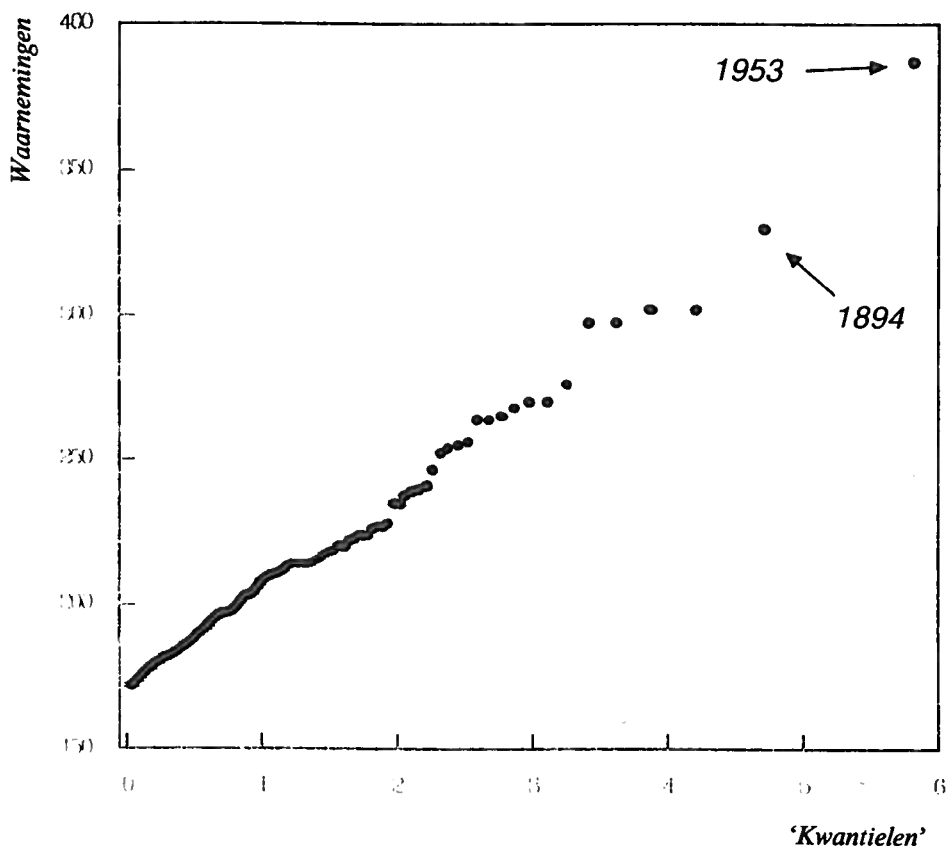
*met als speciaal geval ( $k \rightarrow 0$ )*

$$G_0(x) = e^{-e^{-x}}.$$

*Deze laatste vorm is bij de studie voor het 'Deltarapport' gebruikt.*

FIGUUR 10. *De exponentiële functies*

Waarom is toen  $k = 0$  genomen? Om te beginnen was dit allemaal nog niet zo goed bekend, maar bovendien was er een reden om aan te nemen dat dit ook goed klopt, want je kunt een plaatje maken waar de waarnemingen zijn afgezet tegen de inverse van de kansverdeling van het bijbehorende 'kwantiel' voor het geval  $k = 0$ . Dat zou dan een rechte lijn moeten opleveren. U ziet dat het resultaat een rechte lijn vrij aardig benadert (zie figuur 11).



FIGUUR 11. *Bewerkte waarnemingen afgezet tegen (inverse) kansverdeling ( $k=0$ )*

Het probleem is echter dat er geen theoretische reden is dat  $k = 0$  zou moeten zijn. U ziet in figuur 10 een echte uitschieter, dat was de ramp van 1953 en de op één na hoogste was 1894. Ik weet niet of dat een grote ramp was, maar dat was kennelijk toch een flinke uitschieter. Een probleem hierbij is dat je niet zeker weet dat het een rechte lijn is. Want stel bijvoorbeeld eens dat je 1953 niet weet, dan zou je wel eens kunnen denken dat het een aardige benadering is van een rechte lijn, maar die van 1953 ligt er dan echt boven. Maar als je nu alleen naar de hogere waarnemingen kijkt en daar een rechte lijn door legt, dan kloppen de lagere waarnemingen weer niet. Het feit dat er een knik in zit, is juist een bewijs dat  $k$  niet nul is. En als dat juist voor de hogere waarnemingen knikt, dan voorspel je behoorlijk verkeerd. Het is dus wel handig om ook iets te kunnen zeggen over die waarde van  $k$ .

Nu zijn er nog diverse complicaties, zoals: die hoge waterstanden die we

meten, zijn niet onafhankelijk. Ze zijn niet gegarandeerd uit dezelfde kansverdeling getrokken, want het gedrag is 's zomers anders dan 's winters. Die problemen kun je oplossen door een flinke datareductie. Kijk nu eens alleen naar de winter, het seizoen waarin veel stormen optreden, veel depressies langs komen, dat vertelt je wel iets over de ergere gevallen. Pik daar dan waarnemingen uit die behoorlijk ver uiteenliggen, dan kun je redelijkerwijs aannemen dat dat onafhankelijke verdelingen zijn. En die traditionele methode, die ook bij het eerdere onderzoek is gebruikt, dient dan alleen om de jaarmaxima te bekijken. En dat werkt goed wanneer je weet wat  $k$  is, want dan heb je wel genoeg gegevens. Maar als je niet weet wat  $k$  is, dan heb je eigenlijk te veel gegevens weggegooid om nog te kunnen schatten. Daarom is een moderne schattingsmethode toegepast. Kies op een slimme manier een drempel en kijk naar alle waarnemingen die daar boven liggen. Daarover kun je dan ook weer een uitspraak doen wat betreft de kansverdeling. Je kunt daarvoor een formule opstellen die alleen goed is voor de hoge waarden en daar gaat het hier vooral om. Met behulp van die nieuwe kansverdeling kun je nu op grond van meer gegevens waarden gaan schatten. Daar komt een aantal dingen uit. Ten eerste dat inderdaad  $k$  vrij dicht bij nul ligt, maar niet echt nul is. Je krijgt dan een andere schatting van het basispeil, dat komt ongeveer een meter lager uit. Aan de andere kant heb je in beide gevallen een betrouwbaarheidsinterval waar je als statisticus rekening mee moet houden. Dat komt ongeveer aan weerszijden een meter groter uit, op grond van het feit dat je ook die  $k$  zit te schatten, dus al met al maakt dat voor het eindadvies weinig uit.

Uit het onderzoek is ook naar voren gekomen dat er nog een aantal niet verwaarloosbare effecten is, zoals het feit dat het maansbaanvlak in de ecliptica schommelt.

Het onderzoek wordt nog voortgezet. Men kijkt bijvoorbeeld of het mogelijk is om speciaal voor deze verdeling efficiëntere schatters voor  $k$  op te stellen, want op dit moment is het met de grootste aannemelijkheid geschat. Heel nieuw is het gebruik van meer-dimensionale extrematheorie, waar onder andere het onderzoek van De Haan en Resnick betrekking op had.

Het maakt een aanzienlijk verschil of die kansen waar het over gaat betrekking hebben op een overschrijding op één plaats, dat er zeg maar één dijk wordt overspoeld, of dat het over de gehele kust in gelijke mate gebeurt. Dat maakt economisch ook een groot verschil. En het is handig als je daar iets over kunt zeggen. Dat onderzoek zal doorgaan, met correcties voor een aantal effecten, zoals ik net al noemde van bijvoorbeeld het maansbaanvlak.

#### 4. GEFASEERDE OMSCHAKELING ACCEPTGIRO-APPARATUUR

Goed, nu duiken we een geheel andere wereld in. We zijn weer op het droge: acceptgiro-apparatuur. U hebt misschien gemerkt dat de postcheque- en -giro-dienst, nu Postbank geheten, aan het overschakelen is van stevige kaarten op slappe formulieren. Er worden nogal wat acceptgirokaarten verstuurd, zo'n 100 miljoen per jaar, door een duizendtal grote aanmakers (incassanten). De grootste zijn natuurlijk wel veel groter dan de kleinste van die duizend. Stel nu



eens dat alle incassanten tegelijk zouden overgaan op slappe formulieren, dan zou de PTT ineens overal de apparatuur moeten vervangen. Dat wilde men natuurlijk niet, om allerlei redenen. Ten eerste zou dat een gigantische investering ineens zijn. Ten tweede haal je dan de kinderziekten er niet uit en moet je ook nog al die mensen opleiden om de apparatuur te bedienen.

De postcheque- en -girodienst wilde dus gefaseerd verwerkingsapparatuur gaan inschakelen. Men moest dan ook gefaseerd die incassanten toelaten tot het gebruik van slappe formulieren. De incassanten wilden echter natuurlijk wel in één keer overschakelen en niet half de oude apparatuur gebruiken en half de nieuwe, dat zou niet praktisch geweest zijn. Er moest dus een schema komen van wanneer welke incassant aan de beurt zou zijn.

Nu zou je kunnen zeggen: eerst de eerste, dan de tweede, enz. Maar het probleem is dat verschillende incassanten een heel verschillend profiel kunnen vertonen wat betreft het aanbod van die kaarten. Bij een boekverzendhuis bijvoorbeeld zal dat vermoedelijk allemaal min of meer gelijkmatig gaan, alleen in de vakantiemaanden wordt het wat minder, en rond Sinterklaas en Kerstmis is er een hausse. Maar een instelling als de ANWB heeft diverse diensten die in één keer acceptgirokaarten aan de leden versturen. Daarna duurt het voor sommigen enige tijd voordat ze het formulier insturen, het aanbod gaat dus niet zo direct naar beneden. Dan komt er nog een herinnering of zoiets. Dan is het weer vakantie. Misschien nog een derde herinnering en volgend jaar is het weer hetzelfde profiel.

Dit is één complicatie. Een tweede is dat de PCGD niet een draaiboek wilde hebben, maar een methode om zelf dat draaiboek op te kunnen stellen. Verder wilden de klanten allemaal graag op die nieuwe apparatuur overschakelen, maar sommigen konden daar niet mee wachten, omdat ze anders nog een vernieuwde versie van de oude apparatuur hadden moeten kopen. Anderen daarentegen wilden juist liever even wachten omdat er nog mensen getraind moesten worden in het gebruik van die apparatuur.

In ieder geval, gegeven enerzijds de groeiende capaciteit van de dienst als functie van de tijd en anderzijds de profielen van de incassanten en hun individuele wensen, was de probleemstelling een methode op te stellen, die ervoor zorgt dat het aanbod van de toegelaten incassanten niet de verwerkingscapaciteit van dat ogenblik zou overschrijden, niet nu en niet in de toekomst. Je zou dat gemakkelijk kunnen realiseren door iedereen pas helemaal aan het eind toe te laten, als alle capaciteit er is. Maar dat was niet de bedoeling: de overcapaciteit zou zo laag mogelijk gehouden moeten worden. Bovendien moest ook nog met de individuele wensen rekening gehouden worden.

Nu is er wel een methode om onder deze voorwaarden het optimale draaiboek op te stellen, maar die methode is echter te complex. Niet in wiskundige zin, want het is gewoon een lineair programmeringsprobleempje, maar het zou te duur worden om uit te rekenen. Daarom is gekozen voor een heuristische methode, in dit geval in twee fasen: begin met een soort benadering en verbeter die dan. De eerste fase gaat als volgt. Ieder van die incassanten had een voorkeursdatum. Stel nu eens dat dat ook de invoeringsdatum zou kunnen zijn.

Je krijgt dan een bepaald patroon, van de gewenste capaciteitstoename in de tijd. Als dat zou passen binnen het werkelijke capaciteitspatroon, dan zijn we klaar. In de praktijk past dat natuurlijk niet. We schuiven ze dan allemaal bijvoorbeeld een maand naar achteren. Misschien past het dan nog niet, dan schuiven we ze nog eens een maand op, net zo lang totdat het wel past. Dat is dan de eerste benadering.

In fase twee kijken we naar de eerlijkheid. Er is altijd wel iets oneerlijks aan als je moet vertragen, want iedereen had graag eerder gewild en voor de een is vertraging erger dan voor de ander. Kijken we nu naar wie er het slechtst van afkomt en nemen we dat even als maatstaf. Het is duidelijk dat het dan niet beter kan dan we hier al bereikt hebben. Er moet altijd iemand minstens met dat bedrag vertraagd worden. Want stel eens dat ze allemaal naar voren geschoven zouden kunnen worden, in een andere oplossing. Dan zou ik de achterste dus ook iets naar voren kunnen schuiven. Maar die achterste die pas later zou zijn ingevoerd, heeft geen invloed op wat er met de vorige gebeurt. Dan kan ik dus de voorlaatste ook iets naar voren halen, enzovoorts. Dan had ik dus in de eerste fase een ander antwoord gekregen. Nu kunnen we dit nog verbeteren, omdat sommige mensen wel degelijk naar voren zullen kunnen. Een incassant die naar voren kan, in de zin van dat het wat hem betreft en wat betreft de capaciteit kan, noemen we 'vervroegbaar'. Neem van de vervroegbare incassanten degenen die maximaal vertraagd zijn en kies daaruit degene die het minste beslag legt op de capaciteit in die periode waarin we proberen te vervroegen. Deze incassant zetten we iets naar voren toe en dat herhalen we tot er niemand meer vervroegbaar is.

Met deze methode is experimenteel vastgesteld dat dit resultaten gaf die de optimale zeer goed benaderen en razendsnel tot stand komen. Je kunt gewoon even wat veranderen, experimenteren en je krijgt meteen weer een antwoord. Een extra voordeel voor de PTT was dat het ook achteraf altijd mogelijk is het draaiboek bij te stellen als een incassant zou zeggen: sorry, ik ben niet op tijd klaar daarmee, kan het niet later? Dan zouden ze het even opnieuw kunnen draaien en een andere incassant kunnen vragen: jij zou vroeger kunnen, wil je dat?

##### 5. HET WEER OP GROTE SCHAAL (DYNAMICA VAN LUCHTSTROMING)

Van het volgende probleem weet ik niet goed of het nat of droog is, maar het gaat over het weer op grote schaal. Het zal u duidelijk worden waar dat 'grote schaal' op slaat. Dit is een STW-project in samenwerking met het KNMI. Het gaat om luchtstromingen.

Van het KNMI moeten we weliswaar 'verwachten' zeggen in plaats van 'voorspellen', maar ik zal daar toch af en toe tegen zondigen. Aan het voorspellen van het weer zijn bepaalde grenzen. Eén grens is dat, als je wilt vooruitrekenen, je op iedere plek precies zou moeten weten hoe de wind staat, hoe warm het is en dat soort dingen meer. Maar er is slechts een beperkt aantal meetpunten met een beperkt aantal meetwaarden. Er is een tijd geweest dat we dachten dat als we dat nu maar genoeg zouden uitbreiden, we op een gegeven ogenblik zouden kunnen zeggen wat voor weer het in het jaar 2000 zal zijn.

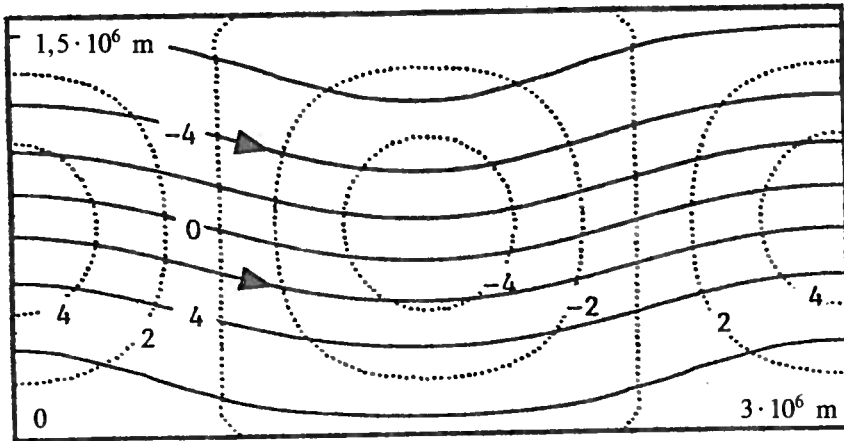
Dat blijkt echter niet het geval te zijn en niet alleen omdat de computer die dat zou moeten uitrekenen zoveel warmte produceert dat daardoor alleen al het weer wordt verstoord. Nee, ook al zouden we die computer aan de andere kant van de maan zetten, dan zou het probleem er nog zijn. Het systeem van het weer is essentieel chaotisch, turbulent. Je kunt dat, hoe precies je het ook weet, op een gegeven ogenblik niet zo doorrekenen dat je het na een tijdje nog steeds precies weet. Die grens ligt op een vrij korte tijd (enkele weken) in de toekomst. Ik klap nu in mijn handen. Misschien had ik dat niet moeten doen. Het kan namelijk het verschil zijn of er over twee weken een depressie boven IJsland is of niet, want die verstoring van de atmosfeer, dat microscopische effect, kan, hoe onwaarschijnlijk het ook lijkt, macroscopische gevolgen hebben en daar is niets aan te doen. Dat kun je natuurlijk nooit allemaal doorrekenen.

Er is ook een praktisch probleem bij het rekenen: je moet namelijk weer op roosterpunten gaan rekenen. Dat hebben we al eerder gezien. Dat zou je eigenlijk heel fijn moeten doen, zoals we al met dat handenklappen hebben gezien, maar dat fijne is meteen duur. Daarom was de gedachte: neem een heel ander model dan het roostermodel, neem een spectraalmodel. Dat betekent dat je bepaalde fijne dingen nog wel kunt modelleren zonder dat het extra duur wordt en het is tegelijk ook geschikt - het zal nog blijken waarom dat interessant is - om grootschalige effecten te bestuderen en nieuwe theorieën toe te passen. Bij de roosterpunten is dat niet speciaal gemakkelijk.

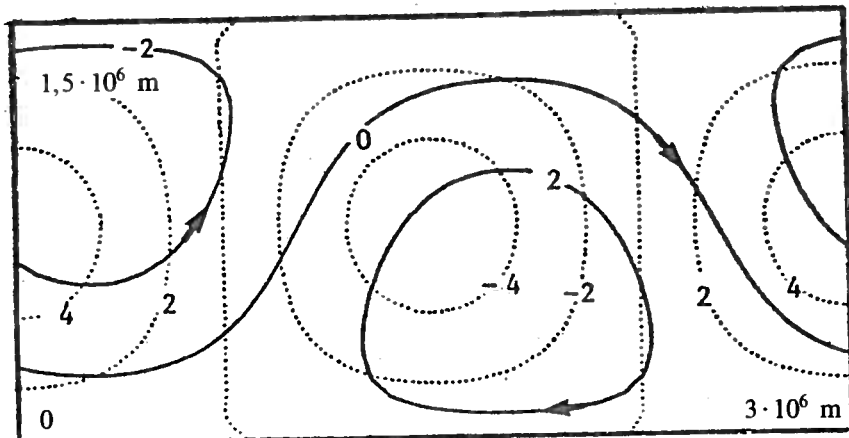
Waar komt dat spectrale model vandaan? Als ik denk aan geluidstrillingen of zoiets, dan is bekend dat je dat kunt beschouwen als een lineaire optelsom van trillingen van bepaalde frequenties en krijg je een spectrum. Iets dergelijks kun je ook doen met zo'n systeem als waar het hier om gaat. Dat is weliswaar een niet-lineair systeem, maar toch kun je iets analoogs doen. Alleen heet het dan niet optellen, maar er is de een of andere operator in het stelsel en daar bepaal je dan van wat de 'eigenfuncties' zijn. Die geluidstrillingen zijn ook eigenfuncties. Bepaalde eigenfuncties hebben coëfficiënten die in de tijd veranderen en daarvoor krijg je een stelsel vergelijkingen. In principe gaat het hier om een oneindig aantal coëfficiënten, een oneindig aantal eigenfuncties. Daarmee kun je niets doen. Daarom haal je als het ware de hoge frequenties eruit en kijk je alleen naar wat lagere frequenties.

Die lage frequenties zijn nu juist van belang voor de grootschalige weerseffecten, althans op beperkte termijn, want langer dan 14 dagen wordt problematisch. Het blijkt dat er een soort evenwichtssituaties zijn, stabiele weertypen, die niet echt stabiel zijn, maar het een tijdje volhouden. Die komen uit het model rollen met een iets vereenvoudigde aanname over de realiteit. Je krijgt een straalstroom die nu eens rustig golvend loopt, dan weer grote golven maakt en soms gaat de stroom circuleren. Dat is precies het verschil tussen wisselvallig weer en mooi weer. In het ene geval hebben al die depressies vrije doortocht en krijgen we ze over ons heen, in het andere geval worden ze omgeleid, doordat er vanwege de circulatie een soort blokkade van effecten van buiten ontstaat. Er ontwikkelt zich een hogedrukgebied met bijbehorend mooi

en stabiel weer. Die situaties kunnen alle twee vrij lang aanhouden en dan opeens verspringen. Zie ook figuur 12 en figuur 13.



FIGUUR 12. *Wisselvallig-weertype: overtrekkende depressies*

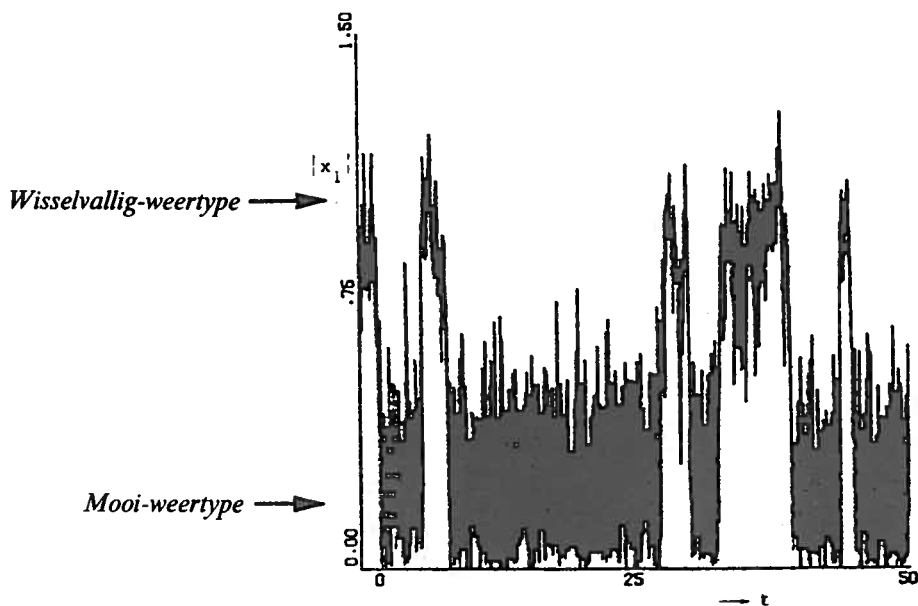


FIGUUR 13. *Mooi-weertype: hoge-drukgebied, depressies worden omgeleid*

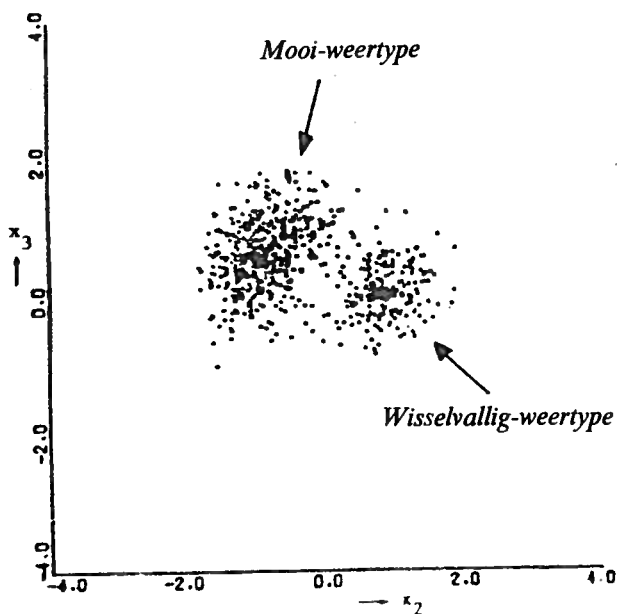
Maar we hebben ook nog de hoge frequenties. Die zorgen juist voor het chaotische en onvoorspelbare van het weer. En het blijkt dat het model dat we hier hebben al bij een vrij lage waarde van  $n$  - het aantal eigenfuncties, te beginnen bij de lage frequenties - zich chaotisch gaat gedragen. Daar kun je dan nieuwe theorieën op loslaten. De wetenschappelijke wereld is de laatste jaren op zijn kop gezet door de ontdekking dat je met zulke eenvoudige systemen - want voor lage waarden van  $n$  krijg je hier eenvoudige systemen - chaotische verschijnselen kunt modelleren. Je kunt zelfs echt analytisch gaan kijken, dus met potlood en papier zal ik maar zeggen. Het lukt ons nu al tot  $n = 20$  te gaan, wat al een hele tour de force is. Eerst leek  $n = 6$  al knap. En met

numerieke methoden lukt het ons in ieder geval wel tot  $n = 100$ . Ik zeg steeds 'ons', maar ik ben niet degene die dat allemaal heeft gedaan, dat zult u inmiddels wel begrepen hebben. Ik heb deze uiteenlopende verzameling zo bijeengesprokkeld in dit gebouw.

Wil je nu goede overeenstemming hebben met de werkelijkheid, dan kun je iets terug doen voor de staart die je afkapt, voorbij die 100 bijvoorbeeld, en dat vervangen door ruis met een geschikt spectrum of iets dergelijks. Daardoor krijg je dan iets wat kwalitatief beter op de werkelijkheid aansluit. Dat is ook echt iets nieuws, z.g. stochastische differentiaalvergelijkingen, maar daar hebben we theorieën over ontwikkeld en daar kun je dus wat aan doen. Een heel simpel model met  $n = 3$  bijvoorbeeld is niet echt realistisch, maar voeg je ruis toe, dan kun je opeens verschijnselen zien die kloppen met wat je verwacht. Je ziet dat het systeem af en toe in de ene toestand verkeert en dan weer in de andere. Die komen overeen met het mooie en het wisselvallige weertype (zie figuur 14). Je ziet dat het opeens kan omslaan en weer terug. In een fase-diagram (zie figuur 15) van de twee andere coëfficiënten uit het stelsel zijn ook kleine clusters te zien die heel erg lijken op het soort fase-diagram dat je ook krijgt met dynamisch-chaotische systemen. Die ruis geeft hier dus vrij aardig dat chaotische karakter weer.



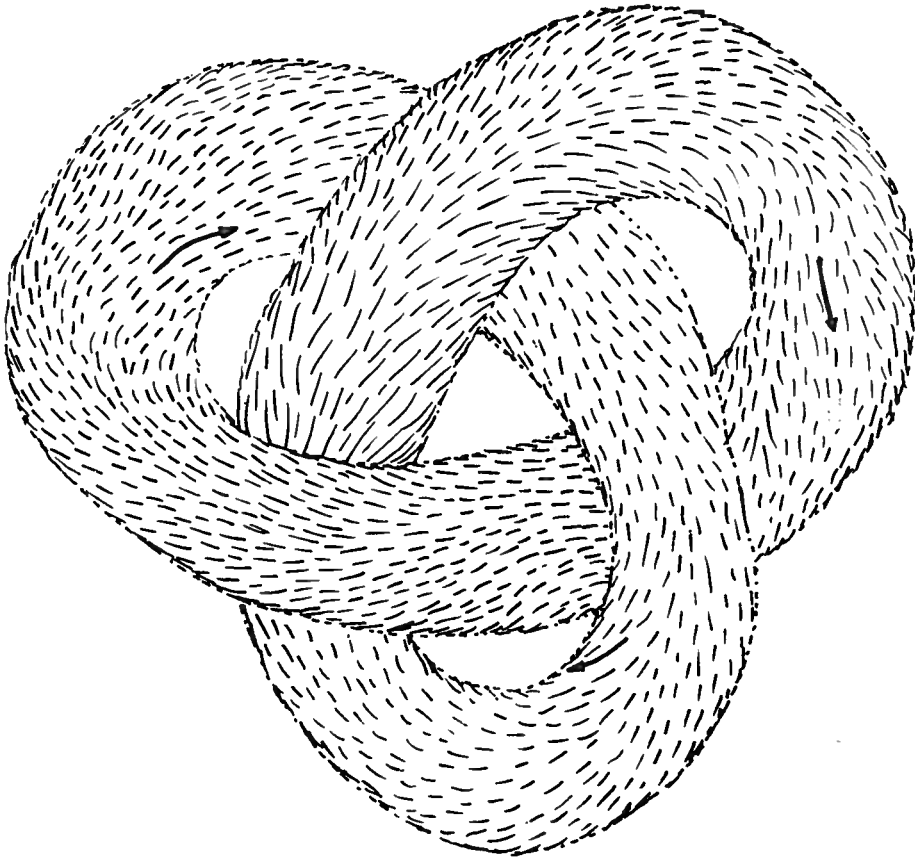
FIGUUR 14. Dynamisch gedrag voor  $n = 3$  met toegevoegde ruis



FIGUUR 15. Fasediagram

In de toekomst willen we de theorie van de chaotische dynamica hierop toepassen. Dat zou een methode zijn om - en daar gaat het in zekere zin eigenlijk om - niet zo zeer het weer op lange of middellange termijn beter te voorspellen, want dat kan nu eenmaal niet, maar om daarbij aan te kunnen geven hoe betrouwbaar het is.

In een fasediagram kun je overal pijltjes denken waarvan de richting door het systeem bepaald is (zie ook figuur 16). Zo'n systeem begint dan te lopen en volgt dan onvermijdelijk die richtingen. De vraag is wat er gebeurt met een iets andere beginpositie. De mate waarin de respectievelijke paden uiteenwijken bij de voorspelling is een indicatie voor de betrouwbaarheid van je uitkomst. Daarover is door Lyapunov een theorie ontwikkeld.



FIGUUR 16. *Fasediagram met pijltjes*

## 6. HET SCHALEN VAN LETTERVORMEN

Dan ben ik nu aan het laatste geval gekomen. Dat gaat over het schalen van lettervormen. Dat was een interne opdracht, d.w.z. de belangstellende zat hier in huis en degene die het onderzoek deed ook, maar dat waren niet dezelfde personen.

Hier heb ik een stukje zetwerk (zie figuur 17) dat ik geplukt heb van de stapel weggegooid zetwerk. Dat is hier in huis geproduceerd. We hebben hier tekstverwerkingsapparatuur, maar ook apparatuur om te fotozetten. U ziet dat er nogal wat fouten in staan. Er staat hier bijvoorbeeld het woord 'epsilon', maar dat had de Griekse letter 'ε' moeten zijn. Zo staan er nog legio fouten in. Nu is het niet altijd zo slecht. Ik heb dit stukje speciaal uitgezocht, omdat er zoveel fouten bij elkaar stonden, maar het is nu eenmaal een realiteit dat als je een beetje ingewikkeld zetwerk maakt, met formules en dergelijke, daar nu eenmaal vrij veel fouten in voorkomen en dat geeft extra correctieslagen. Als dat

iedere keer via die fotozetter moet kost dat veel tijd, want je krijgt dat gemiddeld maar één keer per dag terug en bovendien zijn die extra correctieslagen duur, zowel in computertijd als in de ontwikkeling op die fotozetter.

For a polynomial  $P(X)$ , we have  $\vdash P(t)=0$ . By inspection we see that each axiom  $\vdash L = \underline{\mathbb{R}}$  used in the derivation is such that  $L[\epsilon] = \underline{\mathbb{R}}[\epsilon]$  in  $\mathbb{C}$  in a neighbourhood of  $t$ . Then for the equalities derived as elementary truths,  $P(t[\epsilon]) = P(t[\underline{\epsilon}]) = 0$ . The polynomial  $P(X)$  is a contradiction of  $X$ , since it would then be the trivial polynomial: since  $t$  is mobile,  $t[\underline{\epsilon}]$  assumes with  $\epsilon$  all values, and only constant polynomials are insensitive to their argument.

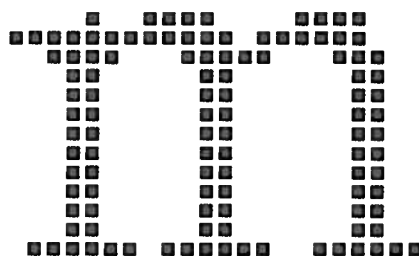
Immediately the elusiveness, and therefore relative truth, of such terms as  $e$ ,  $\pi$ ,  $\log(2)$ ,  $e^{e^2-2}$ ,  $\cos(5) - \cos(8)$ .

It is also not hard to see that  $\text{CET}_{\mathbb{C}}$  even implies the truth of  $e^{e^2}$  and  $e$ , an open question. The method is based on  $e^{\pi\sqrt{163}}$ , since these terms are immobile (but elusiveness for immobile terms without re-

FIGUUR 17. Zetwerk met fouten

Daarom was de gedachte: kunnen we niet degene die moet proeflezen, dat bijvoorbeeld op het computerscherm laten zien, of anders via een goedkoper uitvoermedium als een laserprinter? Dat kan natuurlijk met die nieuwe uitvoertechnologieën. Daarmee kun je willekeurige lettervormen maken door ze in puntjes op te bouwen. Ik hoop dat u kunt zien dat hier een 'm' staat, uit vierkantjes opgebouwd (zie figuur 18).



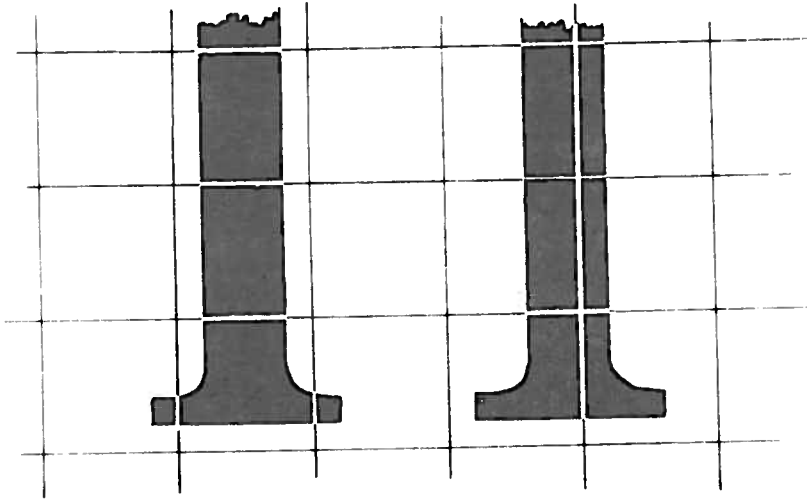


FIGUUR 18. De letter 'm' opgebouwd uit vierkantjes

Daarmee kwam echter weer een nieuw probleem. We hebben nu al die lettervormen en die moeten op de een of andere manier geschaald worden op een in feite veel grovere resolutie. Dan zijn er twee problemen. Ten eerste : hoe doe je dat? Welke methode, welke algoritme gebruik je daarvoor? Ten tweede: wat doe je dan met de uitkomsten van die algoritme? Moet je al die matrices die je berekent, in het geheugen op gaan slaan? We werken hier namelijk met een 35-tal lettertypen. Dat is misschien wat veel, maar die blijken gewenst of nodig te zijn. In sommige wiskundige theorieën geef je bepaalde grootheden bijvoorbeeld weer met Gotische letters. En er zijn 135 tekens per type. Ook dat lijkt nogal veel, maar je komt al gauw zo ver. Naast letters en cijfers zijn er tekens voor een half, een procent, ligaturen, een *ï* (bij een gewone *i* een puntje zetten komt niet mooi uit), een omgekeerd dakje, een Duitse 'Ringel-ess', verwijzingsstekens, enz. Uiteindelijk kom je daarmee op zo'n 135 tekens per type uit. Dan zijn er nog zo'n 25 corpshoogten, die je nodig hebt voor indices, superscripts, indices van superscripts, en dergelijke. En dan is er nog een vijftal uitvoerapparaten, ieder met hun eigen schaal.

35	<i>Lettertypen</i> (AAA@...)
± 135	<i>tekens per type</i> (3½% Söffliçß†)
25	<i>corpshoogten</i> ( <sub>M</sub> MMMMMM)
5	<i>uitvoerapparaten</i> ×
± 600,000	'gevallen'

FIGUUR 19.



FIGUUR 20. Een simplistische schalingsmethode

Dat alles tezamen levert ongeveer 600.000 gevallen en gemiddeld komt de bitmap per geval op zo'n 5000 bytes uit. Dat zou dan 3 miljard bytes geweest zijn en dat was wat veel om op te slaan. Zie ook figuur 19.

Wat kunnen we daaraan doen? Eerst bekijken we een eenvoudige, om niet te zeggen simplistische schalingsmethode. Uit het feit dat het simplistisch is, voelt u waarschijnlijk al dat het niet goed zal werken. Je probeert eerst iets simpels en als het dan niet werkt is het simplistisch. Hier heb ik een zwarte lettervorm waar ik een raster overheen leg (zie figuur 20). Laten we eens per hokje (de rastergrootte van het uitvoerapparaat) kijken of er meer wit of meer zwart in zit. Wat grotendeels zwart is wordt helemaal zwart, en zo ook voor wit. Je hebt dan echter kans dat zo de hele poot van een letter verdwijnt. Nu is dit ook wel heel erg grof geschaald natuurlijk en je zou kunnen hopen dat deze methode met een wat fijnere schaling goed uitkomt. Dat blijkt niet echt zo te zijn. Neem bijvoorbeeld het lettertype Times Roman. Dat heb ik gekozen omdat het een moeilijk lettertype is met dikke en dunne gedeelten. Hier ziet u het woord 'Times' in de meest gebruikte corpshoogte en 'Roman' in de corpshoogte die dan voor superscripts en indices gebruikt zou worden (zie figuur 21). Hier zijn



FIGUUR 21. *Simplistisch geschaalde vormen*

ze geschaald zoals ze er voor een goedkoper type laserprinter uit zouden zien. Dat is nog wel te lezen. Maar daaronder ziet u hoe het er op een scherm uit zou zien. En hier heb ik het nog eens heel klein gezet, dan ziet u het ongeveer zoals het er in werkelijkheid uit zou zien. U zult het met me eens zijn dat dat niet bevredigend is.

Nu zou iemand die dit met de hand zou doen - maar dat kan natuurlijk niet voor al die 600.000 gevallen - zich wel realiseren dat dit een pootje is en dan hier een aantal blokjes zwart maken. Analyseer de letter nu eens in termen van streepjes of streken van een kwast - dat idee is misschien opgekomen terwijl iemand naar de Chinese les op de TV zat te kijken - die in dikte varieert. Voor een dun pootje gebruiken we een dun kwastje en hier voor zo'n forse streek gebruiken we een forse kwast. Op die manier kun je die letter analyseren als opgebouwd uit streken. Dan kun je daaraan iets uitrekenen, dat is ook al bekend uit computer graphics. Dat wordt echter zeer duur als je uitgaat van een ronde kwast, wat het eerste idee was. Maar daarna kwam het tweede idee: doen alsof die kwast vierkant is, waardoor een streek dan een rechthoekje wordt. Dat blijkt dan opeens heel gemakkelijk uit te rekenen te zijn. De werkwijze wordt dan als volgt. Je hebt die lettervorm. Bepaal nu de verzameling van maximale rechthoeken - d.w.z. die niet passen in een nog grotere rechthoek - die die vorm samen overdekken. Dat is uniek gedefinieerd. Dit lijkt wel ingewikkeld, maar het kan razendsnel gebeuren. Schaal dan de afmetingen van die rechthoeken om naar dat grovere raster, zonder te kijken naar waar ze moeten staan. Schaal dan vervolgens de posities van die rechthoeken om. Dat

streepje is er dan dus al en daarna kijken we waar het terecht komt.

Deze werkwijze heeft een aantal algoritmische voordelen, ook qua toepassing. Het omschalen kan namelijk zo snel gebeuren dat je die maximale rechthoeken vooraf kunt bepalen en dan het omschalen pas kan laten plaatsvinden op het ogenblik dat het apparaat die vorm nodig heeft. Je hoeft dus die bitmatrices helemaal niet meer op te slaan. Je hoeft alleen maar éénmalig die collectie van  $35 \times 135$  gevallen op te slaan. En de representatie in termen van die rechthoeken blijkt nog minder ruimte in te nemen dan de oorspronkelijke representatie.

Hier zijn de resultaten voor diezelfde twee gevallen. Times Roman zoals die er op die goedkopere laserprinter (zie figuur 22) en op het scherm (zie figuur 23) uit zouden zien. U ziet: het is misschien nog niet ideaal; met de hand zou het beter zijn gegaan, maar voor de toepassing is dit in ieder geval bevredigend. We zijn nu bezig dit te implementeren, zodat het ook gebruikt kan worden en daarna gaan we pas nadenken of het misschien nog iets beter kan. Wat gebeurt er namelijk? U ziet hier dat de 'n' van onderen helemaal dichtloopt. Dat is geen onoverkomelijk bezwaar. Als u ernaar kijkt, ziet u dat het de leesbaarheid niet aantast, maar het zou wel iets mooier kunnen. U ziet ook nog wel een 'a' staan, ook al is ook die dichtgelopen. Maar wat gebeurt er als die kwast heel dun wordt? Dan wordt hij altijd naar minstens één hokje vertaald en dat is ook wel nodig, maar als het nu alleen om een uiterste puntje gaat, zou je misschien kunnen zeggen: laat maar weg. En dat zou misschien nog een verbetering kunnen geven.



Times Roman  
Times Roman

FIGUUR 22. Tekst omgeschaald voor laserprinter met grove resolutie



Times Roman  
Times Roman

FIGUUR 23. *Tekst omgeschaald voor scherm met zeer grove resolutie*

Daarmee ben ik in feite gekomen aan het einde van mijn verhaal. Ik heb geprobeerd het eenvoudig te presenteren en misschien denkt u: dat kan mijn kleine zusje ook. Dat weet ik natuurlijk niet, want ik ken uw kleine zusje niet. Als zij dat kan, dan kunnen wij haar hier een baan aanbieden.

Hoe het ook zij, wat ik er zelf in feite van heb opgestoken is het best onder woorden te brengen met het verhaal van die reparateur die op bezoek kwam bij het een of ander apparaat dat het niet deed. Hij gaf er een klapje tegenaan en het apparaat deed het weer. Toen schreef hij een rekening uit van f135,-. De klant natuurlijk boos, want de reparateur had er alleen een klapje tegen gegeven. De man zei: 'Ik zal de rekening specificeren: klapje uitdelen f5,-, weten waar te klappen f130,-.' In ons geval is het niet het probleem te weten waar de juiste klap uit te delen, maar wat ik gezien heb in deze voorbeelden is dat het de kunst is te weten hoe je zo tegen een moeilijk probleem aan moet kijken dat het er dan opeens simpel uitziet.



# Slottoespraak

Prof. dr. H.J. van der Molen  
*Directeur Nederlandse organisatie voor  
zuiver-wetenschappelijk onderzoek ZWO*

Dames en Heren,

Na deze dag vol wetenschappelijke bedrijvigheid past het de laatste spreker nauwelijks om u al te lang af te houden van het programmapunt waar u ongetwijfeld het meest recht op heeft: de receptie na afloop van deze bijeenkomst.

Ik zou me echter ondankbaar tonen ten opzichte van de organisatoren van deze dag als ik geen reële inhoud zou proberen te geven aan de uitnodiging om hier te spreken, een uitnodiging welke ik reeds ontving enkele maanden voor mijn indiensttreding bij ZWO.

U weet, dat dergelijke premature situaties eerder de verhoudingen tussen ZWO en SMC hebben bepaald. De stichting van de SMC in 1946 vond immers plaats 4 jaren voor de stichting van ZWO (in 1950). Dergelijke verhoudingen creëren verwachtingen welke echter getuige de goede ervaringen van mijn voorgangers (dr. Bannier en professor van Lieshout) tot nu toe altijd hebben geresulteerd in uitstekende en constructieve verhoudingen tussen bestuur en directie van ZWO en Curatorium SMC en directie en medewerkers van het CWI.

Ik maak dan ook graag van deze gelegenheid gebruik om publiekelijk de gelukwensen van ZWO aan te bieden aan allen betrokken bij de activiteiten van SMC en CWI, met mijnerzijds de toezegging, dat ik mij graag zal inspannen om te bevorderen, dat de goede verstandhouding tussen SMC en ZWO gedurende de afgelopen 36 jaren ook in de komende jaren blijft bestaan. Uw vanzelfsprekende acceptatie dat ook de nieuwe directeur van ZWO als gast (of adviseur, zo u wilt) bij de vergaderingen van uw Curatorium aanwezig mag

zijn, heb ik bijzonder op prijs gesteld.

In het vervolg van mijn verhaal zult u moeten accepteren, dat mijn opmerkingen niet gebaseerd kunnen zijn op diepgaande eigen kennis van de wiskunde of informatica. Ik hoop dan ook, dat u mij toestaat een aantal opmerkingen te maken over de plaats en rol van ZWO, SMC en CWI binnen een aantal beleidsontwikkelingen, zoals ik die in mijn nog korte ervaring als directeur van ZWO heb ervaren. Daarbij wil ik kort een aantal aspecten bespreken van de relatie tussen fundamenteel en toegepast onderzoek die juist in de activiteiten van SMC en CWI tot een zo gunstige symbiose hebben geleid. ZWO heeft via de bij de minister ingediende aanvraag voor de Rijksbijdrage 1987 nadrukkelijk aandacht gevraagd voor sommige van deze aspecten.

ZWO neemt in het geheel van de organen die een verantwoordelijkheid binnen het wetenschaps- en technologiebeleid dragen een eigen plaats in. ZWO richt zich in het bijzonder op het universitaire en para-universitaire onderzoek en heeft daarbij vooral de zorg voor bevordering van kwaliteit en vernieuwing, waartoe verschillende wegen worden bewandeld. In het hele scala van zuiver fundamenteel onderzoek tot korte termijn toegepast onderzoek gericht op het beantwoorden van een praktische vraag, maakt ZWO een bewuste keuze: ook bij onderzoek dat door toepassing is geïnspireerd kiest ZWO voor het bevorderen van onderzoek met een langere looptijd en een aanzienlijke diepgang, dat steeds gericht is op het verleggen van grenzen van kennis en inzicht.

Van tijd tot tijd bespeurt men de vrees dat ZWO te veel geld besteedt aan *fundamenteel* wetenschappelijk onderzoek dat uitsluitend kennisverrijkend is en geen bijdrage levert tot de economie. Dit is een misverstand. Inderdaad behoort tot de doelstellingen van ZWO de steun voor kennisverrijkend fundamenteel wetenschappelijk onderzoek en zulk onderzoek is ook onmisbaar in een moderne samenleving van hoog cultureel niveau. Daarnaast is er echter *strategisch fundamenteel* wetenschappelijk onderzoek (en dit omvat een groot deel van het fundamentele onderzoek in de exacte wetenschappen) dat direct nodig is als basis, als voedingsbodem voor toegepast onderzoek in industrie, landbouw, geneeskunde etc. en dat op deze wijze direct bijdraagt tot de economische ontwikkeling.

Als andere uiterste hoort men binnen de industrie nogal eens de opvatting, ook wel overgenomen door de overheid, dat een uitbreiding van *toegepast* onderzoek bij universiteiten en hogescholen gewenst is. In deze opvatting gaat men ervan uit dat er genoeg fundamentele kennis verzameld is, die nu op toepassing wacht. In recente jaren is men enigszins op dit standpunt teruggekomen. Bij de verdere technologische ontwikkeling bleek dat voor wezenlijke vooruitgang toch vaak juist de fundamentele kennis te kort schoot.

In het verleden heeft fundamenteel wetenschappelijk onderzoek geleid tot belangrijke technologische ontwikkelingen. Als één voorbeeld mag ik wijzen op



het feit dat coderingstheorie het mogelijk heeft gemaakt zeer snel en betrouwbaar gegevens te versturen (bijvoorbeeld satellietverbindingen) en ook om zeer veel informatie betrouwbaar op te slaan (bijvoorbeeld magneetbanden, compact disk). Zonder abstracte algebra zouden deze technieken ondenkbaar zijn geweest.

Dit proces vindt ook nu voortgang. Een aanzienlijk deel van het subsidie voor de exacte wetenschappen wordt reeds nu gebruikt voor fundamenteel onderzoek dat als basis dient voor technologische vernieuwing. Als voorbeeld noem ik: informatie moet worden beschermd tegen ongewilde vermindering zoals ruis in de telecommunicatie en materiaalfouten in beeldplaten. Daarnaast dienen in sommige situaties gegevens ook beveiligd te worden tegen ongeoorloofde toegang. De twee vakgebieden die zich hiermee bezighouden, te weten coderingstheorie respectievelijk cryptologie, steunen in belangrijke mate op fundamenteel onderzoek in de discrete wiskunde, getaltheorie en complexiteitstheorie. Fundamenteel onderzoek op deze terreinen vindt plaats in het CWI en in de Werkgemeenschap Discrete Wiskunde (SMC).

Een belangrijk en vrij recent signaal uit de maatschappij betreft de economische opbloei en daarmee gepaard gaande grotere investering in de industrie. Vooral op het gebied van geavanceerde nieuwe technologieën (elektronica, informatica, materialen) ontstaat er echter een toenemende achterstand van Europa ten opzichte van Japan en de Verenigde Staten. Dit geldt zeker ook voor Nederland: in ons land wordt relatief nog minder geld besteed aan wetenschappelijk onderzoek dan in de ons omringende landen. Voor de ontwikkeling van nieuwe technologieën is nieuwe fundamentele kennis nodig en ook goed opgeleide onderzoekers. Een groot deel van het ZWO-subsidie, bijvoorbeeld dat voor de prioriteitsprogramma's, wordt reeds in deze richting aangewend. Het beschikbaar gestelde volume is echter onvoldoende om bij te blijven en voldoende bij te dragen aan de nieuwe wetenschappelijke ontwikkelingen. Gepleit wordt voor een versterking van *strategisch fundamenteel onderzoek*, als basis voor de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Zonder deze versterking zal de Nederlandse industrie in de toekomst achterblijven en verouderen.

Ik gebruik deze gelegenheid graag om op grond van de hiervoor genoemde argumenten te pleiten voor een verruiming van de omvang van het zuiver wetenschappelijk onderzoek in ons land.

Met name ook omdat de DG-HW dr. In 't Veld bij de opening van het symposium ter gelegenheid van het 25-jarig bestaan van FUNGO zich verontrust toonde, omdat naar zijn mening de stem van de onderzoeker te zwak doorklinkt in discussies over de ontwikkeling en de omvang van het onderzoek. Indien de stem van de individuele onderzoeker al te zwak doorklinkt, dan bieden naar mijn mening in elk geval de begrotingsaanvragen en jaarverslagen van ZWO en de in ZWO-verband werkende stichtingen voldoende argumenten voor een uitbreiding van het volume van het wetenschappelijk onderzoek in ons land. Ik voel me in deze opvatting gesteund door het recent uitgebrachte

jaaradvies 1986 van de RAWB (Raad van Advies voor het Wetenschapsbeleid).

Ik wil nog een aantal kanttekeningen maken om de specifieke situatie van de SMC en het CWI binnen het ZWO-beleid toe te lichten als onderbouwing van mijn stelling, dat onderzoekers en onderzoeksorganisaties succesvol kunnen omgaan met de signalen uit de maatschappij (inclusief industrie), politiek en regering.

#### SPECIFIEKE SITUATIE VAN DE SMC EN HET CWI

Binnen de besproken uitgangspunten van het ZWO-beleid behoort de informatica sinds eind 1983 tot een van de aandachtsgebieden van de organisatie.

Behalve het eigen *ZWO-stimuleringsprogramma voor informatica-onderzoek* wordt thans verder uitvoering gegeven aan het door O & W opgestelde *Ontwikkelingsplan Informatica-Onderzoek* dat ten doel heeft het Centrum voor Wiskunde en Informatica te doen uitgroeien tot een toonaangevend instituut voor de Nederlandse informatica.

Op de sinds 1984 ingestelde *Nationale Faciliteit Informatica*, waarvoor jaarlijks f2 miljoen ter beschikking wordt gesteld, wordt thans veelvuldig beroep gedaan. Bij de beoordeling van voorstellen ziet de daartoe ingestelde commissie nauwlettend toe op kadervorming en versterking van het informatie-onderzoek, zo mogelijk op de in het ARSI/ZWO-rapport genoemde voorkeursgebieden.

De sinds 1985 geopende mogelijkheid tot het indienen van aanvragen van rekentijd voor de hier te lande geïnstalleerde supercomputers Cray-1 en Cyber 205 blijkt in een duidelijke behoefte te voorzien. Voor de beoordeling van deze aanvragen heeft ZWO een *Werkgroep Gebruik Supercomputers* ingesteld.

Naast de hier genoemde groepen en commissies welke zich bezig houden met de informatica in engere of bredere zin, zijn er nog diverse andere organen welke zich bezig houden met de informatica of aspecten daarvan. Belangrijk is in dit verband vanzelfsprekend *SION* (Stichting i.o. Informatica Onderzoek in Nederland). Daarnaast is binnen ZWO onlangs een *dwarsverbandcommissie informatica* ingesteld en ik kan tevens wijzen op de activiteiten in het kader van de *SURF* (Stuurgroep Samenwerking Universitaire Rekencentra Faciliteiten).

Als relatieve nieuweling binnen ZWO heb ik via de kennismaking met dit grote aantal commissies binnen één gebied wel enig begrip gekregen voor de recent gepubliceerde constatering van de OESO-onderzoekers, dat er in ons land vaak te veel commissies zijn, die voor een deel dubbel werk doen, of de indruk maken dit te doen. De OESO-rapporteurs concluderen mijns inziens dan ook niet ten onrechte dat de informatie-uitwisseling moet worden verbeterd. Zij pleiten er in dit verband voor dat de verdeling van geld voor het fundamenteel onderzoek de plicht en verantwoordelijkheid van de onderzoeker zelf moet blijven, waarbij er niet direct behoefte is aan een ander beleid, eerder aan minder politieke inmenging.

Ik noem dit nog eens nadrukkelijk, omdat ook ZWO in de afgelopen maanden bij herhaling heeft gewezen op het verschijnsel dat van overheidswege programma's worden geëntameerd die grotendeels of in belangrijke mate strekken tot het bevorderen van landelijk te organiseren fundamenteel wetenschappelijk onderzoek, zonder dat ZWO daarbij is betrokken. Het niveau van de voor ZWO beschikbare middelen beweegt zich thans op of onder de nullijn. Op diverse gebieden kunnen reeds vele projecten van hoge kwaliteit niet meer gehonoreerd worden. In dat licht gezien valt het moeilijk te aanvaarden dat buiten ZWO om niet-onaanzienlijke middelen beschikbaar worden gesteld voor onderzoek dat in de organisatie een plaats had kunnen krijgen. ZWO heeft er bij de minister op aangedrongen in de toekomst geen programma's van overeenkomstige aard op te zetten dan nadat ZWO heeft kunnen onderzoeken welke bijdrage zij kan leveren.

Ik hoop, dat u mij niet euvel duidt, dat ik deze discussie vandaag nog eens ten tonele voer. Dit is niet uitsluitend om een mijns inziens gerechtvaardigde wens van ZWO te benadrukken, maar tevens om de hoop uit te spreken, dat de SMC en het CWI een nog centralere rol kunnen gaan vervullen bij de ontwikkeling van de informatica en de daarvoor noodzakelijke wiskunde in ons land. In de reeds door minister Deetman gememoreerde erkenning (in 1984) van het CWI als een nationaal toonaangevend centrum op het gebied van fundamenteel en toepassingsgericht informatica-onderzoek in het kader van het Informatica-Stimuleringsplan van de overheid zie ik de erkenning dat via ZWO lopende activiteiten een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de in het OESO-rapport bepleite verantwoordelijkheid van de onderzoekers.

Ik kan me zelfs voorstellen, dat ook andere 'overheden' deze mogelijkheden van de SMC/CWI zullen willen benutten en dan denk ik met name aan de universitaire activiteiten binnen de SURF. Ik denk dat diverse van de bovengenoemde commissies hun werkzaamheden zouden kunnen vereenvoudigen als zij het CWI als het expertisecentrum onder de expertisecentra op het gebied van de informatica zouden beschouwen.

In de mogelijkheden voor samenwerking tussen SURF en ZWO is getracht een omschrijving te geven van wat zou moeten worden verstaan onder een expertisecentrum op een deelgebied van de informatica. Ik ben ervan overtuigd, dat deze kwalificaties zeker van toepassing zijn op het CWI en dat, mede door de bijzondere kwaliteiten van de SMC op het gebied van de fundamentele wiskunde, de kwalificatie 'Expertisecentrum van de expertisecentra' binnen dit gebied gerechtvaardigd zou kunnen zijn.

In het OESO-rapport wordt ook geconstateerd, dat meer duidelijkheid gewenst is inzake de taakstelling van ZWO. Men had de indruk, dat er nog geen consensus bestaat over de toekomstige rol van ZWO ten aanzien van het subsidiëren van enerzijds universitair onderzoek en anderzijds de eigen instituten. Ook werd geconstateerd dat ZWO nog bepaalde problemen heeft met het steunen van toegepast onderzoek. Naar mijn indruk vormt de historie van de

SMC een sprekend voorbeeld van hoe binnen de Nederlandse onderzoekswereld (en binnen een via ZWO gesubsidieerde stichting) de door de OESO-rapporteurs geconstateerde problemen wel degelijk met succes kunnen worden aangepakt. Nadat de SMC vanaf 1946 haar activiteiten aanvankelijk vooral richtte op het exploiteren van het Mathematisch Centrum, heeft zij zich in 1981 omgevormd tot de Nederlandse Stichting voor de Wiskunde, zodat meer universitaire onderzoeksgroepen bij de werkzaamheden betrokken werden. In 1983 werd het instituut omgedoopt tot het Centrum voor Wiskunde en Informatica, waarmee binnen een 'echte' 2de-geldstroom-stichting de discussie over een instituut van hoge kwaliteit met brede wetenschappelijke en maatschappelijke betekenis gebundeld werd met de discussie over universitair onderzoek.

Deze ontwikkeling is o.a. af te lezen uit de steun welke de SMC via ZWO ontving.

<i>Jaar</i>	<i>Subsidie ZWO (in kf)</i>	<i>Percentage ZWO- subsidie van totale begroting SMC</i>	<i>Aantal (individuele of via WGM/SMC) subsidies wiskunde</i>
1946*	25	42	-
1950	148	54	-
1955	298	45	-
1960	152†	17	-
1965	550	34	-
1970	1.770	43	4
1975	6.200	73	11
1980	10.015	76	17
1986	11.500	78	33**

† Zo laag wegens groot overschot in 1958 (245 Kf)

\* Jaar van oprichting SMC

\*\*Daarenboven nog 26 bij SION

In mijn (nog maar prille) contacten met de curatoren van de SMC is mij opgevallen dat binnen de stichting grote zorg en aandacht wordt besteed aan een juist evenwicht tussen de ontwikkeling van zowel de meer fundamentele aspecten van de wiskunde en informatica als de meer toegepaste aspecten, vanuit de overtuiging, dat de toepassingen de fundamentele onderzoeksactiviteiten niet mogen verdringen.

In dit verband werd ik door de heer Weijma geattendeerd op een artikel van Van Berkel in de verhandelingen van de Fryske Akademie over de ontwikkelingen van de wiskunde in Franeker tussen 1600 en 1700. Uit dit artikel blijkt dat ook toen de zorg voor het evenwicht tussen fundamentele en toegepaste aspecten al bestond.

De klacht dat Snellius in die tijd in Leiden hoofdzakelijk theoretische wiskunde doceerde, vormde mede een reden om o.a. in Franeker de praktische wiskunde te benadrukken. Er werd ook toen al beargumenteerd, dat de primaire taak van de universiteiten niet lag in het zelfstandig beoefenen van de wetenschap, maar het opleiden tot bepaalde maatschappelijke functies en beroepen (zij het dat de opleiding vaak niet aansloot bij de praktijk en dan vaak vooral een bron van status was). De wiskunde die in universitair verband werd gedoceerd, bleef derhalve vaak direct of indirect verbonden met de opleiding van ingenieurs, landmeters en vestingbouwkundigen en voor zover dit niet het geval was, had de wiskunde slechts een propedeutische functie. In beide gevallen kwam het erop neer dat een zelfstandige beoefening van de wiskunde als wetenschap niet paste in het universitaire bestel.

Geheel in de geest van de in die tijd belangrijk geachte toepassingen legde Metius in Franeker in zijn werk de nadruk op de praktische betekenis van de wiskunde voor landmeters, zeevaarders, kooplieden en vestingbouwkundigen.

De historie van de wiskunde binnen de universiteit van Franeker vormt dan ook een goed voorbeeld, dat de geschiedenis ons wel iets kan leren. Want nadat de wiskunde als *wetenschap* en de wiskunde als *werktuig* in de 17de en 18de eeuw eerst te ver uit elkaar waren gegroeid, waardoor leerstoelen in de zuivere wiskunde geleidelijk verdwenen (maar niet in Leiden), vond er een geleidelijke heroriëntatie plaats in de richting van de zuivere wiskunde.

Ik ben ervan overtuigd, dat het curatoren van de SMC niet gegeven is de resultaten van hun activiteiten over één of twee eeuwen te kunnen volgen. Ik ben er echter evenzeer van overtuigd, dat met de door hen uitgesproken zorg voor een goede afstemming tussen wiskunde en informatica de geschiedenis van Franeker tussen 1600 en 1700 niet zal worden herhaald. Immers het herkennen en formuleren van een probleem vormt vaak één van de belangrijkste bijdragen tot de oplossing van het probleem.

#### TENSLOTTE

Ik heb in het begin al gewezen op mijn gebrek aan deskundigheid op het gebied van wiskunde en informatica. Ik heb mijn bijdrage dan ook noodzakelijkerwijs moeten beperken tot de relatie tussen SMC en ZWO en een aantal meer algemene opmerkingen over de beleidsuitgangspunten van ZWO

U zult zich mogelijk verwonderd hebben over de langzaam veranderende achtergrondfiguren welke mijn woorden vergezellen. Dit is niet bedoeld als subtiele aandring van de organisatoren (tenminste dat is mij verzekerd!) om mijn toespraak te laten overgaan in een iets meer poëtische activiteit (mogelijk de receptie!).

Voor de ingewijden onder u zal het duidelijk zijn dat deze figuren visuele voorstellingen betreffen van de toepassing van computer graphics bij het visualiseren van fractals. Ik hoop niet, dat u van mij verwacht, dat ik zelfs maar een poging doe in dit centrum en in dit gezelschap de aard en de belangrijkheid van fractals toe te lichten.

De Franse wiskundige Mandelbrot heeft in 1967 het begrip 'fractal' geïntroduceerd en veroorzaakte daardoor niet alleen een revolutie in de

Euclidische meetkunde, maar opende totaal nieuwe mogelijkheden voor de beschrijving van vormen en ideeën in het algemeen. Dat dit niet uitsluitend een zuiver wiskundig probleem betreft, illustreert de toepassing van fractals in deze figuren, welke ik niet zelf heb ontworpen, maar die u worden aangeboden via een computer van het CWI als een andere uiting van de Wetenschap in dit Bedrijf. Een zeer toepasselijke illustratie van de combinatie van zuivere wiskunde, informatica en computers.

De fysicus Wheeler heeft het belang van het werk van Mandelbrot als volgt samengevat:

*'No one is considered scientific literate today who does not know what a Gaussian distribution is, or the meaning and scope of the concept of entropy. It is possible to believe, that no one will be considered scientifically literate tomorrow, who is not equally familiar with fractals.'*

Ik weet niet of de  $\alpha$ 's en  $\gamma$ 's onder ons zich op basis van Gauss-verdelingen en entropie nog tot de geletterden durven te rekenen. Ik krijg echter zorgen waar het mijn kennis van fractals betreft.

Ik moet dan ook bekennen, dat deze aantrekkelijke beelden uitsluitend bedoeld zijn om de bruikbaarheid van een door ZWO aan te bieden cadeau te illustreren en geen afspiegeling vormen van mijn geletterdheid op het gebied van fractals.

Binnen de vaak beperkte mogelijkheden voor investeringen in apparatuur heeft het bestuur van ZWO een mogelijkheid gevonden om ter gelegenheid van dit 40-jarig bestaan de SMC een apparaat aan te bieden, dat waarschijnlijk niet de hoogste prioriteit vanuit zuiver wetenschappelijk oogpunt zou kunnen krijgen. Dit betreft het projectie-apparaat ('video-kanon' in de wandeling genaamd) waarmee deze computer graphics worden geprojecteerd.

Het is mij een genoegen dit apparaat op deze wijze namens ZWO symbolisch te mogen aanbieden. Ik doe dit in de overtuiging dat dit apparaat in de toekomst een toonaangevende rol zal spelen in het zichtbaar maken en overdragen van de kennis binnen het CWI en de SMC, vergelijkbaar met de toonaangevende rol van de onderzoekers en het onderzoek binnen deze organisaties.