

## Het Nummer

Nieuwsbrief van de Werkgemeenschap Numerieke Wiskunde (WNW), verzorgd door de Stichting Wiskunde Onderzoek Nederland (SWON).

|  |                        |               |
|--|------------------------|---------------|
| <b>Redactie:</b>                                       | B. Koren               | CWI           |
|  | P. Wesseling           | TUD           |
|  | P.M. de Zeeuw          | CWI           |
| <b>Redaktiesecretariaat<br/>en ledenadministratie:</b> | Mw. S. Panka           | CWI           |
|  | tel: 020-5924189       |               |
|  | fax: 020-5924199       |               |
|  | e-mail: simone@cwi.nl  |               |
| <b>Correspondenten:</b>                                | R.H. Bisseling         | UU            |
|  | M.J.A. Borsboom        | WL            |
|  | E.F.F. Botta           | RUG           |
|  | R. de Bruin            | RUG-RC        |
|  | J.C.M. Dijkzeul        | EDS           |
|  | J.C.H. van Eijkeren    | RIVM          |
|  | M. de Gee              | Luw           |
|  | J.A. van de Griend     | RUL           |
|  | W. Hoffmann            | UvA           |
|  | R. van der Hout        | AKZO          |
|  | J.K.M. Jansen          | TUE           |
|  | A. Kattenberg          | KNMI          |
|  | J.F.B.M. Kraaijevanger | KSEPL         |
|  | H.T.M. van der Maarel  | MARIN         |
|  | P.H. Michielse         | HP-Convex     |
|  | J. Molenaar            | TUE-IWDE      |
|  | G. Mur                 | TUD-EL        |
|  | A.C.B. den Ouden       | ECN           |
|  | M.H.C. Paardekooper    | KUB           |
|  | B.J.W. Polman          | KUN           |
|  | W.H.A. Schilders       | PhNL+PhMS     |
|  | H. Schippers           | NLR(a)+NLR(b) |
|  | A. van der Steen       | ACCU          |
|  | R.J. Stroeker          | EUR           |
|  | Th.L. van Stijn        | RWS/RIKZ      |
|  | C.R. Traas             | UT            |
| M. van Veldhuizen                                      | VUA                    |               |
| T.M.M. Verheggen                                       | SRTCA                  |               |
| J.G. Verwer  | CWI                    |               |
| C.B. Vreugdenhil                                       | IMAU                   |               |
| P. Wesseling   | TUD                    |               |
| L. Wuytack   | UIA                    |               |

|                                   |                               |         |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------|
| <b>Werkgemeenschapscommissie:</b> | P. Wesseling (voorzitter)     | TUD     |
|                                   | B. Koren (secretaris)         | CWI     |
|                                   | A.O.H. Axelsson               | KUN     |
|                                   | J.W. Boerstool                | NLR(b)  |
|                                   | Th.J. Dekker                  | UvA     |
|                                   | J. de Groot                   | (5)     |
|                                   | P.W. Hemker                   | CWI/UvA |
|                                   | P.J. van der Houwen           | CWI/UvA |
|                                   | J. Kok (Woudschotencommissie) | CWI     |
|                                   | R.M.M. Mattheij               | TUE     |
|                                   | M.H.C. Paardekooper           | KUB     |
|                                   | A. van der Sluis              | UU      |
|                                   | M.N. Spijker                  | RUL     |
|                                   | C.R. Traas                    | UT      |
|                                   | M. van Veldhuizen             | VUA     |
|                                   | A.E.P. Veldman                | RUG     |
|                                   | H.A. van der Vorst            | UU      |

**WNW mailing list:** [wnw-list@cw.nl](mailto:wnw-list@cw.nl)

## Inhoud

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Verslagen uit de Werkgemeenschap</b>   | <b>5</b>  |
| 1.1      | In Japan (Bert Vreman) . . . . .  | 5         |
| 1.2      | Werken op het Weizmann Institute of Science (Kees Venner) . . . . .                                   | 6         |
| 1.3      | De 43ste Bijeenkomst Kontaktgroep Numerieke Stromingsleer (Nettie van den Berg) . . . . .             | 10        |
| 1.4      | Venster op een Reus van het Computertijdperk (Henk Nieland, CWI) . . . . .                            | 12        |
| 1.5      | Johann Bernoulli Lezing (Ena Tiesinga) . . . . .  | 16        |
| 1.6      | Lezing van Gene Golub in Delft (Hilda van der Veen) . . . . .   | 17        |
| 1.7      | Symposium Computational Science in Nederland (Femke Raeven) . . . . .                                 | 18        |
| 1.8      | ITW-symposium Wavelets: Toepassingen en Recente Ontwikkelingen (Hennie ter Morsche) . . . . .         | 20        |
| 1.9      | AMS-Benelux Meeting, de Brouwer Lezing (Piet Wesseling) . . . . .                                     | 21        |
| 1.10     | AMS-BeNeLux Meeting, mini-symposium Numerical Mathematics (Barry Koren) . . . . .                     | 23        |
| 1.11     | TASC Symposium Topics in Environmental Mathematics (Kees Dekker) . . . . .                            | 25        |
| 1.12     | Workshop Iteratieve Methoden, Toulouse (Jacko Koster) . . . . .                                       | 27        |
| 1.13     | AMLI 96 (Leendert Vijfvinkel) . . . . .   | 31        |
| 1.14     | ECMI 96 (Sander de Snoo en Philip Simons) . . . . .   | 32        |
| 1.15     | J.M. Burgerscentrum Summerschool High Performance Computing in Fluid Dynamics (Jason Frank) . . . . . | 34        |
| 1.16     | ICCAM 96 Mathematics (Stefan Vandewalle) . . . . .  | 35        |
| <b>2</b> | <b>Publikaties</b>  | <b>37</b> |
| 2.1      | Rapporten . . . . .   | 37        |
| 2.2      | Proceedings en boekbijdragen . . . . .  | 38        |
| 2.3      | Tijdschriftartikelen . . . . .  | 41        |
| 2.4      | Proefschriften en boeken . . . . .  | 43        |
| <b>3</b> | <b>Promoties</b>  | <b>58</b> |
| <b>4</b> | <b>Onderzoeksprojecten</b>  | <b>59</b> |
| <b>5</b> | <b>Bijeenkomsten</b>  | <b>66</b> |
| <b>6</b> | <b>Buitenlands bezoek</b>   | <b>70</b> |
| 6.1      | Recente en komende buitenlandse bezoekers . . . . .   | 70        |
| 6.2      | Recente en komende buitenlandse verblijven . . . . .  | 71        |
| <b>7</b> | <b>Ledeninformatie</b>  | <b>72</b> |
| 7.1      | Presidentschap KNAW . . . . .   | 72        |
| 7.2      | KIVI Speurwerkprijs . . . . .   | 72        |
| 7.3      | Mutaties . . . . .  | 72        |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 7.4 Ledenlijst . . . . .              | 73        |
| <b>8 Adressen</b>                     | <b>79</b> |
| 8.1 Instituten en bedrijven . . . . . | 79        |
| 8.2 Overigen . . . . .                | 83        |

# 1 Verslagen uit de Werkgemeenschap

## 1.1 In Japan (Bert Vreman)

Van 29 januari tot 5 april 1996 bezocht ik Japan, een intrigerend land op o.a. cultureel, economisch en technologisch vlak. Dit verslag betreft vooral het technologische aspect. Mijn reis werd hoofdzakelijk gefinancierd met een STA-fellowship via Stichting Technische Wetenschappen. Gastinstituut was het National Aerospace Laboratory (NAL) in Tokio en gastheer was dr. Y. Matsuo. Het instituut richt zich op onderzoek en ontwikkeling op het gebied van lucht- en ruimtevaart. Er werken ruim 400 mensen aan vele projecten, zoals bijvoorbeeld de ontwikkeling van zuiniger en veiliger vliegtuigen en raketten, de ontwikkeling van een ruimtevliegtuig en de ontwikkeling van numerieke simulatietechnieken. Een voorloper van een ruimtevliegtuig is de onbemande HOPE, die met een raket in de ruimte wordt gebracht, maar bij terugkomst als een vliegtuig op aarde landt. Tot de faciliteiten die voor het werk ter beschikking staan, behoren vijf grote windtunnels (van subsone tot hypersonic snelheden), een vluchtsimulator om de interactie tussen mens en machine te testen en tal van computersystemen. Het belangrijkste computersysteem is de wereldwijd bekende Numerieke Windtunnel (NWT), een parallel systeem bestaand uit 160 krachtige processoren. Elke afzonderlijke processor is in feite een supercomputer met 0.25 Gbytes geheugen en een pieksnelheid van 1.7 Gflops.

Turbulentie is een belangrijk probleem in het luchtvaart- en ruimtevaartonderzoek. Er zijn ruwweg drie gangbare manieren om een turbulente stroming numeriek te simuleren. De klassieke manier gaat uit van de Reynolds-gemiddelde vergelijkingen, waarbij alleen het gemiddelde veld wordt uitgerekend en alle turbulente wervels worden gemodelleerd. De tweede techniek, Directe Simulatie, is het direct oplossen van de tijdsafhankelijke stromingsvergelijkingen en rekent zo alle wervels uit. In de derde methode, Large-Eddy Simulatie, worden wel de grote wervels berekend, maar de kleine worden gemodelleerd. Het is duidelijk dat de laatste twee technieken veel rekenintensiever zijn dan de klassieke methode, maar dat hiermee ook nauwkeuriger resultaten kunnen worden verwacht.

Het is de bedoeling dat in de toekomst aan het NAL het onderzoek aan turbulentie met behulp van numerieke simulatie een nog veel grotere rol zal gaan spelen. Wat de rekenintensieve Directe en Large-Eddy Simulatie technieken betreft, verwacht men dat hun Numerieke Windtunnel hierbij een uitstekend gereedschap zal zijn.

Geheel passend in bovenstaand kader, heb ik tijdens mijn bezoek gewerkt aan Directe en Large-Eddy Simulatie van de compressibele menglaag. Het is interessant om hier iets van mijn ervaringen met de Numerieke Windtunnel te schrijven. De snelheid van een enkele processor van de NWT bleek in de praktijk ongeveer even hoog te zijn als die van een processor van de huidige CRAY van SARA in Amsterdam. Om met de NWT meer te kunnen doen dan met gangbare supercomputers moest er parallel (met meer processoren tegelijk)

gerekend worden. Het kostte veel moeite om de parallelle kracht van de NWT ten volle uit te buiten. Het grootste probleem daarbij was niet het numeriek integreren zelf, maar het efficiënt berekenen van turbulente statistieken. Dit laatste is lastig op een parallelle machine, omdat hiervoor veelvuldige sommaties over het gehele rekengebied nodig zijn. Uiteindelijk lukte het toch om tal van simulaties uit te voeren op  $256 \times 257 \times 256$  roosterpunten met behulp van 32 processoren per simulatie (die dan 8 Gbytes geheugen in beslag nemen). Op de NWT kunnen er in principe 5 van zulke simulaties tegelijk draaien. Een enkele simulatie duurde ongeveer 3 uur (CPU) en ongeveer de helft van de tijd was nodig voor het extra werk dat parallel rekenen nu eenmaal met zich meebrengt. Deze aantrekkelijke getallen geven aan dat het werken met de NWT uitdagend is en nieuwe mogelijkheden voor onderzoek schept. Een kanttekening hierbij is dat een systeem als de NWT wel extra inspanning van de gebruiker vergt.

Mijn bezoek aan Japan heb ik ook gebruikt om kennis te maken met de Universiteit van Tokio, waar verschillende groepen intensief aan turbulentie werken. In de omgeving van Nagoya heb ik twee bedrijven bezocht, de zware industrieën Kawasaki en Mitsubishi. We kennen deze namen van motorfietsen en auto's, maar in deze zware industrieën worden o.a. ook helicopters, Boeings 767 en 777, en raketten geproduceerd.

Ik eindig dit verslag met enkele opmerkingen over het werken van een buitenlander in Japan. Allereerst is er het taalprobleem. Computers kunnen (onverwacht) Japanse tekens uitspugen en tal van onderzoeksresultaten worden eerst (of uitsluitend) in het Japans gepubliceerd. De communicatie met mensen is ook niet altijd eenvoudig, sommigen spreken goed Engels (vaak wetenschappers), anderen minder goed (bijvoorbeeld systeembeheerders). Men nam overigens veel moeite om me zo goed mogelijk op te vangen en wegwijs te maken. Verder maakt men lange werkdagen in Japan, dat is bekend. Maar ook de werk- en gezagsverhoudingen liggen anders dan in Europa. Als men iets wil regelen of organiseren moet dat van onderen af. Dat wil zeggen dat het via iemand gaat die direkt boven je staat; een kortere weg nemen door direkt naar de directeur zelf te stappen is erg ongebruikelijk. Daarnaast zijn er natuurlijk ook meer zichtbare details van een totaal andere cultuur waarvan ik er tenslotte één noem: het verplicht dragen van sloffen op het werk.

## 1.2 Werken op het Weizmann Institute of Science (Kees Venner)

**Inleiding.** Sinds het begin van mijn promotieonderzoek (1987) bij de faculteit Werktuigbouwkunde van de Universiteit Twente, werk ik samen met Prof. Achi Brandt van de faculteit Wiskunde van het Weizmann Institute of Science, in Rehovot, Israël. In eerste instantie was het doel het ontwikkelen van multi-grid oplossers voor elasto-hydrodynamische smeringsproblemen (het onderwerp van mijn promotieonderzoek) en bracht ik in dat kader jaarlijks een kort bezoek. Vervolgens heeft de samenwerking zich uitgebreid tot diverse andere gebieden, onder meer naar Navier-Stokes voor hoge Reynoldsgetallen, en naar

integraaltransformaties en integraalvergelijkingen. In de afgelopen 5 jaar werd de samenwerking ondersteund middels een KNAW aanstelling bij de faculteit Werktuigbouwkunde van de Universiteit Twente, en vanuit Israël door een post-doc beurs van de Feinberg Graduate School van het Weizmann Instituut. In deze tijd heb ik twee keer een jaar aan het Weizmann Instituut gewerkt, en meerdere bezoeken van ongeveer een maand gebracht. In deze bijdrage wordt een indruk gegeven van die bezoeken, alsmede informatie over het instituut en haar faculteit Wiskunde (voor meer informatie: zie <sup>1 2</sup>).

**Het Weizmann Instituut.** Het instituut is een centrum voor onderzoek en “graduate study” dat is gelegen op een campus met prachtige sub-tropische tuinen net buiten Rehovot, een stadje zo’n 22 kilometer ten zuiden van Tel Aviv, en 56 kilometer ten westen van Jeruzalem. Op het instituut werken 1220 wetenschappers, ingenieurs en technici, en het heeft een administratieve staf van ongeveer 330 personen. Tot slot werken er zo’n 750 wetenschappers in opleiding te weten de MSc en PhD studenten. Er is geen lagerejaars onderwijs op het instituut. Dit heeft belangrijke consequenties. Ten eerste is er dus geen grottschalig onderwijs. Aan de andere kant betekent dit dat het instituut via studentenaantallen slechts weinig geld van de overheid krijgt en voor een groot deel afhankelijk is van beurzen, legaten, donaties en andere vormen van sponsoring. Internationaal is het instituut zeer bekend. Jaarlijks komen er dan ook een groot aantal bezoekers voor kortere of langere verblijven (663 in 1993), en post-doctoral fellows (123 in 1993). Er is zelfs een aparte afdeling “visiting scientists” die op uitstekende wijze de bezoekers helpt bij problemen met de diverse instanties en ook zorgt voor huisvesting.

De geschiedenis van het instituut begint in 1933 met het besluit van Dr. Chaim Weizmann, de latere eerste president van Israël, om een onderzoekscentrum op te richten in het toenmalige Britse Mandaatgebied Palestina. Weizmann vond partners voor zijn plan, en zo werd in het voorjaar van 1934 het Daniel Sieff Research Instituut opgericht. Aanvankelijk bood het instituut onderdak aan organische chemie, biochemie en aan Weizmann’s eigen laboratorium, met afdelingen voor natuurkunde. De staf bestond naast Dr. Weizmann uit 10 full-time wetenschappers (waarvan 6 uit Duitsland en Oostenrijk) die voornamelijk werkzaam waren op projecten die gerelateerd waren aan de economie van het land; citrus, zuivel, zijde, tabak en de synthese van chemische producten van medisch belang. Uit deze tijd dateren ook diverse citrus-boomgaarden op het instituut. De verwaarloosde staat ervan illustreert dat andere problemen prioriteit hebben gekregen.

Nu, zo’n 40 jaar na Weizmann’s dood, bestaat het instituut uit 18 afdelingen, die gegroepeerd zijn in 5 faculteiten: Wiskunde, Natuurkunde, Chemie, Biofysica-Biochemie, Biologie en een afdeling verbonden aan de Feinberg Graduate School. Daarnaast zijn in de afgelopen jaren, in reactie op de zich ontwikkelende vragen in onderzoek, interdisciplinaire centra opgericht om samenwerking te stimuleren.

<sup>1</sup> “Scientific Activities 1993”, Weizmann Institute of Science.

<sup>2</sup> “Faculty of Mathematical Sciences, profile 1994,” Weizmann Institute of Science.

**De faculteit Wiskunde.** De faculteit Wiskunde huisvest twee afdelingen die in het Engels aangeduid worden met: "Theoretical Mathematics", en "Applied Mathematics and Computer Science". Ook de faculteit Wiskunde heeft zijn steentjes bijgedragen aan de rijke historie van het instituut. Als bewijs hiervan staat in de hal van het oude en statige gebouw (Zyskind building) waar de faculteit gehuisvest is, onder toezicht van een enorme buste van Einstein, "Weizac", de eerste elektronische computer in Israël, ontworpen en gebouwd door de wiskundigen. Sindsdien is er veel veranderd. De huidige onderzoeksthema's zijn zowel theoretisch als experimenteel en variëren van kunstmatige intelligentie tot informatieprocessen in biomedische systemen. Onderzoeksgebieden zijn daarnaast cryptografie, ontwikkeling van algoritmes, parallel processing, zgn. concurrent languages, visual languages en programming environments.

Een belangrijk deel van het onderzoek op het gebied van de numerieke wiskunde vindt nu plaats onder de paraplu van het "Carl F. Gauss-Minerva Center for Scientific Computing", onder leiding van professor Achi Brandt. Het centrum bestaat sinds het najaar van 1993 en het doel van het centrum is om te fungeren als een katalysator met betrekking tot de ontwikkeling van snelle en efficiënte algoritmes voor de numerieke simulatie van problemen uit de natuurkunde, chemie, toegepaste wiskunde en techniek. In het bijzonder gaat het dan om zgn. multi-scale (multi-resolution) algoritmes met speciale aandacht voor aspecten van parallel rekenen. Daarnaast coördineert het Gauss-centrum onderwijs, organiseert het workshops en korte cursussen, en biedt het supervisie en begeleiding voor studenten, gaststudenten, en bezoekende wetenschappers. In het verslag van de Scientific Activities op het Weizmann Instituut (voetnoot 1) wordt het volgende overzicht gegeven van de huidige activiteiten:

- New multigrid methods for steady-state fluid dynamics at all Mach numbers and other non-elliptic stationary PDE systems.
- Multilevel approaches to time-dependent partial-differential equations, emphasizing applications to oceanic and atmospheric flows.
- Direct multigrid solvers for inverse problems, including system identification (e.g., impedance tomography); data assimilation (in atmospheric simulations); boundary shape optimization; and location optimization (e.g., location of nucleons in electronic structure calculations).
- Many-eigenfunction problems, e.g., of the Schrödinger operator in ab-initio electronic structure computations.
- New multilevel algorithms for highly indefinite (e.g. standing wave) problems, with a future application to electromagnetic wave propagation.
- Multigrid solvers for the Dirac equations arising in field theory.
- Fast updating of the values of a determinant upon changing an arbitrary term in the matrix, with an application to the QCD fermionic interaction.



- Multiscale methods for the fast evaluation and inversion of integral transforms; applications: X-ray tomography and airplane and satellite radar reconstruction.
- Multigrid methods for integro-differential equations, with non-uniform grids, with applications to tribology.
- Multiscale computations of many-particle systems, including fast evaluation of forces, fast convergence to local and global ground states, and fast dynamics, with application to molecular mechanics.
- Multiscale Monte-Carlo algorithms for eliminating both the critical slowing down and the volume factor in increasingly advanced models in statistical physics.
- Multigrid Monte-Carlo approaches for solving the high-dimensional (several-particle) Schrödinger equation by real-time path integrals.
- Multiscale algorithms for early vision tasks such as surface reconstruction, edge detection, and meaningful picture coarsening.
- Rigorous quantitative theory for predicting the performance of multigrid solvers.

**Werken en leven.** Israël is in veel opzichten een land van uitersten. Het landschap varieert van groen en vruchtbaar tot zand en woestijn over een afstand van slechts 200 km. Historie en moderne samenleving zijn naast elkaar zichtbaar op soms slechts een paar vierkante kilometer. In het land bevinden zich ook nog eens heilige plaatsen van de drie grote mono-theïstische wereldgodsdiensten (die elkaar nog steeds niet echt omarmen). De bevolking is een lappendeken met mensen uit alle delen van de wereld en met totaal verschillende achtergronden. Het valt op dat ondanks deze grote verschillen de mensen toch sterk met elkaar verbonden zijn. De moeilijke omstandigheden waaronder het land is opgebouwd hebben daar natuurlijk in belangrijke mate aan bijgedragen. De Israëlische samenleving is zeer dynamisch, de omstandigheden veranderen snel. Improvisatie is aan de orde van de dag en er is eigenlijk nauwelijks tijd om ergens lang bij stil te staan (behalve dan de in de rij bij de bank of op het postkantoor). Leven in Israël is, door de vele indrukken en stortvloed aan informatie, vooral in het begin een vermoeiende aangelegenheid. Echter, ook al is het niet echt nodig omdat de meeste mensen Engels spreken, als je de moeite neemt om wat Hebreeuws te leren wordt dit zeer gewaardeerd en leg je gemakkelijk contacten.

De academische wereld is meestal een oase van rust in vergelijking met de samenleving eromheen, dit geldt ook voor het Weizmann Instituut. De “immigratie” van bezoekers verloopt relatief soepel dankzij de inspanningen van het “visiting scientist department” onder leiding van Mrs. Edna Agmon. Het instituut is echter in alle opzichten ook een afspiegeling van de samenleving. Zo

zijn er in de afgelopen jaren op het instituut veel immigranten uit de voormalige Sovjet-Unie bijgekomen. Eén ding is niet veranderd, en dat is dat werken op het instituut gekenmerkt wordt door een enorme gedrevenheid, betrokkenheid en inventiviteit. Er wordt erg hard gewerkt en de beschikbare middelen worden optimaal gebruikt. Ter illustratie: de faculteit Wiskunde beschikt thans over een uitgebreid en goed geoutilleerd computerlab, maar nog geen 8 jaar geleden was het "vechten" om 's nachts even een half uurtje op de computer te kunnen. Achteraf gezien had dit een heel gezond effect. Je werd gedwongen soms veel langer dan je lief was, na te denken over algoritmes, en als je dan eenmaal achter een scherm zat zeer efficiënt gebruik te maken van de tijd. Iets dat uiteindelijk de kwaliteit van je werk alleen maar ten goede komt. Zoals gezegd, de omstandigheden zijn sindsdien sterk verbeterd, maar de sfeer is gebleven; werken op het Weizmann instituut is hard werken, maar het is steeds weer inspirerend en stimulerend.

### 1.3 De 43ste Bijeenkomst Kontaktgroep Numerieke Stromingsleer (Nettie van den Berg)

Op 11 maart 1996 vond de 43ste bijeenkomst plaats van de Kontaktgroep Numerieke Stromingsleer bij het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium NLR te Amsterdam. De bijeenkomst was goed bezocht, een volle zaal met meer dan 40 personen. Alle presentaties waren deze keer zeer praktisch van aard, variërend van stromingen om vleugels, stromingen door motorblokken, pijpstromingen, tot de omstroming van ijsblokken. Gastheer was dhr. J. Kok van het NLR, dhr. A. Mynett (WL) was deze dag de voorzitter.

De eerste presentatie werd gegeven door Rob Hagmeijer van het NLR over zijn 3D single-block gridadaptatie methode ten behoeve van viskeuze stromingsberekeningen rondom vleugels. De essentie van deze methode is het verschuiven van gridpunten in een gestructureerd rekenrooster. Doel van de adaptatie is het verkrijgen van een nauwkeuriger oplossing zodanig dat op die plaatsen in het stromingsveld waar de hoogste gradiënten optreden een hogere grid-dichtheid verkregen wordt. Het principe wat toegepast wordt is gebaseerd op de formule gewichtsfunctie  $\times$  grid-afstand = constant. Uitwerking hiervan levert een 'gewogen kleinste kwadraten' functionaal op die geminimaliseerd wordt. De gridadaptatie wordt als volgt uitgevoerd. Het initiële grid wordt afgebeeld op een parametrisch domein, in dit domein worden de de gridlijnen verschoven waarna dit grid weer op het fysische domein afgebeeld wordt. Voor de gridlijnen in de grenslaag wordt een correctie toegepast zodanig dat de gridlijnen loodrecht op het oppervlak staan (meestal een eis binnen het toegepaste turbulentiemodel). Toepassingen rondom vleugels (ONERA-M6 en een delta-vleugel) waarbij wervels en schokken optreden laten zien dat na adaptatie de grenslaagresolutie aanzienlijk verbeterd is en dat tevens de schokstructuren op de bovenzijde van de vleugel nauwkeuriger berekend worden evenals het stromingsgebied rondom de wervelkern. Geconcludeerd wordt dat de verkregen oplossingen op het geadapteerde rooster nauwkeuriger zijn dan op het initiële

rooster; grid-adaptatie de mogelijkheid biedt om een rooster te gebruiken voor verschillende Reynoldsgetallen; het gedrag van de lift-weerstand als functie van Reynoldsgetal beter wordt.

De volgende spreker, Henk Krüs van Cyclone Fluid Dynamics in Waalre liet een toepassing zien van de berekening van de koelvlloeistofstroming door een motorblok, met als doel na te gaan of het motorblok gelijkmatig gekoeld wordt. Allereerst werd een overzicht gegeven van de mogelijke gridstructuren die toegepast kunnen worden, zoals gestructureerd versus ongestructureerd, single-block versus multiblock, mogelijk degeneraties, verschillende keuzen voor koppeling van cellen, etc. Een (vaak onderschat) probleem dat in de praktijk optreedt bij het modelleren van complexe geometrieën is de onvolledigheid van de aan-geleverde CAD data of juist een overdaad aan data. Bij het geschikt maken van een geometrie voor CFD simulaties, moet vaak veel tijd besteed worden aan het her-modelleren, om alle delen aansluitend te maken, overlappingsen en 'gaten' tussen verschillende delen te verwijderen, etc. Met behulp van ICEM-CFD is dit motorblok gemodelleerd waarbij 5 man-maanden nodig waren voor de geometrie-beschrijving, blok-decompositie en gridgeneratie, terwijl de berekening van de stroming door het motorblok in een week uitgevoerd was. De CFD resultaten toonden aan dat het motorblok niet gelijkmatig gekoeld werd, wat overeenkwam met de experimentele bevindingen, een goed voorbeeld van een CFD toepassing in een industriële omgeving.

Dhr. Boersma van de TUD was de volgende spreker. Zijn onderzoek richt zich op een DNS simulatie in een kromme pijp. In zijn presentatie lag de nadruk meer op de ontwikkeling van de numerieke methode, uit kostenoverwegingen is DNS nog niet toepasbaar in een industriële omgeving. Het probleem dat optreedt is dat meerdere Navier-Stokes oplossingen gelijktijdig kunnen bestaan (t.g.v. optreden van bifurcaties). De numerieke methode die hier ontwikkeld wordt is een eindige volume methode op een 'staggered' grid, waarbij een expliciete tijdsintegratie toegepast wordt. De Poisson-vergelijking voor de druk is herschreven m.b.v. Fouriertransformaties waardoor voor ieder vlak in de axiale richting een 2D probleem ontstaat. Resultaten worden getoond voor een kromme pijp met een kromtestraal van  $r = 5d$  ( $d$  is de diameter) en een rechte pijp. In beide gevallen wordt, afhankelijk van de gekozen beginoplossing, een duale oplossing gevonden. De conclusies zijn dat de invloed van de kromming groot is op de gevonden stromingsprofielen, de kromming van de pijp de weerstand vermeerderd en de kromming een stabiliserend effect heeft op de turbulentie in de pijp.

De laatste spreker was dhr. Kranenborg, van het IMAU te Utrecht. Zijn probleem, convectie rondom ijsplaten, komt voort uit de oceanografie. Hierbij zijn zowel de temperatuurgradiënt als de zoutheidsgradiënt bepalend voor het stromingspatroon. Zo komt het voor dat ten gevolge van de zoutstratificatie (gelaagdheid) en de temperatuurgradiënt (ijs-water) horizontaal transport i.p.v. verticaal transport optreedt. In de numerieke simulatie worden de complete Navier-Stokes vergelijkingen opgelost, inclusief een transportvergelijking voor het zout en de temperatuur. Het numerieke model waarop de vergelij-

kingen opgelost worden is een rechte bak waarvan één wand verwarmd wordt. Afhankelijk van de zout- en temperatuurgradiënten die verondersteld worden in de stroming, worden verschillende oplossingen gevonden. Het blijkt dat vele oplossingen mogelijk zijn, maar dat weinigen stabiel zijn. Zo wordt een simulatie getoond waarbij in eerste instantie vier 'cellen' in de oplossing ontstaan (vier gesloten gebieden in verticale richting, gescheiden door een slecht door-dringbare laag). De vier cellen versmelten tot twee cellen die uiteindelijk weer overgaan in één cel. Juist deze instabiele oplossingen blijken fysisch relevant te zijn.

#### 1.4 Venster op een Reus van het Computertijdperk (Henk Nieland, CWI)

Beroepsprogrammeurs koesteren het als de Bijbel: Donald E. Knuth's serie *The Art of Computer Programming*, het nog immer op voltooiing wachtende meesterwerk van één der meest prominente acteurs op het computertoneel. Ter gelegenheid van het 50-jarig jubileum van de Stichting Mathematisch Centrum, zelf spiegel van de naoorlogse ontwikkeling op dit gebied, sprak Knuth - computerpionier, pedagoog en musicus - op 12 maart in Amsterdam over zijn recent ontwikkelde Stanford GraphBase, een serie data en programma's voor combinatorische berekeningen.

Reeds als jongetje probeerde Knuth (spreek uit Ka-nooth, zegt hij op zijn home page<sup>3</sup>, kennelijk als gevolg van frequente vergissingen door Engelstaligen), geboren in Milwaukee, Wisconsin in 1938 en sinds 1968 verbonden aan Stanford University, allerlei problemen voor te stellen als grafen: wiskundige structuren bestaande uit een aantal punten (vertices), al dan niet met elkaar verbonden door lijnen (kanten). Zo wist hij met behulp van grafen de karakteristieken van de footballteams uit de afdeling waarin zijn College uitkwam, in kaart te brengen en verschaft daarmee de coach een (naar later bleek winnend) strategisch hulpmiddel. Deze rode draad door zijn leven - de andere is de muziek - pakte hij weer op toen hij de vijftig al ruim was gepasseerd. Ondertussen had hij naam gemaakt met zijn monumentale werk *The Art of Computer Programming*, de tekstverwerkingstaal T<sub>E</sub>X (spreek uit Tech), het letterontwerpsysteem META-FONT en nog een hele reeks andere prestaties, waaronder ook diverse bijdragen aan het zuivere onderzoek (bijvoorbeeld het Knuth-Bendix algoritme). Begin jaren zestig begon Knuth, aanvankelijk voor eigen gebruik, tekstboeken te maken over programmeertechnieken. Daaraan was grote behoefte, want in die tijd was de informatica als vak apart nog bezig uit het ei te kruipen. Uiteindelijk mondde dit uit in het plan voor een zevendelige serie onder de naam *The Art of Computer Programming*, waarvan de eerste drie delen: Fundamental Algorithms, Seminumerical Algorithms en Sorting and Searching, verschenen in respectievelijk 1968, 1969 en 1973 (oplage één miljoen, inclusief vertalingen in zes talen, waaronder Chinees en Russisch). Officiële erkenning volgde

<sup>3</sup><http://www-cs-faculty.stanford.edu/knuth>

snel met de toekenning in 1974 van de Turing Award (de ‘Nobelprijs voor de informatica’), genoemd naar de geniale Britse computerpionier Alan Turing. Vervolgens wijdde Knuth zich tien jaar aan digitale typografie. De door hem uit onvrede met de bestaande mogelijkheden eind jaren zeventig ontworpen taal  $\text{\TeX}$  werd binnen korte tijd wereldstandaard voor het opmaken van wetenschappelijke teksten, met speciale faciliteiten voor formules. In de jaren negentig - de uitstapjes naar allerlei andere interessante projecten hadden hem nu lang genoeg geduurd - nam Knuth de draad van zijn levenswerk weer op. Drie jaar geleden ging hij met vervroegd pensioen en begon aan deel vier van *The Art of Computer Programming*. In dit deel, ‘Combinatorial Computing’, komt zijn jeugdliefde, de grafentheorie, uiteraard ruim aan bod. Het worden eigenlijk drie delen, want sinds het eerste plan van dertig jaar geleden heeft dit vakgebied, vooral onder invloed van de computer, een enorme ontwikkeling doorgemaakt. Men denke bijvoorbeeld aan de vele toepassingen van het ‘handelsreizigersprobleem’ en - meer recent - het gebruik van genetische algoritmen, waarbij door een proces van ‘natuurlijke selectie’ het beste algoritme wordt gevonden om bijvoorbeeld voor een omvangrijk combinatorisch probleem een praktisch bruikbare oplossing te vinden. Als opstapje produceerde Knuth enkele jaren geleden de Stanford GraphBase, een dertigtal dataverzamelingen en programma’s voor diverse problemen die zijn te formuleren in de vorm van grafen. Deze vormen niet alleen een proeftuin voor onderzoekers van combinatorische algoritmen, maar zijn ook voorbeelden van ‘geletterd programmeren’ (de pedagoog in Knuth verloochent zich nooit).

In zijn lezing voor een bomvolle zaal van Park Plaza aan het Amsterdamse Rokin, gevuld met zo’n vierhonderd wiskundigen en informatici uit het hele land, nam Knuth enkele onderdelen van zijn Stanford GraphBase nader onder de loep. In de loop van twintig jaar bouwde hij een bestand op van 5757 (Engelse) vijfletterwoorden, zoals ‘fifty’ en ‘years’. (Verwoede Lingo-spelers zullen misschien reikhalzend uitzien naar een Nederlandse variant.) Deze als compleet te beschouwen verzameling kan worden gezien als een reusachtige graaf, waarbij de woorden de vertices vormen. Twee woorden zijn als naburen met elkaar verbonden als zij in vier van de vijf posities overeenstemmen, bijvoorbeeld ‘fears’ en ‘years’. Nu kan men nagaan of twee willekeurige woorden met elkaar zijn verbonden via een keten van naburen (woordladder), en zo ja, welke de kortste is (er zijn meestal meer mogelijkheden). Het hiervoor gebruikte kortste-pad algoritme is al zo’n veertig jaar geleden bedacht door de Nederlander Edsger Dijkstra en is nog steeds de snelste in zijn soort. Dijkstra, eveneens onderscheiden met de Turing Award en sinds 1984 verblijvend in de VS, was toen medewerker van het Mathematisch Centrum, voorganger van het thans jubilerende Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), zoals het door de Stichting Mathematisch Centrum beheerde onderzoeksinstituut sinds 1983 heet. De kortste weg tussen ‘fifty’ en ‘years’ blijkt te lopen via ‘fisty, fists, fiats, feats, fears’ (zes kanten). De hele graaf van 5757 vertices heeft 14.135 kanten, aanzienlijk meer dan een graaf met 5757 willekeurig gekozen vijflettercombinaties heeft (nl. 174). De woorden-verzameling is dus verre van willekeu-

rig en de graaf heeft een grote samenhang: de meeste woorden (4493) behoren tot één cluster (een samenhangende deelgraaf waarin tussen elk paar woorden een ladder bestaat). Er zijn 671 clusters van één woord (dus een woord zonder naburen), bijvoorbeeld 'again' en 'first', 103 van twee woorden, zoals 'odium' - 'opium', etc. Gemiddeld heeft een vijfletterwoord 5 naburen, het record is 25 naburen ('bares' en 'cores'). Deze 25 naburen hebben zelf elk gemiddeld 15 naburen, we zitten hier dus in een zeer dicht deel van de graaf. Tussen twee woorden behorend tot verschillende clusters bestaat geen verbinding, bijvoorbeeld 'pounds' en 'marks'. Wij kunnen ook spreken van de diameter van een cluster: de grootste afstand binnen zo'n cluster (de afstand tussen twee woorden is het aantal kanten van de kortste ladder). De diameter van de reuzencluster van 4493 woorden is 29 (de kortste afstand tussen 'amigo' en 'signs'). Soms bevat een woordladder een zelden voorkomend woord. Als we dat willen vermijden, dan kunnen we ons beperken tot bijvoorbeeld de 2000 meest gebruikte woorden. De kortste weg tussen twee woorden wordt dan meestal langer en soms kan de verbinding worden verbroken. Een andere mogelijkheid is het begrip 'nabuur' uit te breiden tot bijvoorbeeld alle woorden die vier letters gemeen hebben met het oorspronkelijke woord, maar niet noodzakelijk op dezelfde positie. Het aantal kanten van de complete 5757-woorden graaf neemt enorm toe, tot 128.223, elk woord heeft gemiddeld 45 naburen en slechts 13 woorden hebben geen naburen. Wij kunnen ook een 'gerichte' graaf definiëren: een woord leidt naar een ander woord als zijn laatste vier letters daarin voorkomen, bijvoorbeeld 'sharp' → 'graph'. Nu is de kortste gerichte weg van A naar B meestal niet even lang als die van B naar A. De vijfletterwoorden-graaf kan dienen om inzicht te krijgen in allerlei combinatorische problemen, zoals het onderzoek naar boomstructuren en naar het 'kleuren' van grafen. Zoals bekend kunnen zeer veel ingewikkelde praktijkproblemen worden vertaald in de vorm van een graaf. De woorden kunnen ook dienen ter bestudering van overdekkingsproblemen, zoals: zijn er vijf woorden die samen 25 letters van het alfabet vormen? Het antwoord is: nee, maar met 24 lukt het wel: {becks, fjord, glitz, nymph, squaw}. Verder kunnen we spreken van twee equivalente woorden als zij uit dezelfde letters bestaan, bijvoorbeeld: 'scions' = 'icons' = 'coins' = 'sonic'. We kunnen op zoek gaan naar symmetrische woordvierkanten, zoals de woorden 'water', 'alive', 'tides', 'event' en 'rests' onder elkaar gezet (er zijn er ruim een half miljoen!), of zelfs symmetrische 5x5x5 woordkubussen. Eén van de aardigste is:

aster scale tacos elope reset  
 scale codex adopt leper extra  
 tacos adopt cover opera strap  
 elope leper opera perks erase  
 reset extra strap erase taper

Als bijprodukt presenteerde Knuth ook nog de langste grammaticaal correcte Engelse zin met uitsluitend vijfletterwoorden: 'every night, young video buffs catch rerun fever, forty years after those great shows first aired'. Een kolfje naar de hand van toehoorder Hugo Brandt Corstius, hoogleraar computerlinguïstiek (en ooit medewerker van het Mathematisch Centrum), gevreesd publicist en schepper van het Opperlands proza, dat bol staat van dergelijke grapjes.

Een geheel andere definitie van 'natuur' gaat uit van een woord als een getallenvector met  $a = 1, b = 2, \dots, z = 26$ . Nu kunnen we woorden optellen en aftrekken door op elke positie te rekenen modulo 26. Zo krijgen we: 'words' + 'spins' = 'pearl', en ('vague' + 'risky')/2 = 'tempo'. Twee woorden zijn naburen dan en alleen dan als hun som ook een woord is, of: als hun scalair produkt gelijk is aan 0 modulo  $m$ , waarbij  $m$  een nog te kiezen parameter is. Via het scalair produkt kunnen we ook spreken van de Euclidische afstand tussen twee woorden. De grootste afstand is: —'yucca' - 'abuzz'— =  $\sqrt{2415}$ . En we kunnen dan twee woorden naburen noemen als hun Euclidische afstand niet groter is dan bijvoorbeeld  $\sqrt{10}$ . Soortgelijke dingen kunnen we doen met andere afstandsdefinities, bijvoorbeeld de Manhattan-afstand (de som van de afstanden tussen letters in overeenkomstige posities). Dit ogenschijnlijk alleen recreatieve spelen met woorden heeft een diepere betekenis. Zo speelt in de coderingstheorie de 'afstand' tussen codewoorden een belangrijke rol en zonder die theorie zouden we nu geen compact disk of satellietbeelden van Saturnus hebben.

Knuth behandelde de vijfletterwoorden zo uitgebreid omdat er zo veel mee valt te ontdekken. Het slotvoorbeeld van zijn voordracht betrof de Mona Lisa. Het meesterwerk van Da Vinci heeft Knuth - en hij is niet de enige - gedigitaliseerd opgeslagen in  $360 \times 250$  pixels die elk 256 grijswaarden kunnen hebben. Knuth gebruikt deze gegevens echter niet zozeer voor beeldanalyse dan wel ter illustratie van allerlei problemen uit de combinatorische optimalisering. Een daarvan is het 'toewijzingsprobleem', bijvoorbeeld de toewijzing van werknemers aan een aantal taken zodanig dat de opbrengst maximaal is. Zo kunnen we een indruk krijgen van de kwaliteit van een toewijzing door op het oog te beoordelen hoe goed deze het origineel benadert. (Het is een vreemd, maar interessant idee om kwalitatieve uitspraken te doen over een grote, onoverzichtelijke verzameling gegevens, bijvoorbeeld getallen, door deze om te zetten in een beeld.) Stel wij delen de Mona Lisa op in  $30 \times 22$  vierkantjes en proberen deze te overdekken met zes complete 'dubbel-negen' dominospellen (elk spel telt 55 stenen, dus 110 vierkantjes), zodanig dat de som over alle vierkantjes van de kwadraten van de verschillen tussen de pixelwaarden (genormeerd op een schaal

van 0 tot 9) en het erop liggende aantal domino-punten minimaal is. Dit komt neer op een toewijzingsprobleem van 330 dominostenen aan 330 posities. De optimale oplossing, gevonden met behulp van het voor toewijzingsproblemen klassieke ‘Hongaarse algoritme’, toont een opmerkelijke overeenkomst met het origineel (bekijk het beeld op A4-formaat van minstens vijf meter afstand).

Knuth werkte in Europa een druk programma af. Vlak voor zijn lezing in Amsterdam ontving hij een eredoctoraat in Brno en daags erna trad hij nog in het krijt met de Nederlandse club van  $\text{\TeX}$ gebruikers, een ontmoeting die tot in de kleine uurtjes duurde. Direct daarna reisde hij door naar Parijs. (Om minder aan zijn hoofd te hebben heeft hij overigens wel zes jaar geleden zijn e-mail overboord gegooid.) Ondertussen vond hij nog tijd om het 17e-eeuwse orgel van de lezingenzaal in Park Plaza te proberen. Knuth is een groot kenner en bespeler van het orgel, en bovendien componist, en bezit duizenden (orgel)partituren. Kunst en wetenschap heeft hij altijd in nauwe samenhang beoefend, zoals ook blijkt uit de titel *The Art of Computer Programming*. Voor het onderscheid tussen beide heeft Knuth een eenvoudig algoritme voorhanden: ‘Wetenschap kun je aan een computer uitleggen, kunst is al het andere’.

## 1.5 Johann Bernoulli Lezing (Ena Tiesinga)

Dinsdag 9 april 1996 vond in Groningen de jaarlijkse Johann Bernoulli lezing plaats. Dit jaar werd de lezing met als titel ‘Aspects of Scientific Computing’ gehouden door prof. Gene H. Golub (Stanford University). De lezing werd vooraf gegaan door een korte voordracht over ‘Rekenmeesters ten tijde van de Bernoulli’s’ door prof.dr. A.W. Grootendorst (TUD) en een korte inleiding op het werk van Golub door prof.dr. A.E.P. Veldman (RuG).

De voordracht van Grootendorst was erg onderhoudend. Hij vertelde hoe de rekenmeester Faulhaber in de zeventiende eeuw de sommatie van machten van opeenvolgende getallen ( $\sum_{i=1}^n i^k$ ) bepaalde. Dit probleem was voor  $k=2$  en 3 reeds beantwoord door respectievelijk Archimedes en Nicomachus. Faulhaber liet zien dat de som voor algemene  $k$  geschreven kan worden als een polynoom van de sommen voor  $k=1$  en 2 ( $\sum_{i=1}^n i^k = P(\sum_{i=1}^n i, \sum_{i=1}^n i^2)$ ). Hij ‘bewees’ dit door voor kleine  $n$  en  $k$  de som te bepalen en vervolgens met incomplete inductie zijn conclusie te trekken.

Veldman gaf een overzicht van de wetenschappelijke carrière van Golub. Golub is sinds 1966 werkzaam aan de Stanford University, waar hij momenteel programmadirekteur is van de opleiding Scientific Computing. Zijn wetenschappelijke bijdragen liggen voornamelijk op het terrein van de numerieke lineaire algebra en toepassingen daarvan. De lezing van Golub gaf een wat onsamenhangend overzicht van dit gebied.

Scientific computing is een breed terrein dat toegepaste wiskunde, numerieke wiskunde en informatica omvat. Het gebied wordt gestimuleerd door de technologie, nieuwe problemen worden aangedragen en computers worden verder ontwikkeld. Een belangrijk aspect van scientific computing is matrix computation, het oplossen van een stelsel lineaire vergelijkingen ( $Ax=b$ ). Dit



soort stelsels komt onder andere voor bij discretisatie van partiële differentiaalvergelijkingen, data fitting en Markov chains. De juiste methode voor het oplossen van zo'n stelsel is afhankelijk van verschillende factoren. Allereerst zijn de structuur (ijlheid), klasse (Toeplitz, Hankl) en eigenschappen (symmetrisch, definit) van de matrix  $A$  van belang. Verder spelen de beschikbare computerfaciliteiten (parallel, vector) een rol. Andere factoren zijn vragen als: hebben we de oplossing nodig voor verschillende rechterleden  $b$ , hebben we ook een oplossing nodig voor een kleine verstoring van  $A$  en hebben we de gehele oplossing nodig? Voor het oplossen van de stelsels zijn directe methoden beschikbaar. In de jaren '50 kwam de ontwikkeling van iteratieve methoden op gang. Om de convergentie van deze methoden te versnellen worden preconditioners gebruikt. Manieren voor het oplossen van lineaire stelsels werden geïllustreerd aan de hand van twee voorbeelden. Het eerste is picture processing. Bij verstoring van beeldinformatie ontstaat ruis. Bij technieken om het oorspronkelijke beeld te reproduceren wordt gebruik gemaakt van singular value decompositions. Het tweede voorbeeld is de fast Poisson-solver. Het stelsel dat ontstaat na discretisatie met eindige differenties van de Poisson-vergelijking kan met cyclische reductie worden opgelost. Hierbij wordt herhaald de helft van de onbekenden geëlimineerd. Golub sloot zijn lezing af met de opmerking dat scientific computing een interessant gebied is vanwege zijn aspecten uit vele terreinen. Bovendien is het een gebied dat blijft groeien omdat de technologie groeit.

## 1.6 Lezing van Gene Golub in Delft (Hilda van der Veen)

De voordracht van Gene Golub, op 10 april j.l. in Delft <sup>4</sup>, werd ingeleid door Piet Wesseling, die nog even voor de nieuwkomers toelichtte dat Gene Golub professor is aan de Stanford Graduate School of Scientific Computing, en mede-auteur van het bekende boek *Matrix Computations*. De verwachtingen waren hoog gespannen en we werden niet teleurgesteld. De titel van de voordracht luidde: *Matrices, moments and quadrature*. De kern van het verhaal was het probleem van het vinden van een boven- en ondergrens voor uitdrukkingen van de vorm  $u^T F(A)u$ .

De oorsprong van dit probleem werd duidelijk gemaakt aan de hand van enkele voorbeelden. Als eerste voorbeeld dient de foutberekening van een numeriek opgelost stelsel van de vorm  $Ax = b$ . Gewoonlijk wordt deze fout bepaald door de norm van  $A^{-1}r$  te berekenen waarbij  $r$  het residu is. Nogal eens blijkt dit echter een overschatting. Beter is het de fout te schatten met  $r^T A^{-2}r$ . Hier komt dus zo'n hierboven genoemde vorm naar voren. De waarde van  $r^T A^{-2}r$  kan efficiënt worden bepaald door enkele herschrijvingen en transformaties toe te passen. Om te beginnen kan de formule geschreven worden in eigenvectorvorm. Deze op zijn beurt laat zich weer herschrijven tot een kwadratuur gelijk aan een Stieltjes-integraal. De technieken door Stieltjes ontwikkeld kwamen

<sup>4</sup>Gene Golub's bezoek aan de TUD was op uitnodiging van het J.M. Burgerscentrum.

verderop ook nog terug, en Gene Golub was verheugd te horen dat de weg aan de overkant van het wiskundegebouw de Stieltjesweg heet omdat Stieltjes enkele jaren college heeft gegeven aan de TU-Delft.

Op dit punt van het verhaal kwam het tweede woord in de titel ook aan bod: moments. De momenten van de Stieltjes-integraal blijken namelijk een cruciale rol te spelen in de berekening. Tot slot worden er nog enkele Gauss- en Radau-regels uit de kast gehaald waarmee de gevraagde onder- en bovengrens bepaald kunnen worden, zonder dure berekening van momenten. De hoofdzaak is het bepalen van de 3-term recursie voor orthogonale polynomen. Dit kan met Lanczos of Stieltjes. Beide heren hebben hiervoor technieken ontwikkeld die zoals Gene Golub ons liet zien, eigenlijk hetzelfde zijn.

Een andere toepassing, die zich op dezelfde manier laat behandelen is de berekening van de diagonaalelementen van een inverse matrix om deze voor preconditionering te gebruiken.

Als laatste besprak Gene Golub nog een wat andersoortig probleem. Namelijk de berekening van de "Cross Validation Function" bij problemen van  $Ax = b$ , met  $A$  rechthoekig (kleinste-kwadraten methode). Beschouwd werd als voorbeeld  $A + \mu I$ , met  $\mu$  een regularisatie parameter. Eén voor één worden de observaties (rijen van  $A$ ) weggelaten, en bij elk van deze het residu bepaald. Hierbij wordt het residu van de ene berekening weer in de volgende gebruikt. Daarna is het de kunst om het minimum van deze residuen te bepalen. Bij dit probleem maakte Gene Golub gebruik van Monte Carlo technieken.

Zo heeft hij tijdens zijn lezing heel wat verschillende vakgebieden efficiënt gecombineerd. Details van zijn ideeën kunnen worden teruggevonden in artikelen die via internet beschikbaar zijn. Gewoon even surfen naar <http://www-SCCM.stanford.edu>.

## 1.7 Symposium Computational Science in Nederland (Femke Raeven)

Aangezien dit mijn eerste stukje voor het Nummer is, ging ik donderdag 25 april met een groot schrijfblok het Matthias van Geunsgebouw binnen. Ik had me voorgenomen alles vast te leggen wat er die dag zou gebeuren, zodat u, lezer, een goed beeld zou krijgen van het symposium 'Computational Science in Nederland'. Omdat ik al geen aantekeningen meer had gemaakt sinds ik als eerstejaars student mijn allereerste college volgde, werd ik enigszins vreemd aangekeken door sommige van mijn collega's, waarna ik snel hun blik beantwoordde met: "Stukje schrijven voor het Nummer, hoor". Misschien is het dan ook meer met mijn persoonlijkheid te rijmen dat ik diezelfde avond het hele schrijfblok met de zo moeizaam verkregen aantekeningen al weer was verloren. Een uitgebreide zoekactie leverde niets op en daarom hier niet een gedetailleerde beschrijving van de lezingen, maar meer een eigen interpretatie.

De dag werd geopend door prof. Van der Vorst, die een introductie gaf op Computational Science (CS) in Nederland in het algemeen, en in Utrecht in het bijzonder. De belofte aan de vele aanwezige studenten, dat de dag een

goed idee zou geven van de beroepsperspectieven van een afgestudeerde CS-er is zeker uitgekomen. Na de introductie volgden 5 sprekers die Computational Science elk vanuit een eigen toepassingsgebied belichtten.

De eerste was prof. Goedbloed van het FOM-instituut voor Plasmafysica in Rijnhuizen. De boodschap, zoals hij het zelf noemde, die hij te verkondigen had, ging, zoals u waarschijnlijk wel vermoed, over plasma's. Het indrukwekkendste dat mij van deze lezing is bijgebleven, is de grote variatie in lengte- en tijdschalen waarbij plasma's voorkomen. De theorie voor zowel tokamaks (lengteschaal  $20m$ , tijdschaal  $10^{-6}s$ ), als voor de zon ( $10^8m$ ,  $15s$ ), als voor galactische plasma's ( $10^{21}m$ ,  $10^{15}s$ ) wordt beschreven door dezelfde vergelijkingen. Toen hij begon aan dit onderzoek, wat uiteindelijk tot een kernfusiereactor zou moeten leiden, was hij nogal sceptisch over de toekomst ervan. Maar nu hij ziet hoe de laatste jaren, mede door CS, problemen zijn opgelost die onoplosbaar leken, is hij optimistisch over het oplossen van de resterende problemen.

De naar mijn mening beste voordracht van de dag werd gegeven door prof. Holtslag van het KNMI in De Bilt. Aangezien het geluid dat toen uit de microfoon kwam meer leek op dat van de ritmesectie van een hardrock band (prof. Van der Vorst vond het meer het geluid van de pruttelende koffiezetapparaten voor de naderende koffiepauze) moest deze spreker het zonder digitale ondersteuning doen. Ook bij berekeningen aan weer en klimaat spelen zeer uiteenlopende lengte- en tijdschalen een rol. Dit is dan ook één van de eerste problemen bij het modelleren van deze processen: bij het maken van een computermodel van het weer op de hele aardbol, kunnen kleinschalige effecten als turbulenties en wolken niet direct meegemodelleerd worden, terwijl ze wel grote effecten kunnen hebben. Om te onderzoeken hoeveel invloed de fout in de beginvoorwaarden heeft op de voorspelling van het weer over een dag of 10, worden naast de standaard berekening 32 korte berekeningen gedaan met kleine verstoringen in de beginvoorwaarden.

De derde spreker was dr. Stam van Philips Nat-Lab. Nadat hij de microfoon weer rustig had gekregen met een stel nieuwe batterijen (vanzelfsprekend van Philips, volgens hemzelf), besprak hij hoe bij Philips met behulp van CS wordt gerekend aan CD-spelers en zelfs aan hele midisets. Toen ze begonnen aan het onderzoek was het doel om IC's of hooguit circuit boards te modelleren. Dat ze nu al in staat zijn om hele midisets door te rekenen, had hij zelf niet verwacht en geeft hoop voor de toekomst. Het uiteindelijk doel is om software te ontwikkelen die alle productontwikkelaars binnen Philips kunnen gebruiken om verschillende ontwerpvarianten uit te testen en te vergelijken.

Om de honger te stillen was er een gratis lunch klaargezet in het cafe van het gebouw. Na de lunch waren er nog twee sprekers. De eerste was dr. Tollenaere, die sprak over grootschalig rekenen in de farmacochemie. Als voorbeeld gaf hij energieberekeningen aan grote moleculen. Stel dat in een geneesmiddel een atoom moet worden vervangen door een ander. Met behulp van experimenten kunnen allerlei grootheden gemeten worden. Maar met behulp van modellering kunnen per computer experimenten gedaan worden die in de realiteit niet uitvoerbaar zijn. Helaas geven de modellen nu nog antwoorden met een fout

van ongeveer 30 procent, maar als dit in de toekomst kan worden weggewerkt, kan een grote hoeveelheid extra informatie worden verkregen.

De dag werd afgesloten door ir. Vogels van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium. Zij gaf een overzicht van de CS-activiteiten binnen het NLR. Natuurlijk was actueel in hoeverre het NLR nog door kan functioneren na het wegvallen van Fokker. Het antwoord is dat de mensen die zich nu bezighouden met vliegtuigontwikkeling, zich meer moeten gaan richten op de andere gebieden waar binnen het NLR aan wordt gewerkt. Vooral het onderzoek voor onderhoud van de vliegtuigen en voor het regelen van het nog steeds groeiende vliegverkeer boven Europa zal een belangrijker plaats in gaan nemen. Voor het uitvoeren van de berekeningen heeft het NLR een krachtige NEC supercomputer die dit jaar zal worden vervangen door een andere NEC met nog meer processoren. Deze computer wordt ook veelvuldig gebruikt door andere instellingen in binnen- en buitenland.

Onder het genot van een drankje eindigde de dag in het café van het gebouw. We konden terugkijken op een gezellige, geslaagde dag. Zoiets is voor herhaling vatbaar.

## 1.8 ITW-symposium Wavelets: Toepassingen en Recente Ontwikkelingen (Hennie ter Morsche)

Het ITW-symposium Wavelets: Toepassingen en recente ontwikkelingen, welke aan de Technische Universiteit Eindhoven op maandag 20 mei werd gehouden, heeft, getuige de ongeveer 110 deelnemers, een grote belangstelling gekend. De internationale faam van het team van sprekers heeft hierin natuurlijk een belangrijke rol gespeeld. Voeg daarbij de actualiteit van het gekozen thema en de organisatiecommissie hoeft verder maar weinig te doen om succes te verzekeren.

De gehanteerde formule bij de organisatie van een ITW-symposium om een mix van theorie en toepassingen aan de orde te laten komen, zodanig dat het symposium aantrekkelijk wordt voor een breed publiek, waaronder studenten en mensen uit het bedrijfsleven, heeft ook bij dit symposium goed gewerkt. De Technische Universiteit Eindhoven bood met haar pas gerenoveerd auditorium een uitstekende locatie.

In totaal werden zes voordrachten van ongeveer 45 min. gehouden, in chronologische volgorde: Ingrid Daubechies (Princeton University), "Recente ontwikkelingen in wavelets"; Jos Roerdink (RUG), "Wavelets in beeldverwerking en computergraphics"; Harm Jonker (KNMI), "Schaalanalyse van wolkenvelden met behulp van wavelets"; Marten van der Laan (Philips), "Analyse van gaschromatogrammen met behulp van wavelettechnieken"; Frank Dessing (TUD), "Wavelets, schaling en golven in de geofysica"; Wim Sweldens (Bell Labs Innovations), "Toepassingen van wavelets in de numerieke analyse".

Ingrid Daubechies opende de voordrachtenserie met op speciaal verzoek eerst een introductie van de wavelettheorie voor de niet-specialisten om daarna een toepassing van wavelets in de spraakanalyse te demonstreren. Hierbij wer-

den niet-lineaire technieken voor het tegengaan van ongewenste uitsmering bij de wavelet-transformatie toegepast.

Jos Roerdink gaf een overzichtsvoordracht van wavelet-toepassingen die met beeldinformatie te maken hebben, zoals beeldcompressie, tomografische reconstructies en multi-resolutiemodellering van oppervlakken.

Hoe met behulp van continue wavelet-transformaties satellietbeelden van wolkenvelden op een efficiënte manier geanalyseerd kunnen worden met betrekking tot multi-fractale eigenschappen, werd door Harm Jonker van het KNMI in zijn voordracht aangegeven.

Marten van der Laan van Philips Eindhoven paste spline-wavelets, met B-splines als schalingsfuncties, toe op de analyse van gas-chromatische data voor het decomponeren van gasmengsels. Een variant van het bemonsteringstheorema van Shannon bij multi-resolutie analyse speelt daarbij een rol.

Frank Dessing liet zien hoe wavelets gebruikt kunnen worden door op verschillende tijdschalen akoestische transmissies en reflecties van aardlagen te analyseren. Deze analyse is evident van belang bij het opsporen van olie- en gasreservoirs.

Tenslotte introduceerde Wim Sweldens van Bell Labs Innovations een nieuwe "Ansatz" voor de wavelet-theorie. In deze nieuwe aanpak staat een decompositiealgoritme centraal, dat data splitst in twee rijen van data, die de rol van restsignaal en detailsignaal hebben. Op deze wijze is het mogelijk om op eindige intervallen decomposities te maken, waarbij niet-uniforme sampling is toegestaan. Zelfs multi-resolutie decomposities van bivariate functies die bijvoorbeeld gedefinieerd zijn op bollen liggen nu voor het oprapen.

Door de Faculteit Wiskunde en Informatica van de Technische Universiteit Eindhoven werd aan het einde van het symposium een receptie aangeboden.

## 1.9 AMS-Benelux Meeting, de Brouwer Lezing (Piet Wesseling)

Dit jaar ging het jaarlijkse Mathematisch Congres van het Wiskundig Genootschap op in het AMS-Benelux Meeting in Antwerpen, 22-25 mei. Om de drie jaar organiseert het Wiskundig Genootschap bij deze gelegenheid de Brouwer lezing, ter herinnering aan L.E.J. Brouwer (1881-1966). Hoewel niet bekend bij het grote publiek, is Brouwer de Cruiff van de Nederlandse wiskunde. Tenminste, als we Christaan Huygens bij de fysici rekenen. Brouwer was topoloog en logicus. Met Hilbert voerde hij strijd over de grondslagen van de wiskunde. Om de consistentie van de wiskunde zo stevig mogelijk te funderen wilde Brouwer het bewijs uit het ongerijmde voor de existentie van wiskundige objecten niet toelaten. Dit leidde tot de intuïtionistische stroming in de wiskunde, waartegenover het formalisme van Hilbert stond. Brouwer bewees existentie door constructie; numerici zullen zich daardoor aangesproken voelen.

Twee numerici zijn dit jaar in de prijzen gevallen. Gene Golub hield de Bernoulli lezing in Groningen, terwijl de Brouwer lezing gegeven werd door

Wolfgang Hackbusch. Daarin werd hij voorgegaan door o.a. Thom, Robinson, Borel en Moser.

De spreker werd geïntroduceerd door Piet Hemker, die Hackbusch terecht onder de multirooster pioniers schaarde. In 1976 publiceerde de toen 28-jarige Hackbusch een rapport bij de Keulse universiteit waarin hij de door hem onafhankelijk ontdekte multirooster methode beschrijft, om vervolgens door Olof Widlund gewezen te worden op een Russisch artikel uit 1962 van Fedorenko, waar het al in staat. Hackbusch is gelukkig onverdroten voortgegaan, want in die tijd was er nog veel onduidelijk omtrent de multirooster methode, en hij heeft veel opgehelderd.

Hemker wist te melden, dat er in Nederland meer dan 20 proefschriften zijn verschenen die betrekking hebben op de multirooster methode. Hemker's enthousiasme voor het onderwerp is bekend, en hij ging dan ook het principe uitleggen, wat Hackbusch de gefluisterde opmerking ontlokte, dat dat precies was wat hij ook wilde vertellen. Dat bleek echter mee te vallen. Zijn thema was "Recent developments in numerical mathematics" of ook "What impels numerical mathematics?" (het Engels laat ik voor zijn rekening). Een voor mij nieuwe definitie van de numerieke wiskunde was "the intelligent handling of numbers". De drijvende krachten achter de numerieke wiskunde zijn de computer en de toepassingen. Pas door de opkomst van de computer wordt de limiet  $n \rightarrow \infty$  van praktisch belang, zodat de stabiliteitstheorie zich pas in de tweede helft van deze eeuw ontwikkelt. De spreker poneerde de hypothese van de "Permanent shortage of computer capacity". Dit houdt in dat de toepassingen altijd vergen dat  $n \simeq$  het beschikbare geheugen, met  $n$  het aantal onbekenden. Laten we voorts aannemen dat de rekensnelheid gelijke tred houdt met het geheugen. Als nu het rekenwerk van het beschikbare algoritme voldoet aan  $W = \mathcal{O}(n^\alpha)$ ,  $\alpha > 1$  dan hebben we de paradoxale situatie dat de turnaround tijd voor de toepassingen verslechtert bij aanschaf van een grotere computer. Hieraan valt alleen te ontkomen indien  $\alpha = 1$ : dus multirooster! Een overeenkomstige redenering voor parallelle computers leidt ertoe dat het algoritme bovendien volledig paralleliseerbaar moet zijn. Dit leidt tot multirooster met domeindecompositie.

Om soortgelijke redenen moet  $n$  zo klein mogelijk zijn. Dit kan alleen via adaptief discretizeren, maar hoe? Hiervoor zijn error indicators en error estimators nodig. En dit bepaalt de hedendaagse numerieke agenda: parallel rekenen en adaptief discretizeren. Ik vond het interessant te horen waar volgens Hackbusch de prioriteiten liggen.

Na de lezing volgde de uitreiking door J.C. Willems (voorzitter van het WG) van de Brouwer medaille. Dit is een massieve gouden plak met aan de ene kant de beeltenis van L.E.J. Brouwer en aan de andere kant de naam van de recipiënt, met de zinspreuk van het Wiskundig Genootschap "Een onvermoeide arbeid komt alles te boven". Er volgde een geanimeerde receptie. Na een lange conferentiedag keerde men voldaan om 22.30 u. met autobussen terug naar de Antwerpse binnenstad.

## 1.10 AMS-BeNeLux Meeting, mini-symposium Numerical Mathematics (Barry Koren)

Op vrijdag 24 mei, tijdens de laatste middag van de *AMS-BeNeLux Meeting Mathematics*, was door Piet Hemker en Stefan Vandewalle een mini-symposium numerieke wiskunde georganiseerd, rond het thema multilevel-technieken, een ruimer thema dan multigrid. De in de voorgaande paragraaf beschreven Brouwer-medaille-uitreiking en Brouwer-lezing, waren tezamen met het multilevel symposium eigenlijk de enige numerieke wiskunde activiteiten op een vooral door zuiver wiskundigen gedomineerd congres. De publieke belangstelling bij het symposium was aan de lage kant. Er waren slechts acht aanwezigen, waarvan er al vier spreker waren (Griebel, Reusken, Dahmen en Oosterlee) en twee voorzitter (Hemker en Vandewalle). Toehoorders waren Roose en Koren. Het door organisatoren en sprekers gebodene was echter de moeite waard.

Eerste spreker was **Michael Griebel** (voorheen Technische Universität München, thans Universität Bonn). Griebel is deskundig op het gebied van sparse-gridmethoden. Hij is auteur van een m.b.t. dit onderwerp interessant boekje<sup>5</sup>. De titel van Griebels voordracht luidde: *Algebraic multigrid methods for the solution of the Navier-Stokes equations in complicated geometries*. De geometrieën die Griebel op het oog heeft zijn bijv. chaotische 3-D patronen van holtes in gesteenten. Voor de plaatsdiscretisatie van de door hem beschouwde incompressibele, instationaire Navier-Stokes-vergelijkingen gebruikt hij iets elementairs: een staggered grid, eindige differenties en een vast mengsel van  $\mathcal{O}(h)$  upwind en  $\mathcal{O}(h^2)$  centraal voor convectie. Voor de tijdsintegratie gebruikt hij backward Euler. Het numerieke probleem waar het Griebel om te doen is, is het snel oplossen van de resulterende Poisson-problemen. Bij gebruikmaking van standaard (i.e. geometrisch) multigrid is, door de ingewikkeldheid van de geometrieën, robuustheid een zwak punt. Griebel zoekt daarom zijn heil in algebraïsch multigrid, in 1985 geïntroduceerd door John Ruge en Klaus Stüben<sup>6</sup>. Eigenlijk is de benaming algebraïsch multigrid niet zo goed; er wordt in algebraïsch multigrid namelijk niet met meerdere roosters gewerkt, maar in feite slechts met het ene rooster zoals dat vanuit een praktijkprobleem wordt aangeleverd. Gegeven een groot algebraïsch stelsel vergelijkingen op dat rooster, worden hieruit (in algebraïsch multigrid) kleinere (grovere) stelsels gemaakt op basis van de sterkte van de koppelingen tussen de onbekenden in het grote probleem. Het aldus opzetten van een grof probleem is niet triviaal en kan bovendien een niet te verwaarlozen hoeveelheid rekentijd kosten, beide in tegenstelling tot het op geometrische wijze opzetten van een grof probleem. Ter verkrijging van robuustheid i.g.v. ingewikkelde geometrieën kan algebraïsch vergroven echter zeer de moeite waard zijn. Griebel, met zijn ingewikkelde geo-

<sup>5</sup>M. GRIEBEL, *Multilevelmethoden als Iterationsverfahren über Erzeugendensystemen*, Teubner, Stuttgart (1994).

<sup>6</sup>J. RUGE AND K. STÜBEN, Efficient solution of finite difference and finite element equations by algebraic multigrid (AMG), in: *Multigrid Methods for Integral and Differential Equations* (D.J. Paddon and H. Holstein, eds.), Oxford Science Publications (1985).

metrieën, borduurt voort op het “oude” algebraïsch multigrid-werk van Ruge en Stüben. Een nieuwigheid is dat er in zijn grove problemen geen directe invloed zit van de randen; randvoorwaarden worden alleen opgelegd aan het fijn-rooster-probleem. Griebel besluit zijn voordracht met resultaten voor een qua geometrie groot, maar qua Reynoldsgetal klein ( $Re < 2000$ ) scala aan stromingsproblemen. Hij toont aan dat algebraïsch multigrid inderdaad robuust is t.a.v. geometrische ingewikkeldheid.

Tweede spreker is **Arnold Reusken**. Zijn voordracht draagt de ruime titel *On algebraic multigrid methods*. Griebel heeft met zijn voordracht al het nodige gras voor Arnolds voeten weggemaaid, maar Arnold blijkt nog voldoende stof voor een voordracht te hebben. Om te beginnen meent hij, in tegenstelling tot Griebel, nog algebraïsch multigrid-werk te zien tussen 1985 en nu; hij noemt o.a. het werk van Dendy, De Zeeuw, Hackbusch & Sauter en Bank & Xu. Hij geeft een mooi overzichtje over de bijbehorende methoden voor wat betreft de geometrieën die ze aankunnen (2-D, 3-D, rechthoekig, willekeurig, ...), de bijbehorende roosters (wel of niet gestructureerd, wel of niet uniform, ...), de discretisaties daarop (eindige differenties of eindige elementen), de mate van robuustheid en het wel of niet beschikbaar zijn van theorie. Alleen de methoden van De Zeeuw en Dendy blijken het predikaat robuust te mogen krijgen, maar – in tegenstelling tot de andere methoden – schittert theorie door afwezigheid in de beschrijvingen van beide methoden. Als recent algebraïsch multigrid-werk bespreekt Arnold een idee van Braess om grove problemen op te zetten op basis van sterke koppelingen in grafen, gevolgd door een idee van hemzelf, dat leidt tot een nieuwe preconditioneringsmethode waarvoor hij als naam heeft bedacht: “multilevel odd-even cyclic reduction preconditioner”. Een grover probleem is bij Arnold altijd (ook in 3-D) een factor twee kleiner dan het fijnere probleem. De eenvoud van zijn methode zit in het feit dat – zoals het geval in hiërarchische-basismethoden – ieder roosterpunt steeds op één level ligt en bij ieder roosterpunt steeds slechts één vergelijking hoort. Arnold besluit met zich te verontschuldigen voor het nog niet hebben van numerieke resultaten, die presenteert hij misschien tijdens de Europese Multigrid Conferentie, 1-4 oktober 1996, Stuttgart.

Na de theepauze spreekt **Wolfgang Dahmen**, zijn voordracht is getiteld *Stable multiscale bases and adaptive techniques for elliptic problems*. Dahmen, hoogleraar aan de RWTH Aken, houdt een erg theoretisch verhaal dat, ofschoon soms lastig te volgen, toch boeiend blijft door de goede voordrachtskunst. Hij begint met het definiëren van begrippen als multiscale bases, norm-equivalenties en data-compressie. Doel van zijn voordracht is de afleiding van betrouwbare en efficiënte a-posteriori foutschattingen voor Galerkin-schema's op stabiele multiscale bases. Dahmen blijkt in zijn theoretische werk te wachten met het doen van aannamen, totdat hij daartoe gedwongen wordt om een praktisch resultaat te kunnen verkrijgen. Het liefst doet hij geen aannamen, maar hij moet altijd zwichten voor wat volgens hem een natuurwet in wiskundig onderzoek lijkt te zijn: “no assumption, no conclusion”. De aannamen die hij hier doet zijn: “Galerkin schema's zijn stabiel” plus één m.b.t. de mate van elliptisch zijn van



de te beschouwen problemen. (De laatste aanname heeft als gevolg dat zijn theorie niet meer geldig is voor bijv. convectie-gedomineerde problemen.) Piet Hemker haalt twee foutjes uit Dahmens transparanten, één daarvan kost een minuutje discussie alvorens door Dahmen te worden toegegeven en vervolgens op zijn transparant (en wellicht ook aan de RWTH in een manuscript) te worden gecorrigeerd. Het was inmiddels ruim over vijven, maar het publiek was nog wakker.

Laatste spreker was **Kees Oosterlee**, die twee dagen daarvoor zijn werkbezoek van drie maanden aan het Courant Instituut had afgesloten en op terugreis was naar het GMD/SCAI. Kees vertelt in zijn voordracht op zoek te zijn naar efficiënte en robuuste Krylov subspacemethoden, waarbij multigridmethoden dienst kunnen doen als preconditioneringsmethoden. De te beschouwen Krylov subspacemethoden zijn BiCGSTAB en GMRES, de multigridmethoden die van Dendy<sup>7</sup>, De Zeeuw<sup>8</sup> en Reusken<sup>9</sup>. De eerste twee methoden verschillen alleen in de transfer-operatoren. Beide methoden maken gebruik van Galerkin voor de constructie van de grofrooster-matrices. De methode van Reusken is gebaseerd op blok-Gauss-eliminatie. De matrix-afhankelijke restrictie- en prolongaties van De Zeeuw blijken het goed te doen. Een geluid dat in Kees' voordracht duidelijk hoorbaar was, is het minder goed presteren van multigrid in 3-D, dan in 2-D. Bij het NASA Langley Research Center is in verband hiermee een project gestart (het "Manhattan-project"), waarin men studeert op de ontwikkeling van betere 3-D multigrid-algoritmen. Bij het CWI wordt ook gewerkt aan betere 3-D multigrid-algoritmen. Kees gaat in dit 3-D verband in op het gebruik van semi-coarsened multigrid (in 1989 al zijn afstudeeronderwerp, maar toen alleen nog in 2-D) en activeert hierbij Griebel die een verbetering meent te kunnen aangeven in een semi-coarsening algoritme van Kees. Na veel discussie over een transparant, met daarop een grafische weergave van dat algoritme, wijzigt de inmiddels weer naar voren gekomen Griebel deze sheet met een stift, wat door Kees tenslotte wordt afgedaan als voor hem niet interessant.

Levendige discussies ontstonden bij alle voordrachten. Het was een mooi symposium.

### 1.11 TASC Symposium Topics in Environmental Mathematics (Kees Dekker)

Van 10 tot 12 juni werd in Delft de Internationale EUROSIM Conferentie gehouden, waarmee een geschikte entourage gevonden was voor het vierde TASC symposium dat als onderdeel van de sessie "High Performance Computing in Environmental Modelling" op het programma stond.

<sup>7</sup>J.E. DENDY, Black-box multigrid method, *Journal of Computational Physics*, **48**, 366–386 (1982).

<sup>8</sup>P.M. DE ZEEUW, Matrix-dependent prolongations and restrictions in a blackbox multigrid solver, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **33**, 1–27 (1990).

<sup>9</sup>A. REUSKEN, A multigrid method based on incomplete Gaussian elimination, *Technical Report RANA 95-13*, TUE (1995).

In de eerste voordracht zette Jan Verwer de doelstellingen uiteen van het begin dit jaar gestarte HPCN-project "HPCN for Environmental Applications". Een samenwerkingsverband van CWI, TNO, TUD en WL onderzoekt de modellering en computersimulatie van het transport van verontreinigingen in de atmosfeer en de oppervlakte-wateren. Hiertoe worden drie-dimensionale modellen ontwikkeld, waarin emissies, transport en chemische en biochemische reacties beschreven worden, met als doel de toepassing op "real-life" problemen.

Joke Blom (CWI) vertelde over haar ervaringen bij de implementatie van een atmosferisch transportmodel met chemie op de Cray T3D. In het verleden werd bij toepassing op een  $33 \times 33 \times 40$  rooster op de vectorcomputer Cray C90 een snelheid van 500 Mflop/s gehaald. De 64 processoren van de T3D, die op papier 20 maal zo snel zouden moeten zijn, kwamen tot een soortgelijke prestatie. Omdat voor nauwkeurige benaderingen veel fijnere roosters nodig zijn, is schaalbaarheid van de programma's van groot belang. Het leek dat domeindecompositie (DD), d.w.z. elke processor voert berekeningen uit op een deel van het rooster, hiervoor de beste mogelijkheden bood, vergeleken met een data-parallele aanpak.

Ook Edwin Vollebregt (TU Delft) hield zich bezig met parallelle simulatie, en wel van drie-dimensionale stroming en transport in kustwateren. Tijdens zijn promotie-onderzoek heeft hij het pakket TRIWAQ van RIKZ geïmplementeerd op parallelle platforms. Ook hierbij speelt schaalbaarheid een belangrijke rol, want bij verfijnde modellen met hoge resolutie neemt het rekenwerk sterk toe, en slechts massaal parallellisme kan leiden tot aanvaardbare rekestijden. In zijn aanpak wordt gebruik gemaakt van een programmeermodel waarin onafhankelijke processen informatie uitwisselen, waarbij de details verborgen zijn in een communicatie-bibliotheek. Een toepassing had betrekking op het "Continental Shelf Model" met 18000 natte punten. Op een cluster van 8 werkstations kon een versnelling van 4.5 gehaald worden, terwijl de Parsytec PowerXplorer met 16 processoren een enkele processor met een factor 17(!) versloeg.

Erik de Goede (WL) sprak over een domeindecompositie-methode voor de ondiep-watervergelijkingen in drie dimensies. Ook hij motiveerde DD met het oog op het inschakelen van parallelle processoren, met als bijkomend voordeel flexibiliteit t.a.v. complexe geometrieën en onregelmatige roosters. Een probleem bij DD is vaak het koppelen van resultaten in verschillende subdomeinen binnen een iteratieproces. Men kan hierbij voor een Dirichlet-Dirichlet koppeling kiezen, maar recentelijk heeft Tan een meer geavanceerde methode ontworpen. In de voordracht werden deze koppelingen vergeleken voor een aantal testproblemen. Bij het Rijn-Maasmond-Model ( $446 \times 236 \times 1$  (2D) of  $\times 10$  (3D) roosterpunten) bleek dat de nieuwe methode efficiënter was bij toepassing op de continuïteitsvergelijking, maar geen voordelen bood bij de transportvergelijking.

In de voordracht van Peter Wilders (TU Delft) kwam parallel transport met ongestructureerde eindige volumes en impliciete tijdsintegratie aan de orde. Zijn programmatuur komt voort uit de poreuze media, maar kan ook

gebruikt worden bij transport met de ondiep-watervergelijkingen. Een probleem dat hierbij naar voren kwam, is dat het aangeleverde snelheidsveld soms niet divergentievrij is, waardoor kunstmatige bronnen en putten ontstaan. Een oplossing hiervoor kon gevonden worden door de transportvergelijking in niet-conservatieve vorm te schrijven. Als parallelisatiemethode werd ook weer voor DD gekozen. In een experiment met een onregelmatig reservoir met 36500 cellen werd op de IBM SP2 (25 processoren) een versnelling van 13 bereikt. Daarna werden resultaten vertoond van vervuiling in de Noordzee na een lozing bij Rotterdam, waaruit bleek dat men dan de kust en de Waddenzee moet mijden, en tenslotte werd het gehoor verrast met een video van een reservoirsimulatie.

Als laatste sprak Ben Sommeijer (CWI) over de modellering van driedimensionaal biochemisch transport in ondiep water. Een tijdsintegratiemethode moet aan een aantal vaak conflicterende eisen voldoen met betrekking tot stabiliteit, nauwkeurigheid, efficiëntie en geheugengebruik. Tot dusverre voldeden methoden gebaseerd op "multi-coloured Hopscotch splittings" redelijk. Een bezwaar is echter het verlies van nauwkeurigheid ten gevolge van de zgn. "splitting errors". Als alternatief heeft Ben volledig impliciete tijdsdiscretisaties onderzocht, namelijk BDF2 en de 3e orde Radau-methode. Om de zeer grote niet-lineaire stelsels die hierbij optreden, op te lossen is een gepreconditioneerde fixed-point iteratie gebruikt. In een testvoorbeeld ( $80 \times 80 \times 10$  rooster) bleek Radau per tijdstap even duur als de split-methode, terwijl BDF2 een factor 2 goedkoper was. Omdat de impliciete methoden ook andere voordelen bieden (grotere tijdstap mogelijk, behoud van massa, grotere nauwkeurigheid), komen zij in aanmerking als vervangers van de split-methoden.

Samenvattend kunnen we zeggen dat het een succesvolle bijeenkomst was met boeiende voordrachten en een geïnteresseerd publiek. Wel bleek duidelijk uit de presentaties dat er grote behoefte bestaat aan toegang tot massaal parallelle systemen.

## 1.12 Workshop Iteratieve Methoden, Toulouse (Jacko Koster)

De workshop iteratieve methoden was de vierde en laatste workshop van het Internationale Lineaire Algebra Jaar dat wordt georganiseerd door CERFACS in Toulouse, Frankrijk. De workshop vond plaats van 10 tot en met 13 juni 1996. Gedurende deze vier dagen werden de ruim honderdtien deelnemers afkomstig uit vijftien landen getraakteerd op vijftiwintig lezingen, voornamelijk op het gebied van Krylov subspace, domeindecompositie en multirooster methoden.

Frédéric Lafon (Thomson-CSF) beet de spits af. In het Central Research Laboratory waar hij werkzaam is worden allerlei nieuwe methoden ontworpen om de steeds groter wordende problemen binnen Thomson te lijf te gaan. De hieruit voortvloeiende computerprogramma's moeten oplossingen zien te vinden voor een scala van problemen, variërend van het ontwerp van antennes tot de optimalisatie van optische instrumenten. Lafon beperkte zich echter tot het beschrijven van parallelle methoden voor het oplossen van grote elektromagne-

tische problemen. De behandelde methoden zijn gebaseerd op domeindecompositie en maken gebruik van hoogwaardige strategieën voor een evenwichtige verdeling van de werklast over de processoren. Piet Hemker (CWI) gaf vervolgens twee toepassingen van adaptieve eindige volume, niet-lineaire multiroostermethoden. Eén toepassing had betrekking op niet-viskeuze samendrukbare stroming en de andere kwam voort uit de simulatie van halfgeleiders. François Roux (ONERA) gaf een overzicht van de dual Schur complement methode, ook wel FETI methode genoemd. Deze methode kan worden beschouwd als een efficiënte parallelle preconditioner of als een gecombineerde direct-iteratieve oplossingsmethode, is net zo robuust als directe methoden, maar veroorzaakt minder fill-in en is makkelijker paralleliseerbaar (vergelijkbaar met iteratieve methoden). Roux paste de methode toe op enkele 'real-life' problemen, waaronder een structuurprobleem met 362.000 vrijheidsgraden dat werd opgelost in vier minuten op een Intel PARAGON met 98 processoren. Gerard Meurant (CEA) sloot de ochtendsessie af met de beschrijving van methoden, ontwikkeld in samenwerking met Gene Golub (Stanford), voor het verkrijgen van boven- en ondergrenzen voor de fout in de geconjugeerde gradiëntenmethode. Aan de hand van talrijke voorbeelden werd de 'tightness' van deze grenzen geïllustreerd. Na de lunch beschreef Ray Tuminaro (Sandia National Laboratory) een bibliotheek van parallelle lineaire algebra routines, genaamd AZTEC. Deze collectie bestaat voornamelijk uit routines voor iteratieve methoden en preconditioners die geschikt zijn voor het oplossen van stelsels vergelijkingen afkomstig van ongestructureerde problemen. De middag werd afgesloten met een postersessie. De postermakers kregen eerst ieder vijf minuten de tijd om hun werk aan de toehoorders te presenteren en daarna volgde de eigenlijke sessie. Aan het eind van de middag was er voor de deelnemers een cocktail georganiseerd door de Conseil Général, een soort van raad van de Haute-Garonne, het district waarin Toulouse gelegen is.

De dinsdag was gewijd aan Krylov subspace methoden. Henk van der Vorst (Utrecht) gaf een overzicht van recente ontwikkelingen op het gebied van hybride iteratiemethoden. In deze methoden wordt getracht de goede eigenschappen van verschillende iteratieve methoden te combineren. Van der Vorst ging in op een combinatie van de (efficiënte) BiCG methode met de (robuuste) GMRES methode. Een dergelijk huwelijk verloopt echter niet zonder problemen. Bijvoorbeeld, de stagnatie van één van de methoden kan de convergentie van de gehele (hybride) methode dwarsbomen. Van der Vorst liet zien hoe met de nodige zorg de convergentie en de robuustheid van hybride methoden kunnen worden verbeterd. Andy Wathen (Oxford) beschouwde de convergentie en preconditionering van minimum residu methoden voor symmetrische niet-definiëte systemen afkomstig uit CFD applicaties en andere gebieden. Anne Greenbaum (Courant Institute, NYU) gaf een lezing over het symmetrische Lanczos-proces en ze presenteerde ondermeer een nieuwe grens voor het residu voor symmetrische niet-definiëte matrices. De voordracht van Mario Arioli (IAN-CNR) had als onderwerp stopcriteria voor iteratieve methoden die worden gebruikt voor het oplossen van lineaire stelsels vergelijkingen afkomstig van partiële dif-

ferentiaalvergelijkingen (pdvs). Hij gaf een algemene methodologie voor het ontwikkelen van criteria die moeten garanderen dat de berekende (niet-exacte) oplossing de exacte oplossing is van het originele stelsel met daarin wat storing. Het praatje van Gene Golub (Stanford) was nauw gerelateerd aan dat van Gerard Meurant. Voor het schatten van fouten in lineaire systemen met een symmetrisch positief definitie matrix is het gewenst om een bepaalde kwadratische vorm te schatten en te begrenzen. Golub beschreef hiervoor een methode gebaseerd op de theorie van momenten en numerieke kwadratuur, en maakte gebruik van het Lanczos-proces. Tony Chan (UCLA) behandelde ijle approximatieve inverses en hun toepassing in combinatie met wavelet transformaties. IJle approximatieve inverses hebben in principe goede convergentie-eigenschappen en zijn erg parallel, maar hun toepassing is gelimiteerd tot matrices wier inverses coëfficiënten bezitten die snel in absolute waarde afnemen naarmate ze verder van de hoofd diagonaal af liggen. Chan liet in een aantal voorbeelden zien hoe deze beperking kan worden omzeild door de matrix te transformeren naar een geschikte wavelet-basis. Een tamelijk levendige discussie ontstond tijdens dit praatje. Gene Golub noemde het een open vraag of de inverse van een matrix überhaupt op compacte wijze kan worden beschreven, en noemde als voorbeeld de inverse van een symmetrische tridiagonale matrix. David Silvester (UMIST) beschreef stabilisatiemethoden voor eindige elementen discretisaties van Stokes en advection-diffusie problemen. Howard Elman (Maryland) introduceerde een nieuwe preconditioner voor gelineariseerde Navier-Stokes vergelijkingen. Hij liet zien dat onder geschikte aannames kan worden aangetoond dat het preconditioneerde systeem een conditiegetal heeft dat onafhankelijk is van de viscositeit, en slechts licht afhankelijk is van de maaswijdte. De officiële activiteiten van de dag werden afgesloten met een cocktail op het stadhuis van Toulouse.

Op woensdag kregen de toehoorders domeindecompositiemethoden op hun bord. Jim Douglas (Purdue) begon de ochtend met een domeindecompositie-aanpak gebaseerd op Robin randvoorwaarden voor het oplossen van niet-lineaire pdvs voor twee-fase onmengbare stroming in een poreus medium. Alfio Quarteroni (CRS4) gaf vervolgens een aantal domeindecompositietoepassingen die werden uitgebreid bij het CRS4. Met behulp van geschikt gekozen domeinen is het mogelijk grip te krijgen op uiteenlopende aspecten van allerlei fysische fenomenen. Dit werd door Quarteroni geïllustreerd met een aantal voorbeelden van ondermeer ondiep-watermodellen, transsonne aerodynamische berekeningen, en seismische gegevensverwerking. Yvon Maday (ASCI, Paris VI) behandelde iteratieve substructuur preconditioners voor de mortar eindige elementenmethode. Een nieuw algoritme werd gepresenteerd voor het oplossen van de lineaire algebraïsche systemen die afkomstig zijn van deze methode. Yuri Kuznetsov (Russian Academy of Sciences) beschreef iteratiemethoden voor eindige-elementenmethoden met niet-overeenstemmende roosters. Het gebruik van mortar elementen resulteert in een symmetrisch niet-definiet systeem waarvoor een geschikte preconditioner is ontwikkeld die spectraal equivalent is aan een zadelpuntmatrix en een 'optimale' rekencomplexiteit heeft. Patrick Le

Taltec (INRIA) beschreef een gegeneraliseerde Neumann-Neumann preconditioner uit de numerieke mechanica met complexe geometrieën en zeer fijne roosters. David Keyes (Old Dominion) vertelde over multi-domein- en multi-modelaspecten van Newton-Krylov-Schwarz methoden voor het oplossen van niet-lineaire randvoorwaardeproblemen in transsonne aerodynamica. Aan het eind van de middag werden de deelnemers per bus naar CERFACS gebracht, alwaar een aantal deelnemers zich al smachtend op de computers wierp om hun elektronische post te kunnen lezen. Na een kleine cocktail ging de tocht verder naar Verfeil, een dorpje twintig kilometer buiten Toulouse, alwaar het officiële workshopdiner plaatsvond.

Donderdag multiroosterdag. Wolfgang Hackbusch (Kiel) besteedde aandacht aan samengestelde eindige-elementenmethoden voor het oplossen van kleine details dicht bij de rand. Hij liet zien hoe roosterpunten kunnen worden verschoven om zodoende een minder fijn rooster bij de rand te krijgen, terwijl een goede convergentie van de methode behouden blijft. Susanne Brenner (South Carolina) sprak over multiroostermethoden voor de berekening van stress intensity factoren voor randwaardeproblemen op domeinen met inwaartsgerichte hoeken of barsten. Craig Douglas (IBM Yorktown, Yale) ging in op de toepasbaarheid van multiroostermethoden op ongestructureerde roosters. Voor zulke roosters bestaan volgens Douglas nog geen bevredigende multiroosteralgoritmen die hoge efficiënties halen op standaardcomputers. Voor een gesuggereerde oplossing, die een ongestructureerd rooster afbeeldt op een aantal gestructureerde roosters, gaf Douglas aan dat, tenzij men zeer voorzichtig te werk gaat, deze afbeelding kan leiden tot een slecht geconditioneerd systeem dat de bruikbaarheid van een multiroostermethode uitsluit. Peter Deuffhard (ZIB) presenteerde zogenaamde cascadic (of één-weg) multiroostermethoden met toepassingen op ondermeer de zogenaamde Bio-Heat-Transfer Equation, een driedimensionale parabolische pdv afkomstig uit kankeronderzoek. Thomas Manteuffel (Colorado) gaf een overzicht van FOSLS (First-Order Systems Least Squares), een methodologie voor het oplossen van stelsels pdvs, waarin het originele stelsel wordt uitgebreid met de introductie van nieuwe variabelen en beperkingen én een kleinste kwadratenfunctie waarvan (als aan een paar eisen is voldaan) de unieke kleinste oplossing tevens de oplossing van het originele probleem is. Ulrich Rüde (TU München) was de laatste spreker van de workshop en hij berichtte over parallele multi-level adaptieve iteratie, speciaal ontwikkeld om de robuustheid en efficiëntie van ijle iteratieve oplossingsmethoden te verbeteren. In dit iteratieve proces is de volgorde van operaties niet a-priori vastgelegd en dit biedt derhalve goede mogelijkheden voor parallelisatie. Het bestaat in wezen uit een relaxatieschema (Gauß-Southwell) waardoor de berekening zich als het ware kan concentreren op die plaatsen waar het efficiënt de oplossing kan verbeteren. In combinatie met een multi-level structuur is deze methode nauw verwant aan multirooster- of multi-level-algoritmen, maar is efficiënter en robuuster voor een aantal niet-triviale problemen. Tevens liet Rüde zien dat met behulp van geschikt gekozen datastructuren de methode kan worden geïmplementeerd met een overhead die proportioneel is aan het be-

nodigde rekenwerk.

Het internationale wetenschappelijke tijdschrift BIT zal in een speciale uitgave (waarschijnlijk het tweede nummer in 1997) aandacht besteden aan deze workshop.

### 1.13 AMLI 96 (Leendert Vijfvinkel)

In Nijmegen organiseerde de Numerieke Wiskundegroep van 13-15 juni een internationale conferentie met als titel 'Algebraic Multilevel Iteration Methods with Applications', meestal afgekort tot AMLI 96.

De opzet was een breed beeld te verschaffen van AMLI en AMLI-achtige oplosstrategieën, het gedrag van deze methoden en de toepassing ervan voor verschillende klassen van randwaardeproblemen. Daarnaast waren er, met name onder de genodigde sprekers, meer algemene voordrachten die ingingen op zaken die mogelijk aan multilevel iteratiemethoden gerelateerd kunnen worden, maar oorspronkelijk voor andere doeleinden gebruikt werden. De deelnemers aan de conferentie waren zestig in getal, waarvan ongeveer de helft uit de drie sterkst vertegenwoordigde landen: Duitsland, Nederland en de Verenigde Staten.

Het ochtendprogramma van de eerste dag werd bepaald door de sprekers afkomstig van twee concurrerende universiteiten in Texas. Na het welkom opende Jim Bramble (College Station) met een verhaal over de Sobolev-ruimte dual aan  $H^1$ . Zijn collega Dick Ewing presenteerde daarna een zeer vaak terugkerend motief in multilevel iteratiemethoden: analyse van een two-level preconditioner gebaseerd op benadering van het Schur-complement dat verkregen wordt na blokfactorisatie van een  $2 \times 2$ -blokmatrix. Vervolgens kwam David Young (Austin), leermeester van beide voorgaande sprekers, met meer klassieke iteratieve solvers gebaseerd op alternating directions. Tenslotte sprak gastheer Owe Axelsson over een AMLI-preconditioner in additieve vorm, met daarbij veel aandacht voor de strengthened Cauchy inequality, die (zoals bleek uit een flink aantal latere voordrachten) steeds weer opduikt in de analyse van multilevel methoden.

Na de lunch volgden twee voordrachten met ongebruikelijke (niet-numerieke) probleemstellingen of invalshoeken. Ivo Marek (Karelsuniversiteit) ging in op een iteratieve methode voor stochastische matrices. Karl Gustafson (Boulder) gebruikte een bijzonder soort trigonometrische formules (sinus en cosinus van een operator) en verkreeg hiermee de bekende convergentieresultaten voor CG en verwante iteratieve methoden. Hierna volgden nog twee korte voordrachten over solvers voor niet-lineaire problemen, en twee korte performance studies, al dan niet op een parallelle computer.

De tweede dag werd meer een dag van de Duitsers, die met een omvangrijke multigrid delegatie naar Nijmegen waren gekomen. Dietrich Braess (Bochum) definieerde een aantal bijzondere partities van een graaf en daaruit voortvloeiend een algebraïsche multigrid methode, terwijl ook Wolfgang Hackbusch (Kiel) voor de zgn. downwind nummering van de onbekenden de algoritmen op grafen niet schuwde. Jean-François Maitre (Ecully/Lyon) volgde, na een reeks paral-

lessies en de lunchpauze, met een a-posteriori foutschatting die voorafgaand aan een (eventuele) locale verfijning gebruikt kan worden.

Harry Yserentant (Tübingen) kwam hierna met een subspace correction method voor  $Au = f$ , daarbij gebruik makend van projectoren t.a.v. gewoon inproduct en  $A$ -inproduct. Aan het eind van de dag waren er weer vier korte voordrachten: één over de constructie van een stabiele wavelet-basis en een drietal met veel plaatjes en numerieke resultaten, waarbij voor de gebruikte methoden soms teruggegrepen werd naar voorafgaande sprekers.

Op de laatste dag waren er vijftien sprekers, die voor het grootste deel aan bod kwamen in de parallelsessies rondom de lunch. Tijdens de gezamenlijke bijeenkomst sprak Yuri Kuznetsov (Moskou) over een multilevel variant op domeindecompositie zonder overlap en gaf schattingen voor het conditiegetal van de gepreconditioneerde matrix. Panayot Vassilevski (Sofia) besprak vervolgens een stabilisatie van de standaard hiërarchische basis m.b.v. geschikte benaderingen van wavelets. Helemaal aan het eind van de middag lichtte Tony Chan (Los Angeles) toe hoe hij uit een ongestructureerd fijn rooster een op het volgende niveau gelegen grof rooster construeerde met de daarbij behorende basisfuncties. Na het slotwoord kwam de groep nog een keer bijeen ('s avonds bij zonlicht) in een langs de Waalkade afgemeerde boot, waar AMLI 96 met een gezellig diner werd afgesloten.

Dit najaar komen er twee speciale nummers uit van 'Numerical Linear Algebra with Applications' met daarin bijdragen van een aantal van de sprekers, n.a.v. hun voordracht in Nijmegen. De proceedings van AMLI 96 (twee delen, hfl 50,- incl. verzendkosten) kunnen besteld worden bij het Secretariaat Wiskunde in Nijmegen, email: [maths@sci.kun.nl](mailto:maths@sci.kun.nl).

#### 1.14 ECMI 96 (Sander de Snoo en Philip Simons)

Wat hebben watervervuiling en jampotjes en het rollen van treinen en electriciteitsdistributie met elkaar gemeen? Op het eerste gezicht zeer weinig, maar voor wiskundigen toch heel veel. Bij al deze onderwerpen kan heel veel wiskunde gebruikt worden. Met dit soort toepassingen van de wiskunde houden de leden van het European Consortium for Mathematics in Industry (EMCI) zich bezig.

Elke twee jaar organiseert het ECMI een grote conferentie. Eind juni gebeurde dat voor de negende keer; plaats van handeling was de Technical University of Denmark in Lyngby, een satelliet van Kopenhagen. Vijf dagen lang zouden de Toegepast Wiskundigen en de Wiskundige Toepassers elkaar vertellen over wat hun bezighield. Elke ochtend en elke middag begon met een geïnviteerde/geselecteerde spreker. Daarna stonden de, maximaal 11, parallele sessies op het programma.

De onderwerpen liepen zeer uiteen. Van het optimaal laten zweven van gehaktballen zodat ze bij het invriezen niet aan elkaar gaan plakken, via Sobolevruimten waarin men de temperatuur van visceus, afstralend en warmtegeleidend glas mag zoeken, tot aan meer levensbeschouwelijke praatjes met titels



als 'What we do and what we are'.

Zeer interessant was bijvoorbeeld het geïnviteerde verhaal van mijnheer Nowacki uit Berlijn over optimalisaties van scheepsvormen m.b.t. een minimaal benodigd motorvermogen. Er ontstonden niet-lineaire boetefuncties; niet proberen om alle BEM of FEM vrijheidsgraden tegelijk op de goede waarde te krijgen maar optimaliseer eerst maar naar een paar (globale) parameters was een tip, een prettig verteller.

Op woensdagavond werd het hele gezelschap ontvangen op het oude stadhuis van Kopenhagen. De burgemeester hield een welkomstwoord waarin ze zei te hopen dat ook Oosteuropese mensen nog meer in de gelegenheid worden gesteld om deel te nemen. Dat daar nog iets te verbeteren valt getuigt het grote aantal absenties van wel aangemelde (met name) Russische sprekers. De Deense belastingbetalers hadden voor een prima buffet gezorgd dat iedereen zich goed liet smaken.

Op donderdagmiddag hebben wij, drie jonge onderzoekers uit Eindhoven, presentaties gehouden over ons onderzoek aan het vormgeven van glas. Sander de Snoo heeft de problematiek van de beweging langs een matrijs van het glasoppervlak met oppervlaktetenspanning besproken. Op micrometerschaal blijken oppervlaktetenspanning en de kontakthoek dominerende factoren te zijn. Bram van den Broek heeft over de vormgeving van jampotjes gesproken. Bij de evolutie van de vorm van het glas in de mal blijkt er speciale aandacht gegeven te moeten worden aan de tijdsintegratie en massabehoud. Tenslotte heeft Philip Simons een presentatie gegeven over de berekening van de temperaturen in het glas en in de mal. Hiervoor maakt hij gebruik van een combinatie van eindige elementen en randelementen. Onze ervaring is dat het een leuke uitdaging is om je verhaal eens te vertellen aan een publiek dat met je probleem totaal niet bekend is. Er was een kleine groep belangstellenden komen luisteren en uit de vragen bleek duidelijk dat er meer mensen zijn die wel eens naar soortgelijke problemen hebben gekeken, maar de details van onze problemen zelf niet hadden bestudeerd.

Mijnheer Takeo Kanade uit Pittsburgh besprak op vrijdagochtend manieren om uit een handgeschoten video-opname de 3-D structuur van de gefilmde ruimte te reconstrueren. Een vlot gebracht verhaal met meer videobeelden dan differentiaalvergelijkingen. Dat laatste vonden weinig mensen storend; op donderdagavond had het Conference Dinner plaatsgevonden in de laadruimte van de Ferry Kronborg, een sfeervol vertimmerde boot die in het centrum van Kopenhagen lag afgemeerd. De axiale schommelingen bemoeilijkten de spijsvertering en zorgden hier en daar voor wat misselijkheid. Onder de aanname dat alles continu bleef zochten zo'n 300 aanwezigen paniekerig naar het vaste punt, waarvan existentie toch ooit bewezen was. Dat punt werd gelukkig snel gevonden op het vaste land aan de overkant van het water, dat door de openstaande laadklep zichtbaar was.

Op de vrijdagmiddag gaf mijnheer Day uit Cambridge nog een leuk verhaal. Met een BEM code had hij het wegschieten van niet-visceuze druppels uit een inktjetprinter gesimuleerd. Zijn doel was om deze printers sneller te

krijgen en het geprinte papier schoner en hij toonde ons, naast de instationaire Bernoulli vergelijking en een druk/oppervlaktespannings-balans, ook beelden van dynamisch trillende, net wel of net niet loslatende, druppels.

Het verblijf in Kopenhagen is ook zeer goed bevallen. Het is een gezellige stad waar ondanks de hoge prijzen toch zeer veel uitgaansgelegenheden zijn. Met een internationaal gezelschap van Engelsen, Nederlanders en een enkele Duitser hebben wij met een grote groep van de TUE in een Ierse pub nog zitten kijken naar de wedstrijd Engeland-Duitsland. De spanning liep daar heel hoog op en helaas zagen wij het feestje met de Engelsen voorbij gaan.

### 1.15 J.M. Burgerscentrum Summerschool High Performance Computing in Fluid Dynamics (Jason Frank)

After a short introduction to the Burgerscentrum by Scientific Director prof. ir. C.J. Hoogedoorn, the summer school "High Performance Computing in Fluid Dynamics" was opened Monday, 24 June 1996 by "headmaster" P. Wesseling, who cautioned speakers that they would be individually responsible for seeing to it that participants be allowed to have a cup of coffee every hour.

The first day's lectures were devoted to a thorough introduction to parallel computing by D.R. Emerson of SERC Daresbury Laboratory, England. Emerson began with a history of parallel computing and then moved on to more practical topics. He provided architecture-specific considerations for a wide spectrum of machines. In particular Emerson stressed that eventually (at some level of code development) it would be necessary to sacrifice portability for improved performance. After his lectures and a brief but successful wrestling match with the top-rated network security of the Applied Analysis group, Emerson allowed participants to optimize a piece of code by reordering and unrolling loops and by calling optimized libraries. Following the exercises was a first day *borrel*.

Lectures began bright and early Tuesday morning with H. van der Vorst, who spoke about parallelization of a class of iterative methods in which the residual is minimized in each iteration within a well-known subspace. Van der Vorst also discussed parallel preconditioners such as incomplete LU factorization and domain decomposition. Tuesday's lectures continued with C. Lacor of the Vrije Universiteit, Brussels, who discussed further optimization techniques for vector and parallel computers. Lacor stressed that greater speedup could be achieved through intelligent programming than could be gained by faster hardware. Following Lacor's talks, additional exercises were presented by Emerson, who had by then had an entire day to deal with the tight network security. Participants worked with a domain decomposition program implemented in PVM.

Wednesday was designated Daydé's Day. M. Daydé of ENSEEIHT, Toulouse, France gave two lectures on porting existing industrial codes to parallel, using the philosophy of attacking computation-intensive parts of existing serial codes with parallel libraries. He provided overwhelming experimental evidence

that this approach could indeed result in speedup. In the second part of his lectures, Daydé gave participants an introduction to PVM, which he claimed "anyone can learn in two hours." To test this claim, participants were given *at least* two hours to try to improve a matrix-vector product implemented in PVM.

B. Geurts opened Thursday morning's lectures, in place of M. Streng, with a talk on static and dynamic load balancing. He illustrated the spectral bisection method for automatically dividing a domain into subdomains so as to minimize the number of neighbor-splittings and thereby the communication requirements. The second set of talks for Thursday was given by J. Häuser of CLE, Germany. Häuser discussed grid generation and encouraged participants to program in C and C++. Finally, he mentioned something about parallel computing. The afternoon's exercises were divided between Häuser and Daydé. Häuser demonstrated the Supervisor Program, which could be linked with a user code to hide PVM calls. Daydé presented a version of his matrix-vector product with load balancing.

The final three lecturers were squeezed in on Friday. A.E.P. Veldman gave a dramatic presentation, beginning with a poem by Richardson and continuing with a prediction that in 20 years engineers would be making direct numerical turbulence simulations on a regular basis. He presented evidence to support his prediction. Veldman also discussed an application in which the SOR method could still be used competitively. P.H. Michielse of Hewlett Packard gave a short talk on the future of parallel computing, opening with the disclaimer: "In high performance computing, predictions in general appear to be incorrect." Michielse pointed out that processor speeds are approaching the barrier of the speed of light. He predicted that cache-based architectures will dominate the HPC world and memory access speed will continue to be the bottleneck. The final speaker of the summer school was M.A. Leschziner of the University of Manchester, England, who discussed in great detail the turbulence model used at the Institute of Science and Technology. During the second part of his talk, Leschziner described the multiblock method employed in the parallel implementation of his software. Following this last talk, fruit cocktail was provided for all participants.

The contributed papers for this summer school have been published by Kluwer Academic Publishers in the ERCOFTAC Series. The book is titled *High Performance Computing in Fluid Dynamics*, P. Wesseling editor, and is available from the J.M. Burgerscentrum.

### 1.16 ICCAM 96 Mathematics (Stefan Vandewalle)

Naar aanleiding van de tiende verjaardag van het tijdschrift *Journal of Computational and Applied Mathematics* (JCAM) werd in van 21 - 26 juli 1984 te Leuven de eerste ICCAM conferentie georganiseerd. Sindsdien gaat deze conferentie om de twee jaar opnieuw door. Ze wordt georganiseerd door de JCAM editors prof. P. Broeckx en prof. L. Wuytack van de Universiteit Antwerpen

en prof. M. Goovaerts en prof. R. Piessens van de Katholieke Universiteit Leuven. Logistieke steun, auditoria en hotelaccomodatie worden aangeboden in de gebouwen van de K.U. Leuven. Van 21 tot 26 juli had de zevende uitgave plaats.

De conferentie telde een 150 deelnemers, uit een dertigtal landen, die konden luisteren naar een honderdtal voordrachten, verdeeld over drie parallele sessies. Er waren zes uitgenodigde plenaire lezingen, die representatief waren voor de brede waaier van onderwerpen die verder aan bod zouden komen. H. Brunner opende de conferentie met een lezing getiteld "Numerical blow-up in evolution equations with memory terms". M. Nakao had het over "Guaranteed error bounds for the finite element solutions of elliptic differential equations". Dinsdagmorgen was (de Belgische) Philip Toint uit Namur aan de beurt. In zijn exposé besprak hij recente ontwikkelingen binnen het onderzoeksgebied van de numerieke optimalisatie voor problemen met niet-lineaire beperkingen. De woensdagmorgen werd gedomineerd door M. Ismail, die Sturm-Liouville vergelijkingen, Freud gewichten, Stieltjes en Hamburger problemen de revue liet passeren. F. Marcellan had het dan weer over de analytische eigenschappen en numerieke aspecten van orthogonale veeltermen in Sobolev ruimten. De lijst van uitgenodigde sprekers werd op de laatste dag van de bijeenkomst afgesloten door J. Nedoma met een lezing over "Coupled Stefan-like problems in thermo-plastic rheology".

Leuven bood uitgebreide ontsnappingsmogelijkheden voor wie de orthogonale polynomen naar het hoofd gestegen waren. Tot in de late uurtjes kunnen er in deze bruisende stad in tientallen cafeetjes en restaurants Belgische brouwerssels allerhande geproefd worden. Voor de cultureel geïnteresseerden stond een geleide wandeling door Leuven afgesloten met een receptie in het historisch stadshuis op het programma. Verder was er de mogelijkheid voor een bezoek aan Brussel (Bruxelles). Bij de culinair geïnteresseerden viel het bezoek aan de brouwerij Hoegaarden bijzonder in de smaak.

Ik kan het niet nalaten toch enkele schoonheidsfouten aan te halen. Zo liep de aankondiging van de conferentie en de verdere informatieverspreiding wat mank. Het storend aantal last-minute afgelaste voordrachten is hier wellicht niet vreemd aan. Ook was de connectie tussen de verschillende presentaties binnen een parallele sessie soms zoek. Afgezien hiervan, mogen de organisatoren toch zeker terugblikken op een geslaagde meeting van een hoog wetenschappelijk gehalte.

## 2 Publikaties

### 2.1 Rapporten

1. R.H. BISSELING, *Basic techniques for numerical linear algebra on bulk synchronous parallel computers*, Preprint 964, Department of Mathematics, Utrecht University, June 1996.
2. A. BRANDT AND C.H. VENNER, *Multilevel evaluation of integral transforms with asymptotically smooth kernels*, Weizmann Inst. of Science, Internal Report WI/GC-2. SIAM Journal of Scientific Computing, in press.
3. A. BRANDT AND C.H. VENNER, *Multilevel evaluation of integral transforms on adaptive grids*, Weizmann Inst. of Science, Internal Report WI/GC-5.
4. A. BREMNER, R.J. STROEKER AND N. TZANAKIS, *On Sums of Consecutive Squares*, Report 9528/B, Erasmus Un., 1995, 39 pages (to appear in Journal of Number Theory).
5. A. DOELMAN, T.J. KAPER AND P.A. ZEGELING, *Pattern formation in the 1-D Gray-Scott model*, Preprint 956, Department of Mathematics, Utrecht University, 1996.
6. J.L.M. VAN DORSSELAER, *Pseudospectra for matrix pencils and stability of equilibria*, Preprint 954, Department of Mathematics, Utrecht University, March 1996.
7. D.R. FOKKEMA, G.L.G. SLEIJPEN, AND H.A. VAN DER VORST, *Jacobi-Davidson style QR and QZ algorithms for the reduction of matrix pencils*, Preprint 941, Department of Mathematics, Utrecht University, January 1996.
8. B. VAN 'T HOF, J.H.M. TEN THIJE BOONKKAMP AND R.M.M. MATTHEIJ, *Discretization of the Stationary Convection-Diffusion-Reaction Equation*, Report RANA 96-02, Department of Mathematics and Computing Science, Eindhoven University of Technology.
9. K.J. IN 'T HOUT, *On the stability of adaptations of the class of Runge-Kutta methods to delay differential equations*, Report no. 96-04, Numerieke Analyse Groep RUL.
10. R.R.P. VAN NOOYEN, C. VUIK AND P. WESSELING, *Some parallelizable preconditioners for GMRES*, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, 1996, TUD Report 96-50.
11. S.E. OOMS, *A Multi-Dimensional Upwind Approach for Transport Equations*, Delft Hydraulics Report X166, July 1996.

12. S.L. DE SNOO, R.M.M. MATTHEIJ AND G.A.L. VAN DE VORST, *Modelling of glas mouldin, in particular small scale surface changes*, RANA 96-11, TUE.
13. M.N. SPIJKER, *Error propagation in Runge-Kutta methods*, Report no. 96-03, Numerieke Analyse Groep RUL.
14. M.N. SPIJKER, *Numerical Stability, Resolvent Conditions and Delay Differential Equations*, Report no. 96-05, Numerieke Analyse Groep RUL.
15. M.N. SPIJKER AND F.A.J. STRAETEMANS, *A note on the order of contact between sets in the complex plane*, Report no. 96-06, Numerieke Analyse Groep RUL.
16. M.N. SPIJKER AND F.A.J. STRAETEMANS, *Error growth analysis, via stability regions, for discretizations of initial value problems (Revised Version)*, Report no. 96-01, Numerieke Analyse Groep RUL.
17. N.M. TEMME, *Uniform asymptotics for the incomplete gamma functions, starting from negative values of the parameters*, (accepted for publication), CWI Report AM—R9603.
18. R. TORENBEK AND C. VUIK, *The Arnoldi and Lanczos methods for approximating the eigenpairs of a matrix*, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, 1996 TUD Report 96-44.
19. H. VAN DER VEN, B.E. NIEMANN-TUITMAN AND A.E.P. VELDMAN, *An explicit multi time stepping algorithm for aerodynamic flows*, Report NLR TP 96431 L (1996).
20. P.A. ZEGELING, *MFE revisited, Part I: adaptive grid-generation using the heat equation*, Preprint 946, Department of Mathematics, Utrecht University, 1996.

## 2.2 Proceedings en boekbijdragen

1. R.H. BISSELING, *Sparse matrix computations on bulk synchronous parallel computers*, in: G. Alefeld, O. Mahrenholtz, and R. Mennicken (eds.), Proceedings International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Hamburg, July 3-7, 1995. Issue 1, Numerical Analysis, Scientific Computing, Computer Science, pp. 127-130, 1996.
2. E.F.F. BOTTA, A. VAN DER PLOEG AND F.W. WUBS, *MRICCG on a shared-memory parallel computer*, in: O. Axelsson and B. Polman (eds.), Proceedings Conference on Algebraic Multilevel Iterative Methods and Applications, (1996) 105-116.

3. W. CAZEMIER, R.W.C.P. VERSTAPPEN AND A.E.P. VELDMAN, *The stability of steady and periodic solutions of a low-dimensional dynamical system for 2D driven cavity flows*, in: S. Gavrilakis, L. Machiels and P.A. Monkewitz (eds.), *Advances in Turbulence VI*, Kluwer Academic Publishers (1996) 313–316.
4. H. DECONINCK AND B. KOREN, *Algorithm development in CFD: multi-dimensional upwinding and multiple semi-coarsening multigrid*, *Computational Methods in Applied Sciences '96*, Invited Lectures and Special Technological Sessions of the Third ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conference and the Second ECCOMAS Conference on Numerical Methods in Engineering, 9-13 September 1996, Paris, pp. 496-502, Wiley, Chichester (1996).
5. M.B. VAN GIJZEN, *GMRES-like methods on distributed memory computers*, in: S.D. Margenov and P.S. Vassilevski (eds), *Proceedings Second IMACS International Symposium on Iterative Methods in Linear Algebra*, June 17-20, 1995, Blagoevgrad. IMACS Series in Computational and Applied Mathematics, 3 (1996) pp. 45–56.
6. M.B. VAN GIJZEN, *Parallel ocean flow computations on a regular and on an irregular grid*, in: *Proceedings HPCN Europe 1996. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1067, Springer Verlag, pp. 207–212, 1996.
7. B. KOREN, P.F.M. MICHIELSEN, J.W. KARS AND P. WESSELING, *A computational method for high-frequency oleodynamics, application to hydraulic-shock-absorber designs*, *Computational Fluid Dynamics '96*, Proceedings of the Third ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conference, 9-13 September 1996, Paris, pp. 725-731, Wiley, Chichester (1996).
8. W.A. MULDER *A comparison between higher-order finite elements and finite differences for solving the wave equation*, *Numerical Methods in Engineering '96*, Proceedings of the Second ECCOMAS Conference on Numerical Methods in Engineering, 9-13 September 1996, Paris, pp. 344-350, Wiley, Chichester (1996).
9. F. NATAF AND F. ROGIER AND E. DE STURLER, *Domain Decomposition Methods for Fluid Dynamics*, in: *Navier-Stokes Equations and Related Nonlinear Problems* (A. Sequeira, ed.), *Plenum Press, New York, 1995*.
10. P.J.P.M. SIMONS AND R.M.M. MATTHEIJ, *The cooling of molten glass in a mould*, *Computational Mechanics Publications*, 1996, pp. 3–12.
11. G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *The Jacobi-Davidson method for eigenproblems and its relation with accelerated inexact Newton schemes*, in: S.D. Margenov and P.S. Vassilevski (eds), *Proceedings Second IMACS International Symposium on Iterative Methods in Linear*

- Algebra, June 17-20, 1995, Blagoevgrad. IMACS Series in Computational and Applied Mathematics, 3 (1996).
12. R.J. STROEKER AND B.M.M. DE WEGER, *On a Quartic Diophantine Equation*, Proc. Edinburgh Math. Soc. (1996), 97 – 114.
  13. A.E.P. VELDMAN AND B.F.A. DE BOER, *Interaction laws applied to domain decomposition*, in: K.W. Morton and M.J. Baines (eds.), Numerical Methods for Fluid Dynamics V, Oxford Science Publications (1995) 385–390.
  14. R.W.C.P. VERSTAPPEN AND A.E.P. VELDMAN, *Data-parallel solution of the incompressible Navier-Stokes equations*, in: P. Wesseling (ed.), High Performance Computing in Fluid Dynamics, Kluwer Academic Publishers (1996) 237–260.
  15. H.A. VAN DER VORST, *Gedachten over de mathematisering van de samenleving gezien ‘vanuit de Wiskunde’*, in: Wiskunde in Nederland — Drie essays. Uitgave: Overlegcommissie Verkenningen, Amsterdam, februari 1996.
  16. H.A. VAN DER VORST, *Parallel linear solvers: sparse iterative methods*, in: P. Wesseling (ed.), High Performance Computing in Fluid Dynamics, Kluwer, Dordrecht, pp. 173–200, 1996.
  17. H.A. VAN DER VORST, *Parallelism in CG-like methods*, in: E. D’Hollander et al (eds), Parallel Computing: State-of-the-Art and Perspectives, Advances in Parallel Computing, Vol. 11, Elsevier North-Holland, Amsterdam, 1996.
  18. C. VUIK, *Iterative solution methods for flow problems*, Proceedings of the Second IMACS International Symposium on Iterative Methods in Linear Algebra, Blagoevgrad, Bulgaria June 17-20,1995, Iterative methods in linear algebra II pp. 453–461 editors: S.D. Margenov and P.S. Vassilevski IMACS, Piscataway, 1996.
  19. P.A. ZEGELING, *A dynamically-moving adaptive grid method based on a smoothed equidistribution principle along coordinate lines*, in: B.K. Soni, J.F. Thompson, J. Haeuser and P. Eiseman (eds.), Proceedings 5th International Conference on Numerical Grid Generation in Computational Field Simulation, April 1996, Mississippi State University.
  20. M. ZIJLEMA, *Description of numerical methodology for developing flow in curved rectangular duct*, In: D. Laurence, I. Dauthieu and S. Richoux (editors), Proc. Fifth ERCOFTAC-IAHR Workshop on Refined Flow Modelling, pages 18–19, EDF-LNH Chatou, France, 1996.



## 2.3 Tijdschriftartikelen

1. A. BOOTEN AND H.A. VAN DER VORST, *Cracking large-scale eigenvalue computations, Part I: algorithms*, Computers in Physics, 10(3) (1996), pp. 239–242.
2. A. BOOTEN AND H.A. VAN DER VORST, *Cracking large-scale eigenvalue computations, Part II: implementations*, Computers in Physics, 10(4) (1996), pp. 331–334.
3. M.A. CHAUDHRY, N.M. TEMME AND E.J.M. VELING, *Asymptotics and Closed Form of a Generalized Incomplete Gamma Function*, J. Comp. Appl. Math., 67, 371–379, 1996.
4. H.J.J. VAN DAM, J.H. VAN LENTHE, G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *An improvement of Davidson's iteration method: Applications to MRCI and MRCEPA calculations*, J. Computational Chemistry, 17(3) (1996), pp. 267–272.
5. J.L.M. VAN DORSSELAER, *An algorithm to compute sets enclosing M-numerical ranges with applications in numerical analysis*, Linear and Multilinear Algebra, 41 (1996), pp. 49–61.
6. P.J.J. FERKET AND A.A. REUSKEN, *Further analysis of the local defect correction method*, Computing, 56 (1996), pp. 117–139.
7. P.J.J. FERKET AND A.A. REUSKEN, *A finite difference discretization method on composite grids*, Computing, 56 (1996), pp. 343–369.
8. D.R. FOKKEMA, G.L.G. SLEIJPEN, AND H.A. VAN DER VORST, *Generalized conjugate gradient squared*, J. Computational Applied Mathematics, 71 (1996), pp. 125–146.
9. E.D. DE GOEDE, J. GROENEWEG, K.H. TAN, M.J.A. BORSBOOM AND G.S. STELLING, *A Domain Decomposition Method for the Three-Dimensional Shallow Water Equations*, Simulation Practice and Theory, Vol 3, 1995, pp. 307–325.
10. K.J. IN 'T HOUT, *A note on unconditional maximum norm contractivity of diagonally split Runge-Kutta methods*, SIAM J. Numer. Anal., 33 (1996), pp. 1125–1134.
11. B. KOREN, *Improving Euler computations at low Mach numbers*, International Journal of Computational Fluid Dynamics, 6, 51–70 (1996).
12. A. VAN DER PLOEG, E.F.F. BOTTA AND F.W. WUBS, *Nested grids ILU-decomposition (NGILU)*, J. of Computational and Applied Mathematics 66 (1996), pp. 515–526.

13. G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *An overview of approaches for the stable computation of hybrid Bi-CG methods*, Applied Numerical Mathematics, 19 (1995), pp. 235–254.
14. G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *A Jacobi-Davidson iteration method for linear eigenvalue problems*, SIAM J. on Matrix Analysis and Applications, 17 (1996), pp. 401–425.
15. G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *Reliable updated residuals in hybrid Bi-CG methods*, Computing, 56 (1996), pp. 141–163.
16. M.N. SPIJKER, *Stiffness in numerical initial-value problems*, J. Comp. Appl. Math. 72 (1996), pp. 393–406.
17. M.N. SPIJKER & F.A.J. STRAETEMANS, *Stability estimates for families of matrices of nonuniformly bounded order*, Linear Algebra Appl. 239 (1996), pp. 77–102.
18. R.P. STEVENSON, *The Frequency Decomposition Multi-Level Method: A robust additive hierarchical basis preconditioner*, Mathematics of Computation, 65 (1996), pp. 983–997.
19. E. DE STURLER, *Nested Krylov Methods based on GCR*, J. Comp. Appl. Math. 67 (1996), pp. 15–41.
20. E. DE STURLER, *A Performance Model for Krylov Subspace Methods on Mesh-based Parallel Computers*, Parallel Computing, 22 (1996), pp. 57–74.
21. M. STRENG, J. BROEZE, H. KUERTEN AND B. GEURTS, *De (on)berekenbaarheid van turbulentie*, Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde, Vol. 62, pp. 23–26 (1996).
22. R.J. STROEKER, *On the sum of consecutive cubes being a perfect square*, Compositio Math. 97 (1995), 295 – 307.
23. N.M. TEMME, *Uniform asymptotic expansions of integrals: A selection of problems*, Paper presented at the Conference in honour of Thomas Jan Stieltjes Jr. (1856–1894) October 31 – November 4, 1994, Delft University of Technology, The Netherlands; J. Comp. Appl. Math., 65, 395–417, 1996.
24. E.M. TOOSE, H.T.M. VAN DEN ENDE, B.J. GEURTS AND J.G.M. KUERTEN, *Axisymmetric non-Newtonian drops treated with a boundary integral method*, J. Engg. Math., Vol. 30, pp. 131–150 (1996).
25. H.A. VAN DER VORST, *Modern methods for the iterative solution of large systems of linear equations*, Nieuw Archief voor Wiskunde, Vierde Serie Deel 14, no 1, maart 1996, pp. 127–143.

26. A.W. VREMAN, B.J. GEURTS AND J.G.M. KUERTEN, *Comparison of numerical schemes in large eddy simulation of the temporal mixing layer*, International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 22, pp. 297–311 (1996).
27. C. VUIK, *Fast iterative solvers for the discretized incompressible Navier-Stokes equations*, Int. J. for Num. Meth. Fluids, 22, pp. 195–210, 1996.
28. C. VUIK, A.G.J. SEVINK AND G.C. HERMAN, *A preconditioned Krylov subspace method for the solution of least squares problems in inverse scattering* J. Comp. Phys., 123, pp. 330–340, 1996.
29. P.M. DE ZEEUW, *Development of semi-coarsening techniques*, Appl. Numer. Math. 19 (1996) 433–465.
30. M. ZIJLEMA, *On the construction of a third-order accurate monotone convection scheme with application to turbulent flows in general domains*, Int. J. Numer. Meth. Fluids, Vol. 22, pp. 619–641, 1996.

## 2.4 Proefschriften en boeken

1. E. BRAKKEE, *Domein Decomposition for the Incompressible Navier-Stokes Equations*, Proefschrift, TUD, 1996.

### *Samenvatting:*

Dit proefschrift beschrijft de ontwikkeling van domeindecompositie in een computerprogramma voor het berekenen van incompressibele viskeuze stromingen. Bij het oplossen van deze vergelijkingen wordt eerst het gebied waarin deze vergelijkingen worden opgelost opgedeeld in stukken (subdomeinen), waarna elk van deze subdomeinen wordt afgebeeld op een rechthoekig gebied. De incompressibele Navier-Stokes vergelijkingen worden op deze subdomeinen opgelost met een boundary conforming aanpak. Natuurlijk zijn de oplossingen in de subdomeinen afhankelijk van elkaar, en dit leidt tot het gebruik van domeindecompositie-algoritmen om de koppeling tussen subdomeinen te bewerkstelligen. Hierbij moeten herhaaldelijk alle subdomeinproblemen opgelost worden.

Na een kort overzicht van enkele relevante domeindecompositie-methoden en de introductie van een algebraïsche formulering van deze methoden in hoofdstuk 2 start het onderzoek in hoofdstuk 3. Allereerst wordt in hoofdstuk 3 als modelstudie voor de incompressibele Navier-Stokes vergelijkingen, de invloed van koppelingscondities op de convergentie van een alternerende Schwarz domeindecompositie-methode onderzocht. Hiervoor wordt een aantal vantevoren vastgelegde koppelingsmethoden met elkaar vergeleken. Er wordt tevens gebruik gemaakt van een Krylov methode voor convergentieversnelling. Het blijkt dat er slechts beperkte verbeteringen in convergentie verkregen worden: het maximum is ongeveer een factor 2, maar voor de meeste problemen is dit beduidend minder. De

conclusie is dat de keuze van interface condities een geringe invloed heeft op de efficiëntie als een Krylov methode wordt gebruikt voor convergentieversnelling.

De conclusies van hoofdstuk 3 leiden ertoe dat voor de incompressibele Navier-Stokes vergelijkingen in hoofdstuk 4 (en verder) gebruik gemaakt wordt van een klassieke alternerende Schwarz methode. De methode wordt gedemonstreerd aan de hand van stromingsberekeningen in een aantal complexe stromingsdomeinen. Het blijkt dat met name het oplossen van de drukvergelijkingen nogal veel tijd kost. Verder is het zo dat de totale rekentijd met multi-block een factor 4–12 hoger is dan met single-block oplossing.

Eén van de oplossingen voor de grote reketijden van hoofdstuk 4 is een parallelle implementatie van de methode. Dit wordt besproken in hoofdstuk 5 aan de hand van parallelizatie op een cluster van werkstations. Een eenvoudig performance model wordt afgeleid, geanalyseerd en gevalideerd. De optimale decompositie van een domein is zodanig dat de totale interface lengte wordt geminimaliseerd. Dit minimaliseert zowel het aantal domeindecompositie iteraties als de communicatie per iteratieslag. De methode leidt tot speedups van 3 – 4 t.o.v. de sequentiële domeindecompositie methode op één machine (voor minder dan 6 processoren) en brengt de reketijd een stuk dicht bij single-block reketijd.

Een andere oplossing voor de grote reketijden van hoofdstuk 5 is het onnauwkeuriger oplossen van subdomeinen. De methodes die in de eerdere hoofdstukken worden besproken hebben als aanname dat subdomeinen nauwkeurig opgelost moeten worden. Deze aanname zorgt ervoor dat de grootte van het domeindecompositie-probleem gereduceerd kan worden tot een stelsel vergelijkingen m.b.t. een stelsel interface onbekenden, wat een belangrijke reductie in geheugengebruik betekent. Tevens maakt deze aanname een eenvoudige parallelle implementatie mogelijk. De aanname van het nauwkeurig oplossen van subdomeinen levert echter grote reketijden op en dus is het interessant om de subdomein oplosnauwkeurigheid te verlagen. Hiervoor moet echter wel een ander type Krylov methode gebruikt worden.

Hoofdstuk 6 bespreekt dit voor een modelstudie voor de tweedimensionale advection-diffusievergelijking. De resultaten laten zien dat de reketijd significant gereduceerd kan worden met deze techniek, zelfs tot zeer dicht in de buurt van single-block reketijd. Een ander voordeel is dat de methode robuust is met betrekking tot subdomeinnauwkeurigheid. Dit is niet zo voor de methode van hoofdstuk 4, zodat numerieke instabiliteiten kunnen ontstaan als de subdomeinproblemen niet nauwkeurig genoeg opgelost worden.

De resultaten van hoofdstuk 6 leiden tot de implementatie van de methode voor de incompressibele Navier-Stokes vergelijkingen in hoofdstuk 7. Ook hier worden significante reducties in reketijd gehaald. Echter, de subdomein preconditionering is hier iets anders, waardoor de methode waarbij

deze preconditionering wordt uitgebreid niet meer zo goed werkt. De re-  
kentijd is significant afgenomen met de introductie van deze technieken.  
De methode is ongeveer net zo snel op een werkstation als de geparalle-  
lizeerde methode van hoofdstuk 5. Echter, de combinatie van deze twee  
methodes (parallel + onnauwkeurig oplossen van subdomeinproblemen)  
vereist nog een aanzienlijke programmeerinspanning.

In hoofdstuk 8 wordt de methode toegepast op het probleem van de stro-  
ming rond een cylinder op een vlakke plaat in de visceuze sublaag van  
een turbulente grenslaag. Dit probleem staat model voor het opwaaien  
van stof en is van praktisch belang, bijv. voor het verstopt raken van  
pijpen in afvoerroutes. De liftkracht van de stroming op het deeltje is  
een belangrijke parameter bij het modelleren van dit verschijnsel. Expe-  
rimentele resultaten zijn beschikbaar. Het doel van de berekeningen in  
hoofdstuk 8 is om berekening met experiment te vergelijken. Deze ver-  
gelijking is beperkt omdat in de experimenten een bolvormig deeltje is  
gebruikt, terwijl in de berekeningen een cylinder is gebruikt. Het blijkt  
dat de aanwezigheid van de holte onder de bol tengevolge van de meet-  
opstelling de liftkracht beïnvloedt met een factor 2-3 voor de cylinder.  
Suggesties worden gegeven voor verder onderzoek.

2. P.J.J. FERKET, *Solving Boundary Value Problems on Composite Grids  
with an Application to Combustion*, Proefschrift, TUE, 1996.

*Samenvatting:*

Veel fysische processen kunnen wiskundig gemodelleerd worden als een  
elliptisch randwaardeprobleem. Om een numerieke benadering van de  
oplossing van het randwaardeprobleem te krijgen, wordt het randwaarde-  
probleem benaderd (gediscretiseerd) op een verzameling discrete punten  
(het rooster), en wordt het resulterende stelsel algebraïsche vergelijkingen  
opgelost. Indien de oplossing van het randwaardeprobleem sterk varieert  
is een fijn rooster nodig om een nauwkeurige numerieke benadering te  
krijgen. Veelal is de variatie van de oplossing niet over het hele domein,  
maar alleen lokaal groot. Om in dergelijke gevallen de oplossing van het  
randwaardeprobleem nauwkeurig en efficiënt te benaderen is een lokaal  
verfijnd rooster nodig.

In dit proefschrift worden iteratieve methoden voor het oplossen van el-  
liptische randwaardeproblemen op zogenaamde samengestelde roosters  
bestudeerd. Samengestelde roosters zijn lokaal verfijnde roosters die zijn  
samengesteld uit een aantal uniforme roosters. Eén van de uniforme  
roosters overdekt het hele domein en heeft een grove maaswijdte. De  
overige uniforme roosters overdekken ieder slechts een deel van het do-  
mein en hebben een (veel) fijnere maaswijdte. Als modelrooster wordt  
een samengesteld rooster gebruikt dat is samengesteld uit een globaal  
uniform grof rooster en één lokaal uniform fijn rooster. De maaswijdte  
van het lokale rooster zal vaak veel fijner zijn dan de maaswijdte van het  
globale rooster. Om de randwaardeproblemen te discretiseren worden

eindige differenties gebruikt.

In de hoofdstukken 2 en 3 worden een drietal uit de literatuur bekende methoden voor het oplossen van lineaire randwaardeproblemen op samengestelde roosters gepresenteerd en geanalyseerd. Bij de LDC methode (“local defect correction”) en de MLAT methode (“multi-level adaptive technique”) wordt het randwaardeprobleem niet a priori gediscrètiseerd op het samengestelde rooster. In iedere iteratiestap worden stelsels algebraïsche vergelijkingen op de uniforme deelroosters gedefinieerd en opgelost. Voor de LDC methode en de MLAT methode wordt het discrete probleem op het samengestelde rooster, dat uiteindelijk wordt opgelost, afgeleid. De verschillen tussen het discrete probleem gerelateerd aan de LDC methode en het discrete probleem gerelateerd aan de MLAT methode worden besproken. Voor de LDC methode wordt een uitdrukking voor de iteratiematrix afgeleid. De FAC methode (“fast adaptive composite grid method”) is een iteratieve methode voor het oplossen van a priori gegeven discrete problemen op het samengestelde rooster. De FAC methode wordt toegepast op het aan de LDC methode gerelateerde discrete probleem op het samengestelde rooster en de benaderingen in de FAC iteratie worden vergeleken met de benaderingen in de LDC iteratie. In hoofdstuk 4 wordt het aan de LDC methode gerelateerde discrete probleem op het samengestelde rooster nader bestudeerd. Voor de één-dimensionale Poisson vergelijking wordt dit discrete probleem vergeleken met twee andere, aan de MLAT methode en de FAC methode gerelateerde, discrete problemen op het samengestelde rooster. De lokale en globale discretisatiefouten en eigenschappen van de differentiematrices worden vergeleken. Het blijkt dat het aan LDC gerelateerde discrete probleem een aantal gunstige eigenschappen heeft. Voor dit discrete probleem worden ook in geval van de twee-dimensionale Poisson vergelijking de lokale discretisatiefouten geanalyseerd en gunstige eigenschappen van de differentiematrix afgeleid. Uiteindelijk wordt een scherpe bovengrens voor de globale discretisatiefout afgeleid, die geldig is zonder beperking op de grove maaswijdte, de fijne maaswijdte en de verhouding tussen deze twee maaswijdten.

In de hoofdstukken 2, 3 en 4 worden lineaire randwaardeproblemen beschouwd. In hoofdstuk 5 wordt beschreven hoe de LDC methode kan worden gecombineerd met de Newton methode voor het oplossen van niet-lineaire randwaardeproblemen op een samengesteld rooster. Voor de niet-lineaire LDC methode wordt het discrete probleem op het samengestelde rooster, dat uiteindelijk wordt opgelost, afgeleid. Voor het oplossen van dit discrete probleem wordt ook een combinatie van de Newton methode en de FAC methode beschreven.

De niet-lineaire LDC methode wordt toegepast op een concreet niet-lineair probleem afgeleid uit de modellering van verbrandingsprocessen. Bij de numerieke simulatie van verbrandingsprocessen is het gebruik van lokaal sterk verfijnde roosters noodzakelijk omdat de afmeting van de

brander in het algemeen een aantal ordes groter is dan de afmeting van de zone waarin de chemische reacties plaatsvinden. In hoofdstuk 6 worden de beschrijvende vergelijkingen voor reagerende gasmengsels in het algemeen, en voor één-dimensionale vlakke vlammen in het bijzonder, gegeven. Verder worden numerieke resultaten, verkregen met de niet-lineaire LDC methode, gepresenteerd en besproken.

3. D.R. FOKKEMA, *Subspace Methods for Linear, Non-Linear and Eigen Problems*, Proefschrift, UU, 1996.

*Samenvatting:*

In deze dissertatie wordt een aantal nieuwe methoden beschreven voor het iteratief oplossen van lineaire, niet-lineaire, en/of eigen problemen met behulp van de computer. De oplossing van dit soort problemen speelt vaak een belangrijke rol bij het beantwoorden van vragen als: wat voor het weer wordt het, hoe veilig is een auto, wat is het vlieggedrag en brandstofgebruik van een vliegtuig, hoe bestendig zijn dijken tegen overstromingen, hoe snel werkt een halfgeleider, hoeveel belasting kan een brug verdragen, hoe verloopt een chemische reactie, enzovoorts.

In de praktijk modelleert men dit soort vraagstukken met behulp van partiële differentiaalvergelijkingen. De grootte van de na discretisatie verkregen stelsels grenst in de regel aan de mogelijkheden van bestaande directe oplossingsmethoden. In dat geval kan het efficiënter of zelfs noodzakelijk zijn een iteratieve methode te gebruiken.

Een belangrijk verschil tussen directe en iteratieve methoden is dat de iteratieve methoden het probleem niet in zijn geheel te lijf gaan. Een iteratieve methode bekijkt het probleem op een deelruimte en reduceert het tot een veel kleiner, gelijksoortig probleem. De gemakkelijk te verkrijgen oplossing daarvan leidt dan tot een correctie van de bestaande benadering. Door de deelruimte adequaat uit te breiden kan dit proces herhaald worden. In veel toepassingen zijn maar weinig van zulke stappen nodig om tot een acceptabele oplossing te komen en dan is zo'n iteratieve methode superieur.

In de laatste tien tot twintig jaar zijn al heel wat verschillende iteratieve methoden ontwikkeld, maar een probleem blijft dat ze lang niet altijd naar tevredenheid werken. Soms vergen ze te veel iteraties en dus te veel computertijd en soms convergeren ze in het geheel niet. Ook kan het gebeuren dat door afrondingsfouten de zaak de mist in gaat.

De in dit proefschrift voorgestelde nieuwe methoden brengen nu hierin verbetering. Door na te gaan waardoor de zaak mis kan gaan en door geschiktere deelproblemen te beschouwen kan in veel gevallen mislukking vermeden worden en de rekentijd aanzienlijk verkort worden.

In hoofdstuk 1 tot en met 4 staan iteratieve methoden voor lineaire problemen centraal. De bestaande methoden GMRES, CGS, en Bi-CGSTAB worden onder de loep genomen en een aantal tekortkomingen wordt blootgelegd. Daarmee is de weg open naar varianten met verbe-

terde convergentie-eigenschappen. De vermelde numerieke experimenteren geven de lezer een idee hoeveel de winst kan zijn.

In hoofdstuk 5 wordt een raamwerk geïntroduceerd voor het oplossen van algemene niet-lineaire problemen. Uit dit raamwerk vloeien vele bekende methoden voort. Het vergroot het inzicht in de onderlinge relaties en het brengt ook nieuwe mogelijkheden aan het licht. Numerieke experimenteren laten zien dat zij efficiënter kunnen zijn.

In het laatste hoofdstuk, hoofdstuk 6, worden twee algoritmen beschreven, die geschikt zijn voor het berekenen van enkele eigenwaarden en eigenvectoren van standaard en gegeneraliseerde eigenproblemen. Een zeer belangrijk verschil, in vergelijking met bestaande methoden, is dat deze methoden, JDQR en JDQZ geheten, het mogelijk maken de convergentiesnelheid te verhogen door middel van willekeurige preconditionering. Dit laatste brengt het oplossen van zeer grote eigenproblemen onder handbereik.

4. M.I. GERRITSMAN, *Time Dependent Simulation of Visco-Elastic Flow on a Staggered Grid*, Proefschrift, RUG, 1996.

*Samenvatting:*

Hoewel de stroming van een groot aantal vloeistoffen goed kan worden beschreven met de Navier-Stokes vergelijkingen, is er een grote klasse van vloeistoffen die niet aan deze vergelijkingen voldoet. Men noemt deze vloeistoffen niet-Newtonse vloeistoffen. Voorbeelden van deze vloeistoffen zijn: polymeeroplossingen, gesmolten plastics en verf.

Deze materialen zijn niet alleen viskeus, maar bezitten ook nog elastische eigenschappen en worden daarom viscoëlastische materialen genoemd. In de afgelopen decennia is er een groot aantal modellen ontwikkeld die deze materialen zouden moeten beschrijven. Echter het oplossen van de stelsel vergelijkingen blijkt enorm veel problemen op te leveren wanneer de elasticiteit van het materiaal belangrijk wordt in een gegeven stroming. In dit proefschrift wordt naar een klasse van differentiaalmodellen gekeken. Speciale aandacht gaat daarbij uit naar een nieuw ingevoerde tijdsafgeleide: de geconvecteerde tijdsafgeleide. Deze tijdsafgeleide heeft een aantal eigenschappen die het differentiaalquotiënt dat deze tijdsafgeleide benadert in het algemeen niet bezit. Er wordt daarom een discretisatie in de tijd ontwikkeld die deze eigenschappen wel bezit. Bij de benadering van de deformatiegradiënt wordt gebruik gemaakt van de MCSH benadering.

Vervolgens wordt de structuur van het stelsel partiële differentiaalvergelijkingen onderzocht. Op basis van deze structuur wordt een numeriek algoritme ontwikkeld dat deze structuur zoveel mogelijk probeert te behouden. Er is gekozen voor het zogenaamde Maxwell model, aangezien dit model slechts twee onafhankelijke parameters bezit, het Reynoldsgetal en het Deborah getal. Er is alleen gekeken hoe het algoritme werkt bij diverse waarden van het Deborah getal, waarbij het Reynolds getal



op een vaste waarde wordt gehouden.

Het algoritme is toegepast op een contractiestroming, waarbij de vloeistof van een breed kanaal over moet gaan in een veel nauwer kanaal. Deze stroming is tijdsafhankelijk doorgerekend. Het algoritme levert betrouwbare oplossingen tot een Deborah getal van 11, waarna het probleem analytisch niet meer goed gesteld is. In vergelijking met tijdsafhankelijke berekeningen die in de literatuur beschreven staan wordt een hoog Deborah getal gehaald.

5. M. VAN LOON, *Numerical Methods in Smog Prediction*, Proefschrift, UvA, 1996.

*Samenvatting:*

Het project EUSMOG, waarvan dit proefschrift één van de wetenschappelijke resultaten is, had een tweeledig doel.

Het eerste doel is het uitbreiden van het bestaande wintersmog model EUROS naar een zomersmog model. Dit zomersmog model heeft in eerste instantie de naam CUIROS gekregen. Gedurende het project is deze naam echter niet meer gewijzigd. Voor deze modeluitbreiding was het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), tevens opdrachtgever van het project EUSMOG, de eerstverantwoordelijke. De implementatie kwam echter voor rekening van het CWI. Belangrijkste aspecten van de bedoelde modeluitbreiding waren het grotere aantal gemodelleerde chemische componenten (van 5 naar 15) en een veel ingewikkelder chemisch reactiemechanisme. Tevens werden nieuwe emissiebestanden gebruikt die ook puntbroninformatie bevatten. Het gevolg van deze aanpassingen was dat de benodigde rekentijd op een workstation drastisch zou toenemen. Echter, de rekentijd diende beperkt te blijven tot 3 à 4 uur vanwege de praktische toepassing.

Dit leidde tot het tweede doel: het ontwikkelen van snelle en efficiënte numeriek-wiskundige methoden voor toepassing in het smog model, alsmede de implementatie van een locale roosterverfijningstechniek. Omdat in het model operator splitting wordt toegepast, is het mogelijk voor ieder fysisch proces afzonderlijk een geschikte numerieke techniek te kiezen. In het onderzoek is met name aandacht gegeven aan numerieke methoden voor advection, daarbij rekening houdend met de gekozen gridverfijningstechniek, en snelle en efficiënte solvers voor chemische vergelijkingen. Dit laatste is van groot belang omdat bij standaard gebruik van stijve ODE solvers een onevenredig groot deel van de rekentijd zou gaan zitten in het oplossen van chemische vergelijkingen. Gezien de gestelde restrictie aan de totale rekentijd van het model, is het onmogelijk standaard methoden toe te passen. Vanwege de relatief lage nauwkeurigheidseis is het mogelijk special-purpose solvers te gebruiken. Deze kunnen efficiënter zijn dan standaard solvers voor relatief lage nauwkeurigheden.

De resultaten en conclusies van het onderzoek gerapporteerd in dit proefschrift kunnen als volgt worden samengevat:

- Het is mogelijk gebleken een compact Euleriaans zomersmog model te ontwikkelen. De numerieke implementatie ervan kan draaien op een workstation en een modelrun kan worden uitgevoerd binnen de gestelde rekentijd.
- De gridverfijningstechniek dient gebaseerd te zijn op de eindige volume aanpak. Dit voorkomt inconsistenties bij de behandeling van (punt)bronnen. De gekozen aanpak is gebaseerd op de methode ontwikkeld door Trompert & Verwer. Deze aanpak is echter gebaseerd op een grid punt interpretatie en is daarom aangepast voor de eindige volume benadering. Vanwege de toepassing is tevens de datastructuur uitgebreid met een aantal pointers. Tevens zijn de procedures voor het interpoleren van oplossingen van een grof naar een fijn grid en omgekeerd massabehoudend gemaakt.
- Voor de behandeling van de advection is gekozen voor de methode der lijnen benadering. In het model is de gelimite  $\kappa = \frac{1}{3}$  plaatsdiscretisatie met een derde-orde Runge-Kutta tijdsintegrator geïmplementeerd. Naast theoretisch onderzoek naar deze discretisatie en verschillende tijdsintegratiemethoden, is een vergelijking gemaakt tussen de gekozen methode en andere methodes. Daarbij is onderzocht of flux corrected transport een alternatief kan zijn voor het monotoon maken van de oplossing in geval de plaatsdiscretisatie niet gelimit wordt. Naast de niet gelimite derde-orde plaatsdiscretisatie is ook de vierde-orde centrale discretisatie beschouwd. Het bleek echter dat flux corrected transport weliswaar vergelijkbaar nauwkeurig is, maar ook duur. Implementatie ervan op verfijnde roosters zou bovendien nog duurder uitpakken dan op een regelmatig rooster.
- Voor de numerieke behandeling van de chemische vergelijkingen is gekozen voor een variant op de methode TWOSTEP. Deze laatste methode is gebaseerd op de BDF2 methode. Het stelsel niet-lineaire vergelijkingen wordt echter niet met behulp van de methode van Newton opgelost (benaderd), maar door een aantal Gauss-Seidel iteraties. Dit blijkt goed te werken voor gas-fase atmosferische chemische systemen. Het iteratieve proces kan worden verbeterd door middel van lumping. Voor het chemische model, zoals beschreven in dit proefschrift, blijkt lumping van  $NO_2$  en  $NO$  in  $NO_x$  en van  $NO_2$  en  $O_3$  in  $O_x$  zeer effectief. In plaats van TWOSTEP wordt de variant 3STEP, gebaseerd op de BDF3 methode, aanbevolen met gebruik van vaste tijdstappen van 450 seconden.

Uit box experimenten met verschillende special-purpose solvers bleek dat TWOSTEP en 3STEP veel efficiënter zijn dan methoden gebaseerd op de QSSA benadering. Deze laatste klasse van methoden wordt veel gebruikt in atmosferische modellen. Tevens is een vergelijking gemaakt met de state-of-the-art solver VODE, voorzien van ijle matrix routines om de lineaire algebra efficiënter te maken. Voor relatief

kleine chemische modellen bleken TWOSTEP en 3STEP efficiënter in het gewenste nauwkeurigheidsgebied. Voor grotere systemen (dan wel voor hogere nauwkeurigheid) blijkt VODE vaak efficiënter te kunnen zijn, mits de lineaire algebra geoptimaliseerd is.

- In vergelijking met meetresultaten zijn de modeluitkomsten redelijk tot goed te noemen, met name voor de beschouwde zomersmog episode. Toepassing van gridverfijning resulteert in een aantal gevallen tot een betere overeenkomst tussen berekende en gemeten concentraties. Er zijn echter ook situaties waarin de modelberekeningen geen goede overeenkomst vertonen met metingen. In een enkel geval leidt gridverfijning tot een minder goede overeenstemming tussen gemodelleerde en gemeten concentraties. Dit is met name het geval voor de beschouwde winterepisode. De oorzaken hiervan kunnen van diverse aard zijn. Er zal nog kritisch gekeken moeten worden naar de modellering van verschillende processen.

De indeling van dit proefschrift is als volgt. Na het inleidende Hoofdstuk 1 wordt in Hoofdstuk 2 het fysische en chemische model beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de gridverfijningstechniek. Tevens wordt in dit hoofdstuk een numerieke illustratie gegeven. Hoofdstuk 4 behandelt numerieke advection schema's volgens de eindige volume benadering. Uitgangspunt daarbij is massabehoud en het voorkomen van onder- en overshoot. De nadruk in dit hoofdstuk ligt op de gelimite  $\kappa = \frac{1}{3}$  plaatsdiscretisatie gecombineerd met Runge-Kutta tijdsintegratie. Deze combinatie levert een massabehoudend schema op. Conditie voor de tijdstap worden afgeleid waarbij de numerieke oplossing vrij blijft van onder- en overshoot. Daarnaast wordt ook Flux Corrected Transport (FCT) besproken als mogelijkheid om het laatste te bereiken. Het hoofdstuk besluit met numerieke experimenten met een aantal geselecteerde advection schema's. Hoofdstuk 5 beschrijft special-purpose solvers voor het oplossen van chemische vergelijkingen. Deze methoden zijn vaak niet massabehoudend of zijn dat alleen wanneer men een iteratief proces laat convergeren. In dit hoofdstuk wordt daarom ook aandacht gegeven aan technieken om de massabalans te verbeteren. Voor TWOSTEP en QSSA methoden wordt enige analyse gegeven voor lineaire chemie, zowel met betrekking tot convergentie als massabehoud. Hoofdstuk 6 bevat een numerieke vergelijking tussen verschillende chemische solvers door middel van een box model test. Deze test is zo opgezet dat zoveel mogelijk recht wordt gedaan aan de praktische toepassing van de solvers in het volledige model. Hoofdstuk 7 laat resultaten zien van modelberekeningen, gedaan met verschillende rooster-niveaus, en legt deze naast waarnemingen. Experimenten voor een wintersmog en een zomersmog periode worden gepresenteerd. Hoofdstuk 8, tenslotte, geeft een samenvatting van dit proefschrift en bevat tevens de conclusies uit het onderzoek in het kader van het project EUSMOG.

6. R.M.M. MATTHEIJ, J. MOLENAAR, *Ordinary Differential Equations in Theory and Practice*, Wiley, 1996, 407 + xi pages.
7. H.C. RAVEN, *A Solution Method for the Non-Linear Ship Wave Resistance Problem*, Proefschrift, TUD, 1996.

*Samenvatting:*

Een varend schip ondervindt weerstandskrachten van verschillende aard. Een belangrijk deel is de *golfweerstand*, de weerstandskracht die samenhangt met het golfsysteem dat het schip opwekt. Hoe minder golven een schip maakt, des te minder golfweerstand, en des te lager het brandstofverbruik. Als we langs theoretische weg het door een bepaalde rompvorm opgewekte golfpatroon kunnen berekenen, kunnen we ook door een aantal van zulke berekeningen te doen de rompvorm snel en doeltreffend optimaliseren.

Om het golfpatroon te berekenen moeten we een mathematisch model oplossen van een niet-viskeuze stroming rond een scheepsromp, met constante snelheid varend in stil water. De oplossing wordt bepaald door de randvoorwaarden dat de stroming om de romp heen moet gaan; dat aan het wateroppervlak de druk constant (atmosferisch) moet zijn, en dat de stroming langs het golfoppervlak gericht moet zijn. Deze laatste twee voorwaarden moeten worden opgelegd op een golvend wateroppervlak waarvan de vorm nog niet bekend is; een belangrijke complicatie. Mathematisch gezien is dit een *niet-lineair vrij oppervlak probleem*.

Tot voor enkele jaren werd dit altijd vereenvoudigd. De randvoorwaarden aan het wateroppervlak werden vervangen door een andere uitdrukking die opgelegd werd ter plaatse van het *ongestoorde* wateroppervlak. Op het Maritiem Research Instituut Nederland was een dergelijke 'gelineariseerde' methode (het programma DAWSON) al jaren met succes in gebruik. Toch bleek deze in de praktijk verschillende beperkingen en tekortkomingen te hebben. Omstreeks 1989 heb ik onderzocht wat daarvan de oorzaken waren; en steeds bleken deze in de linearisatie te liggen. Wilden we verder komen, dan zouden we het volledig niet-lineaire vrij oppervlak probleem moeten oplossen. Over de ontwikkeling van een methode daarvoor gaat dit proefschrift.

De basisaanpak is een *panelenmethode*. We definiëren het stromingsveld als de som van de ongestoorde aanstroming en de door bronpanelen geïnduceerde stromingsvelden. De sterkten van die bronnen bepalen we uit de randvoorwaarden. Het is gebruikelijk om de panelen op de romp en op het wateroppervlak te leggen. Maar om verschillende redenen heb ik gekozen voor een *raised-panel* methode, waarbij bronpanelen op enige afstand boven het wateroppervlak liggen in plaats van erop. In Hoofdstuk 6 wordt langs theoretische weg de nauwkeurigheid en stabiliteit van die aanpak onderzocht. De numerieke dispersie blijkt veel kleiner te zijn dan bij een conventionele methode (3e i.p.v. 1e orde), waardoor de fase van de voorspelde golven veel beter klopt. Bovendien is de instabiliteit

voor punt-tot-punt oscillaties opgeheven, zodat we veel fijnere paneelverdelingen kunnen gebruiken. Twee belangrijke tekortkomingen van de vroegere methode zijn daarmee opgeheven.

Omdat het probleem niet-lineair is, en randvoorwaarden op een nog onbekend golfoppervlak moeten worden opgelegd, moet een stapsgewijs (iteratief) proces worden gebruikt. In elke stap leggen we een vereenvoudigde randvoorwaarde op, op het golfoppervlak dat we in de vorige stap gevonden hadden. Zo vinden we een nieuwe benadering van het stromingsveld en een nieuwe golfvorm, en gaan verder met de volgende stap. Als er van stap tot stap niets meer verandert, hebben we de werkelijke oplossing gevonden. Cruciaal is de 'convergentie' van dit iteratieproces: we moeten in een redelijk aantal stappen de werkelijke oplossing vinden zonder tussentijds te ontsporen. Vroegere methoden gaven nogal wat problemen in dat opzicht. Dankzij een zorgvuldige formulering, en dankzij de raised-panel aanpak die ook een bijdrage blijkt te leveren aan de robuustheid en convergentie, kan met de nieuwe methode in de meeste gevallen de oplossing probleemloos gevonden worden.

Speciale aandacht heb ik besteed aan de afstroming van het achterschip (Hoofdstuk 8). Moderne schepen hebben meestal een 'spiegel', een afgeknotte, platte achterkant. Het wateroppervlak komt hier als het ware onder vandaan, en voor het verbeteren van het ontwerp van het achterschip willen we precies weten hoe. Over de modellering en implementatie hiervan bestond nog geen overeenstemming. Op grond van fysische overwegingen heb ik nu een bepaalde aanpak gekozen, en zowel numeriek als experimenteel gevalideerd. De resultaten blijken behoorlijk met de werkelijkheid overeen te stemmen.

Voor allerlei soorten schepen heb ik het berekende golfpatroon vergeleken met wat bij modelproeven in sleeptanks gemeten is (Hoofdstuk 9). Het blijkt dat de voorspelling kwalitatief, en meestal ook kwantitatief, erg goed is. Zelfs details van het golfsysteem worden goed weergegeven. De verbetering ten opzichte van gelineariseerde methoden is veel groter dan verwacht, een verrassend resultaat van deze ontwikkeling.

Tenslotte heb ik de aard van 'niet-lineaire effecten', die deze grote verschillen veroorzaken, onderzocht (Hoofdstuk 10). Een onderscheid is gemaakt tussen 'transfer' en 'refractie' effecten. Transfer effecten zijn vooral dichtbij de romp sterk, en verklaren het verschil in voorspelde boeggolfhoogte tussen gelineariseerde en niet-lineaire methoden. Refractie effecten werken cumulatief, en leiden dus tot grote verschillen op enige afstand van de romp. Belangrijk daarbij is dat zij kunnen leiden tot een versterking van het boeggolfsysteem in het nabije veld. Beide effecten tezamen leiden tot een zeer groot verschil in de amplitude van divergerende golven in het boeggolfsysteem.

Afgezien van wat verfijningen is de ontwikkeling van de methode nu in principe compleet. Het programma RAPID (RAised Panel Iterative Dawson) draait efficiënt op de CRAY supercomputer van SARA in Am-

sterdam, en vergt een rekentijd van 2 tot 20 minuten per geval. Het wordt in de praktijk op het MARIN intensief gebruikt voor het verbeteren van rompvormontwerpen. De algemenere toepasbaarheid, grotere nauwkeurigheid en flexibiliteit zijn daarbij belangrijke voordelen ten opzichte van vroegere gelineariseerde methoden.

8. N.M. TEMME, *Special Functions: An Introduction to the Classical Functions of Mathematical Physics*, Wiley, 1996, 375 p. ISBN: 0471-11313-1.

*Samenvatting:*

This book gives an introduction to the classical well-known special functions which play a role in mathematical physics, in particular in boundary value problems. Usually we call a function 'special' when the function, just as the logarithm, the exponential and trigonometric functions (the elementary transcendental functions), belongs to the toolbox of the applied mathematician, the physicist or engineer. Usually there is a particular notation, and a number of properties of the function are known. This branch of mathematics has a respectable history with great names such as Gauss, Euler, Fourier, Legendre, Bessel and Riemann. They all have spent much time to this subject. A great part of their work was inspired by physics and the resulting differential equations. About 70 years ago these activities culminated in the standard work *A Course of Modern Analysis* by Whittaker and Watson, which has had great influence and is still important.

This book has been written with students of mathematics, physics and engineering in mind, and also researchers in these areas who meet special functions in their work, and for whom the results are too scattered in the general literature. Calculus and complex function theory are the basis for all this: integrals, series, residue calculus, contour integration in the complex plane, etc.

The selection of topics is based on my own preferences, and of course on what in general is needed for working with special functions in applied mathematics, physics and engineering. This book gives more than a selection of formulas. In the many exercises hints for solutions are often given. In order to keep the book to a modest size, no attention is paid to special functions which are solutions of periodic differential equations such as Mathieu and Lamé functions; these functions are only mentioned when separating the wave equation. The current interest in  $q$ -hypergeometric functions would justify an extensive treatment of this topic. It falls outside the scope of the present work, but a short introduction is nevertheless given.

Today students and researchers have computers with formula processors at their disposal. For instance, Maple, Matlab and Mathematica are powerful packages, with possibilities of computing and manipulating special functions. It is very useful to exploit this software, but often extra analysis and knowledge of special functions is needed to obtain optimal results.

At several occasions in the book I have paid attention to the asymptotic and numerical aspects of special functions. When this becomes of a too specialistic nature the references to recent literature are given. In a separate chapter the stability aspects of recurrence relations for several special functions are discussed. It is explained that a given recurrence relation cannot always be used for computations. Much of this information is available in the literature, but it is difficult for beginners to locate.

Part of the material for this book is collected from well-known books, such as from Hochstadt, Lebedev, Olver, Rainville, Szegő and Whittaker & Watson. In addition to these I have used Dutch university lecture notes, in particular those by Prof. H.A. Lauwerier (University of Amsterdam) and Prof. J. Boersma (Technical University Eindhoven).

9. M. ZIJLEMA, *Computational Modeling of Turbulent Flow in General Domains*, Proefschrift, TUD, 1996.

*Samenvatting:*

Voor vele praktische stromingsproblemen is het niet eenvoudig een oplossing te vinden voor de Navier-Stokes vergelijkingen. Vaak is het niet mogelijk de vergelijkingen zodanig te vereenvoudigen dat een analytische of benaderende oplossing gevonden kan worden. Bovendien is voorspelling door middel van experimenteren een vrij dure aangelegenheid. Berekeningsmethoden zijn daarom zeer gewenst. Daarnaast willen we de stromingsberekeningen kunnen uitvoeren in gecompliceerde geometrieën. In allerlei waterbouwkundige en industriële toepassingen zijn stromingen over het algemeen turbulent. Een sinds ruim twintig jaar veel gebruikte methode om turbulente stromingen te berekenen maakt gebruik van turbulentiemodellen voor zowel de kleinschalige als ook de grootschalige turbulente bewegingen. Deze methode is vrij goed geschikt voor de meeste technische toepassingen van de stromingsleer.

In dit proefschrift wordt een onderzoek beschreven naar numerieke modellering voor de berekening van incompressibele, turbulente stromingen in algemene gebieden, geschikt voor industriële toepassingen. Een veelvuldig gebruikt principe in de wiskundige modellering van turbulentie is het zogenaamde eddy-viscosity concept. Hierin wordt verondersteld dat het turbulente transport van een fysische grootte het produkt is van een turbulente diffusiecoëfficiënt ("eddy-viscosity") en de gradiënt van de betreffende grootte loodrecht op het vlak waardoor het transport plaats vindt. Voor de beschrijving van de turbulente diffusiecoëfficiënt zijn diverse modellen ontwikkeld. De bekendste daarvan zijn de zogenaamde twee-vergelijking modellen, waarvan drie varianten in het tweede hoofdstuk worden bestudeerd, te weten: het standaard  $k-\epsilon$  model, het RNG geformuleerde  $k-\epsilon$  model en het Wilcox  $k-\omega$  model. Dergelijke modellen behelzen transportvergelijkingen voor twee grootheden die de turbulentie karakteriseren. Bij de eerste twee genoemde modellen wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde logaritmische wandwet voor hydraulische

gladde of ruwe wanden om rekentijd en geheugen te besparen. Het  $k-\omega$  model is vooral interessant vanwege de mogelijke toepassing van de noslip voorwaarde terwijl de coëfficiënten van de termen niet afhangen van turbulente Reynoldskentallen.

Teneinde stromingsberekeningen in willekeurige gebieden uit te voeren zijn de bewegings- en turbulentievergelijkingen in algemene coördinaten beschouwd. Voor de formulering van de vergelijkingen in algemene coördinaten is tensoranalyse onontbeerlijk. Enkele fundamentele aspecten van de tensoranalyse worden in het tweede hoofdstuk besproken.

Hoofdstuk 3 behandelt allereerst een literatuurstudie van numerieke methoden voor het berekenen van turbulente stromingen in gecompliceerde geometrieën. Hierin treft men een aantal keuzes aan die voor het uitvoeren van berekeningen van belang zijn, zoals nauwkeurigheid, stabiliteit en efficiëntie. Er moeten veelvuldig afwegingen worden gemaakt tussen de Cartesische en rooster-georiënteerde snelheidscomponenten. Behalve in de keuze van onbekenden speelt de keuze van de ligging van de onbekende variabelen in het rekenrooster ("staggered grid" versus "collocated grid") een belangrijke rol. Bij het onderzoek heeft de nadruk gelegen op de ontwikkeling van twee- en drie-dimensionale eindige volume discretisaties in algemene coördinaten op "staggered" roosters voor de incompressibele ensemble-gemiddelde Navier-Stokes vergelijkingen met de contravariante massa-fluxes als onbekenden en transportvergelijkingen voor scalaire grootheden. De geometrische grootheden worden door middelingsoperaties benaderd. Daarnaast is de aandacht gevestigd op het nauwkeurig discretiseren zodanig dat de discretisatie exact is voor constante snelheids- en scalairvelden op willekeurige kromlijnige roosters. De behandelde discretisaties worden gepresenteerd in het derde hoofdstuk.

In hoofdstuk 4 wordt speciaal aandacht besteed aan de numerieke behandeling van de convectie- en diffusietermen in de transportvergelijking voor een scalaire grootheid. Dit is van essentieel belang voor twee-vergelijking turbulentiemodellen. In het bijzonder wordt gekeken naar condities voor het positief blijven van turbulente parameters. Een goede numerieke weergave van convectie is een belangrijk probleem omdat er nogal wat tegenstrijdige eisen gesteld kunnen worden, zoals nauwkeurigheid, monotoniciteit, efficiëntie en algebraïsche eenvoud. Dit hoofdstuk bespreekt de zogenoemde flux-limiting techniek om de scalaire grootheden nauwkeurig en oscillatie-vrij te kunnen berekenen. Tevens is een verbetering van een bestaand schema ontwikkeld dat kan wedijveren met bestaande upwindtechnieken. Aan de hand van een aantal karakteristieke testproblemen zijn de voor dit proefschrift belangrijke upwind schema's aan de tand gevoeld. Hierbij wordt er gelet op: 1) de numerieke nauwkeurigheid, 2) de rekeninspanning en 3) de mogelijkheid om negatieve oplossingen te vermijden. Dit wordt besproken in het zesde hoofdstuk.

Hoofdstuk 5 geeft een korte beschrijving van de numerieke technieken die gebruikt zijn om de randvoorwaarden te behandelen en het stelsel verge-



lijkingen op te lossen. Tevens wordt een globale schets van een algehele oplossingsstrategie gepresenteerd.

De numerieke methode wordt gedemonstreerd aan de hand van stromingsberekeningen in een aantal twee-dimensionale gecompliceerde gebieden. Tevens worden er voorbeelden met rechthoekige niet-uniforme dan wel onregelmatige roosters doorgerekend. De resultaten zijn opgesomd in de hoofdstukken 6 en 7 en zijn vergeleken met de meetresultaten uit de literatuur en geanalyseerd. De vergelijking is zeer bevredigend te noemen. Aan het eind van hoofdstuk 7 is een voorbeeld van een drie-dimensionale laminaire stroming gepresenteerd.

Conclusies over het gedane werk en de aanbevelingen voor het verdere onderzoek worden gedaan in hoofdstuk 8.

### 3 Promoties

- RUG 13-5-1996: M.I. Gerritsma  
*Time Dependent Simulation of Visco-Elastic Flow on a Staggered Grid*  
promotor: A.E.P. Veldman
- 
- TUD 19-6-1996: H.C. Raven  
*A Solution Method for the Non-Linear Ship Wave Resistance Problem*  
promotor: A.J. Hermans
- 
- TUE 14-10-1996: P.J.J. Ferket  
*Solving Boundary Value Problems on Composite Grids with an Application to Combustion*  
1e promotor: R.M.M. Mattheij  
2e promotor: P.W. Hemker  
co-promotor: A.A. Reusken
- 
- UvA 17-6-1996: M. van Loon  
*Numerical Methods in Smog Prediction*  
promotor: P.J. van der Houwen  
co-promotoren: J.G. Verwer en F.A.A.M. de Leeuw (RIVM)
-

## 4 Onderzoeksprojecten

CWI   titel:                *Parallel IVP Algorithms*  
       periode:            1990 - 1997  
       projectleider:     P.J. van der Houwen  
       medewerkers:     B.P. Sommeijer, W.M. Lioen, J.J.B. de Swart (OIO)  
                               en W.A. van der Veen (OIO)  
       samenwerking:     met W. Hoffmann (UvA) en M.N. Spijker (RUL)  
       gebruikers:        Philips en UT  
       financiering:      STW, Thomas Stieltjes Institute for Mathematics en  
                               UVA

---

      titel:                *Three-Dimensional Transport Modelling*  
       periode:            1993 - 1997  
       projectleider:     P.J. van der Houwen  
       medewerkers:     B.P. Sommeijer en J. Kok  
       gebruikers:        Cray Research  
       financiering:      EEC/NOWESP en Cray Research

---

      titel:                *Algorithms for Atmospheric Flow Problems*  
       periode:            1992 - 1997  
       projectleider:     J.G. Verwer  
       medewerkers:     W.H. Hundsdorfer, J.G. Blom, M. van Loon en E.J.  
                               Spee (OIO)  
       samenwerking:     met RIVM, KNMI, IMAU en EMEP  
       gebruikers:        RIVM, KNMI, IMAU en Cray Research  
       financiering:      RIVM en CRAY Research

---

      titel:                *Parameter-Identificatie en Modelanalyse voor Niet-  
                               Lineaire Dynamische Systemen*  
       periode:            1 mei 1993 - 30 april 1997

projectleider: P.W. Hemker  
 medewerkers: C.T.H. Everaars, R. van Liere en W.J.H. Stortelder  
 gebruikers: Gist Brocades N.V., IPL-TNO, DSM Research, SRTCA (v/h KSLA), Akzo Research, TUD en Nederlands Kankerinstituut  
 financiering: STW

---

titel: *Parallel Numerical Algorithms for Large Generalized Non-Hermitian Eigenvalue Problems in Linear Magnetohydrodynamics*  
 periode: 1 januari - 31 december 1996  
 projectleider: H.J.J. te Riele  
 medewerker: M. Nool  
 financiering: NCF/Cray Research

---

titel: *Parallel Computational Magneto-Fluid Dynamics: Non-Linear Dynamics of Thermonuclear, Astrophysical, and Geophysical Plasmas and Fluids*  
 samenwerking: Dit onderzoek valt binnen het kader van het gelijknamige MPR cluster-project waar naast het CWI de volgende instituten aan deelnemen: FOM-Instituut voor Plasmafysica Rijnhuizen; Mathematisch Instituut, Sterrenkundig Instituut, Fysische Informatica en Geodynamisch Onderzoeksinstituut van de Universiteit Utrecht; Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht; Vakgroep Fysische Informatica TU Delft.  
 periode: 1 maart 1996 - 28 februari 1998  
 projectleider: H.J.J. te Riele  
 medewerker: nog aan te stellen postdoc  
 financiering: NWO

---

CWI/  
 RUL titel: *Numerieke Getaltheorie: Het Ontbinden van Grote Gehele Getallen in Priemfactoren*

periode: 1 oktober 1992 - 30 september 1996  
 projectleiders: H.J.J. te Riele / R. Tijdeman  
 medewerker: R.M. Huizing (OIO)  
 financiering: NWO

---

CWI/  
 UU

titel: *Design and Analysis of Domain Decomposition-Based Preconditioning Techniques for Large Sparse Linear Systems of Equations and Linear Eigenproblems*  
 periode: vier jaar, te starten bij aanstelling OIO  
 projectleiders: H.J.J. te Riele / G.L.G. Sleijpen  
 medewerker: nog aan te stellen OIO  
 financiering: NWO

---

IMAU

titel: *Parallele Methodes voor Atmosferische Verspreiding en Chemie*  
 periode: 1993 - 1997  
 projectleider: W. Lourens  
 medewerkers: G.C. Crone, A. van Hees en C.B. Vreugdenhil  
 samenwerking: CWI (CIRK project)  
 financiering: eerste geldstroom

---

IMAU/  
 UU/  
 RUG

titel: *Niet-Lineaire Analyse van Grootschalige Oceaan-Circulatie en Turbulente Stroming door middel van Continueringsmethodes*  
 periode: 1 januari 1995 - 1 januari 1997  
 projectleiders: A.E.P. Veldman (RUG) / H. A. van der Vorst (UU) / C.B. Vreugdenhil (IMAU)  
 medewerkers: J.L.M. van Dorsselaer en G. Tiesinga (OIO)  
 financiering: NWO

---

- KUN titel: *Adaptive Mesh Refinement Methods for Linear and Nonlinear Partial Differential Equations*  
 periode: 1 februari 1995 - 1 februari 1999  
 projectleider: A.O.H. Axelsson  
 medewerkers: M. Nikolova  
 financiering: KUN
- 
- RUL titel: *Numerieke oplossing van beginwaardeproblemen*  
 periode: 1 november 1971 -  
 projectleider: M.N. Spijker  
 medewerkers: J.A. van de Griend, K.J. in 't Hout (KNAW-onderzoeker), F.A.J. Straetemans (AIO), S. Tracogna (Postdoc, 1/9/1996 - 1/9/1997)  
 financiering: 1e en 2e geldstroom
- 
- titel: *Analyse en Constructie van Numerieke Algoritmen voor het Oplossen van Differentiaalvergelijkingen*  
 periode: 1 juli 1995 - 1 juli 1998  
 medewerker: K.J. in 't Hout  
 financiering: KNAW
- 
- TUE titel: *Viscous flow and glass morphology*  
 periode: 1989 - 1998  
 projectleider: R.M.M. Mattheij  
 medewerkers: J.K.M. Jansen, P.J.P.M. Simons (TWAIO), W.A. van den Broek (OIO)  
 samenwerking: TUE-W, Philips Nat.Lab., TNO-TPD, Verenigde Nederlandse Glasfabrieken  
 financiering: TUE/Verenigde Nederlandse Glasfabrieken
- 
- titel: *Numerical simulation of laminar flames*  
 periode: 1993 - 1998  
 projectleiders: J.H.M. ten Thije Boonkamp, R.M.M. Mattheij

medewerker: B. van 't Hof (OIO)  
 samenwerking: TUE-W, Gastec  
 financiering: Gastec

---

titel: *Multigrid/large systems/parallel computing*  
 periode: 1992 - 1999  
 projectleiders: A.A. Reusken, R.M.M. Mattheij  
 medewerker: P.J.J. Ferket (OIO), vacature (AIO)  
 samenwerking: P.A.J. Hilbers (TUE-Inf)  
 financiering: TUE/Stevin Centrum

---

titel: *Turbulating cooling holes*  
 periode: 1994 - 1997  
 projectleiders: J.K.M. Jansen, R.M.M. Mattheij  
 medewerker: M.J. Noot (OIO)  
 samenwerking: TUE-W/TUE-N/ELDIM  
 financiering: ELDIM

---

titel: *Flow in porous media*  
 periode: 1996 - 1999  
 projectleiders: E.F. Kaasschieter, R.M.M. Mattheij  
 medewerker: J.J.G. Buschgens (OIO), A.J.H. Frijns (AIO/OIO)  
 samenwerking: TUE-W, RL, TUE-N  
 financiering: Interuniversitair project TUE-RL, Techniek voor  
 Duurzame Ontwikkeling

---

titel: *Contour dynamics*  
 periode: 1994 - 1997  
 projectleider: R.M.M. Mattheij  
 medewerker: P.W.C. Vosbeek (AIO)  
 samenwerking: TUE-N  
 financiering: TUE-Wsk/TUE-N

---

titel: *Object oriented interactive systems for finite element methods*  
 periode: 1996 - 2000  
 projectleiders: J.K.M. Jansen, C.W.A.M. van Overveld  
 medewerker: A. Telea (AIO)  
 samenwerking: TUE-INF  
 financiering: TUE

---

UvA titel: *Multivariate Approximation*  
 periode: 1 september 1971 -  
 projectleider: Th.J. Dekker  
 medewerkster: P.R. Pfluger  
 samenwerking: met R.M.J. van Damme (UT), B. Mulansky (University of Dresden), M. Neamtu (Vanderbilt University) en C.R. Traas (UT)  
 gebruikers: algemeen  
 financiering: eerste geldstroom

---

titel: *Numerical Linear Algebra for Vector- and Parallel Systems*  
 periode: 1 september 1971 -  
 projectleider: W. Hoffmann  
 medewerker: Th.J. Dekker  
 samenwerking: met H.A. van der Vorst (UU)  
 gebruikers: algemeen  
 financiering: eerste geldstroom

---

UT titel: *Constrained Interpolation and Approximation Using Splines in one and two Variables*  
 projectleider: C.R. Traas  
 medewerkers: F. Kuijt en R.M.J. van Damme  
 periode: 16 oktober 1994 - 16 oktober 1998  
 gebruikers: Philips



financiering: STW (NWO)

## 5 Bijeenkomsten

- CWI   titel:            *NW-Werkbesprekingen*  
 frequentie:        tweewekelijks, op woensdag, van 16.00 - 17.00 u.  
 inlichtingen:     W.H. Hundsdorfer (020-5924096, willem@cwi.nl)
- 
- titel:            *Topics in Environmental Mathematics*  
 frequentie:        Symposia, driemaal per jaar  
 inlichtingen:     J.G. Verwer (020-5924095, janv@cwi.nl),  
                           J. Kok (020-5924107, jankok@cwi.nl)
- 
- titel:            *Werkgroep Grootschalig Rekenen*  
 frequentie:        twee- tot driewekelijks, op woensdag- of vrijdag-  
                           ochtend.  
 inlichtingen:     H.J.J. te Riele (020-5924106, herman@cwi.nl),
- 
- KUN   titel:            *Colloquium Numerieke Wiskunde*  
 frequentie:        wekelijks op donderdag, van 13.45–14.45  
 inlichtingen:     R.P. Stevenson (080-3652296, stevenso@sci.kun.nl)
- 
- RUL   titel:            *Colleges over de Numerieke Oplossing van Begin-  
 waardeproblemen*  
 plaats:            Mathematisch Instituut van de Rijksuniversiteit Lei-  
                           den, Niels Bohrweg 1, Leiden; Zaal 402  
 frequentie:        (waarschijnlijk) 11 keer, vanaf 19 september 1996:  
                           wekelijks op donderdag, van 11.15–13.00 en van  
                           13.45–15.30  
 inhoud:            Het Thomas Stieltjes Instituut organiseert in samen-  
                           werking met de Werkgemeenschap Numerieke Wis-  
                           kunde in het najaarssemester 1996 een reeks colle-  
                           ges over numerieke methoden voor het oplossen van  
                           beginwaardeproblemen. Deze colleges zijn bestemd  
                           voor AIO's, OIO's, gevorderde studenten en andere  
                           belangstellenden.

Met bovengenoemd onderwerp als centraal thema is het college in twee delen gesplitst:

(i) 's Ochtends worden theoretische aspecten behandeld. Docent is prof.dr. M.N. Spijker (Rijksuniversiteit Leiden).

Titel: *Numerieke Stabiliteits Theorie*

Inhoud: Het college gaat over het numeriek oplossen van beginwaardeproblemen bij gewone en partiële differentiaalvergelijkingen. Een kardinale vraag bij de betreffende numerieke processen is steeds of zij zich stabiel gedragen. Hier wordt met stabiel bedoeld: lokale (af rond-)fouten, die in het numerieke proces geïntroduceerd worden, planten zich gunstig (d.i. matig) voort. In dit college worden recente theorieën behandeld waarmee a-priori bepaald kan worden of een gegeven numeriek proces stabiel is. De volgende onderwerpen komen achtereenvolgens aan de orde:

1. Diffusie, convectie, chemische reacties en bijbehorende partiële differentiaalvergelijkingen.
2. Semi-discretisering (methode der lijnen); "up-wind" discretisering.
3. Basisconcepten uit analyse en lineaire algebra: booglangte, Dunford-Taylor integraal,  $\epsilon$ -pseudo eigenwaarden, logaritmische norm, algemeen numeriek bereik van een matrix.
4. Stabiliteit voor een familie van matrices, eigenwaarde criterium, resolvent voorwaarde van Kreiss, resultaten van LeVeque & Trefethen, McCarthy & Schwartz, en anderen.
5. Stabiliteitsanalyse met behulp van stabiliteitsgebieden in  $\mathbb{C}$ , recente resultaten o.a. van Reddy & Trefethen, Lubich & Nevanlinna, Crouzeix et al., Kreiss & Wu, Palencia.

(ii) 's Middags zal het accent liggen op meer praktische facetten van het onderwerp. Docent is dr. W. Hundsdorfer (CWI, Amsterdam).

Titel: *Numerieke methoden voor advection-diffusie-reactie vergelijkingen*

Inhoud: Aan de hand van chemische transportvergelijkingen zoals die voorkomen in atmosferische luchtvervuilingsmodellen komen de volgende onderwerpen aan de orde:

1. Advection-diffusie vergelijkingen: eindige differentie/volume methoden; gemodificeerde vergelijkingen; wiggles en positiviteit.
2. Reactievergelijkingen: impliciete methoden voor stijve problemen.
3. Splitting methoden: combinaties van bovenstaande methoden en de daarbij optredende fouten.
4. Lokale rooster verfijning en variabele stapgrootten.

Hoewel beide onderdelen op elkaar zijn afgestemd, zijn ze ook afzonderlijk te volgen. Na afloop van elk van bovengenoemde hoorcolleges wordt de mogelijkheid geboden met de docenten van gedachten te wisselen omtrent de behandelde stof.

inlichtingen: M.N. Spijker (071-5277132,  
spijker@wi.leidenuniv.nl) &  
W.H. Hundsdorfer (020-5924096, willem@cwi.nl)

---

titel: *Symposium Numerieke Oplossing van  
Beginwaardeproblemen*

tijd: 9 december 1996

inhoud: In dit symposium zullen zowel theoretische als praktische aspecten worden belicht van numerieke oplossingsmethoden voor beginwaardeproblemen bij gewone en partiële differentiaalvergelijkingen.

inlichtingen: M.N. Spijker (071-5277132,  
spijker@wi.leidenuniv.nl) &  
K.J. in 't Hout (071-5277126, hout@wi.leidenuniv.nl)

---

TUE titel: *Werkseminarium Numerieke Wiskunde*

plaats: TUE  
frequentie: tweewekelijks op woensdag, van 11.30-12.30 u.  
inlichtingen: A. Reusken (040-2474358, wsanar@win.tue.nl)

---

UvA/  
UT      werkgroep: *Spline Approximaties and Geometric Design*  
         plaats: UvA  
         frequentie: zeswekelijks  
         inlichtingen: C.R. Traas (053-4893408,  
                         traas@math.utwente.nl)

---

## 6 Buitenlands bezoek

### 6.1 Recente en komende buitenlandse bezoekers

- |       |            |   |
|-------|------------|---|
| RUG   | gast:      | Y. Saad (University of Minnesota, USA)            |
|       | gastheer:  | E.F.F. Botta                                      |
|       | periode:   | 20 – 24 september 1996                            |
| <hr/> |            |   |
|       | gast:      | P.A. Forsyth (University of Waterloo, Canada)     |
|       | gastheer:  | E.F.F. Botta                                      |
|       | periode:   | 30 september – 2 oktober 1996                     |
| <hr/> |            |   |
| RUL   | gast:      | D.J. Higham (University of Strathclyde, UK)       |
|       | gastheer:  | K.J. in 't Hout                                   |
|       | periode:   | 30 september – 11 oktober 1996                    |
| <hr/> |            |   |
|       | gast:      | B. Welfert (Arizona State University, Tempe, USA) |
|       | gastheer:  | M.N. Spijker                                      |
|       | periode:   | 1 oktober 1996 – 1 september 1997                 |
| <hr/> |            |   |
| UT    | gast:      | L. Alboul (Moscow University 'RUDN')              |
|       | gastheren: | C.R. Traas, R.M.J. van Damme                      |
|       | periode:   | 1 december 1995 - 1 december 1996                 |
| <hr/> |            |   |
|       | gast:      | B. Müller (ETH Zürich)                            |
|       | gastheer:  | P.J. Zandbergen                                   |
|       | periode:   | 1 oktober 1996 - 1 juli 1997                      |
| <hr/> |            |   |
| UU    | gast:      | M.J. Baines (Univ. of Reading, England)           |
|       | gastheer:  | P.A. Zegeling                                     |

periode: 22 - 25 februari 1996

---

## 6.2 Recente en komende buitenlandse verblijven

|           |                |  |
|-----------|----------------|--|
| Aachen    | gast:          | R.P. Stevenson (KUN)                     |
|           | gastheer:      | W. Dahmen, RWTH Aachen                   |
|           | periode:       | 11 - 12 juli 1996                        |
| <hr/>     |                |  |
| Cambridge | gast:          | E. de Sturler (12)                       |
|           | gastheer:      | V. Strumpen , MIT                        |
|           | periode:       | 14 - 18 oktober 1996                     |
| <hr/>     |                |  |
| Freiburg  | gast:          | P.A. Zegeling (UU)                       |
|           | gastinstituut: | Graduierten-Kolleg, Universität Freiburg |
|           | periode:       | 20 - 24 november 1996                    |
| <hr/>     |                |  |
| Rehovot   | gast:          | C.H. Venner (29)                         |
|           | gastheer:      | A. Brandt, Weizmann Institute of Science |
|           | periode:       | 15 november - 15 december 1996           |
| <hr/>     |                |  |
| Stanford  | gast:          | E. de Sturler (12)                       |
|           | gastheer:      | G.H. Golub, Stanford University          |
|           | periode:       | 16 - 19 april 1996                       |
| <hr/>     |                |  |

## 7 Ledeninformatie

### 7.1 Presidentschap KNAW

Prof.dr.ir. P.J. Zandbergen (UT) is per 1 mei benoemd tot president van de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen.

### 7.2 KIVI Speurwerkprijs

Aan prof.dr.ir. G.S. Stelling (WL(a)) is door het Koninklijk Nederlands Instituut van Ingenieurs de Speurwerkprijs 1996 toegekend.

### 7.3 Mutaties

**Nieuw:** RUG ir.drs. J. Gerrits

---

TUD prof.dr.ir. A.W. Heemink  
ir. E.A.H. Vollebregt

---

UT dr. H. Lu  
dr. P. Strating

---

(25) dr. S. Vandewalle

---

(38) drs. P. Brand  
ir. A.C.J. Venis  
ir. E. de Vries

---

(39) prof.dr.ir. H. Deconinck

---

(41) dr.ir. J. Steelant

---

(42) dr.ir. J.G. Wissink

---



|                    |                       |   |
|--------------------|-----------------------|---|
| <b>Verhuisd:</b>   | van IMAU naar (44)    | ir. C. Beets  |
|                    |                       | _____   |
|                    | van Bristol naar (32) | dr. J.H. Brandts                                    |
|                    |                       | _____   |
|                    | van UU naar PhNL      | drs. M.N. Kooper                                    |
|                    |                       | _____   |
|                    | van TUD naar (43)     | dr. R.R.P. van Nooyen                               |
|                    |                       | _____   |
|                    | van RUG naar CWI      | dr.ir. A. van der Ploeg                             |
|                    |                       | _____   |
|                    | van TUD naar (40)     | dr.ir. L. Timmermans                                |
|                    |                       | _____   |
| <b>Uit dienst:</b> | TUE                   | ir. S.L. de Snoo                                    |
|                    |                       | _____   |
|                    | UT                    | dr.ir. J. Broeze<br>dr.ir. M. Streng                |
|                    |                       | _____   |
|                    | WL                    | drs. M. Hogeweg<br>ir. D.G. Meijer<br>dr. A.K. Otta |
|                    |                       | _____   |

## 7.4 Ledenlijst

| Naam                      | Adres | Tel.        | E-mail                |
|---------------------------|-------|-------------|-----------------------|
| Aarden, drs. J.           | KUN   | 024-3652489 |                       |
| Alkemade, dr.ir. J.A.H.   | KSEPL | 070-3112561 | alkemadej@ksepl.nl    |
| Axelsson, prof.dr. A.O.H. | KUN   | 024-3653231 | axelsson@sci.kun.nl   |
| Bakker, dr. M.            | CWI   | 020-5924172 | miente@cw.nl          |
| Bakker, dr. P.M.          | KSEPL | 070-3113141 |                       |
| Beckum, dr. F.P.H. van    | UT    | 053-4893414 | frits@math.utwente.nl |
| Beek, ir. F.A. van        | (7)   | 071-5245731 |                       |
| Beets, ir. C.             | (44)  | 0183-647052 |                       |

|                              |            |                     |                                     |
|------------------------------|------------|---------------------|-------------------------------------|
| Berg, drs. J.I. van den      | NLR(b)     | 020-5113446         | jiberg@nlr.nl                       |
| Berkenbosch, dr. A.C.        | (9)        | 0317-475270         | A.C.Berkenbosch@ato.agro.nl         |
| Bijl, ir. H.                 | TUD        | 015-2787290         | H.Bijl@math.tudelft.nl              |
| Bisseling, dr. R.H.          | UU         | 030-2531481         | bisseling@math.ruu.nl               |
| Blokland, ir. P.A.           | RWS/RIKZ   |                     |                                     |
| Blom, drs. J.G.              | CWI        | 020-5924101         | gollum@cwi.nl                       |
| Boender, drs. H.             | CWI/RUL    | 020-5924102         | henkb@cwi.nl                        |
| Boerstoeel, prof.dr.ir. J.W. | NLR(b)/TUD | 020-5113417         | via Van den Berg                    |
| Boonstra, ir. B.H.           | (10)       | 035-5855307         |                                     |
| Borsboom, dr.ir. M.J.A.      | WL         | 0527-242922         | mart.borsboom@wldelft.nl            |
| Botta, dr. E.F.F.            | RUG        | 050-3633974         | E.F.F.Botta@math.rug.nl             |
| Brakkee, dr.ir. E.           | (13)       | +49.2241142118      | erik.brakkee@gmd.de                 |
| Brand, dr. M.G.E.            | HP-Convex  | 030-2888368         | brand@nl.convex.com                 |
| Brand, drs. P.               | (38)       | 0182-536444         | peter@macsch.com                    |
| Brandts, dr. J.H.            | (32)       |                     | brandts@math.jyu.fi                 |
| Bruin, drs. R. de            | RUG-RC     | 050-3633370/3633440 |                                     |
| Burg, dr.ir. J.W. van der    | NLR(b)     | 020-5113696         | vdburg@nlr.nl                       |
| Burgers, drs. A.R.           | ECN        | 0224-564703         | burgers@ecn.nl                      |
| Buuren, ir. R. van           | UT         | 053-4893416         | r.vanbuuren@math.utwente.nl         |
| Couwenberg, ir. M.J.H.       | NLR(b)     | 020-5113418         | couwenb@nlr.nl                      |
| Crone, drs. G.C.             | (15)       | 030-2537716         | crone@fys.ruu.nl                    |
| Cuppen, dr.ir. J.J.M.        | PhMS       | 040-2762150         |                                     |
| Dam, drs. A.A. ten           | NLR(b)     | 020-5113447         | tendam@nlr.nl                       |
| Damme, dr. R.M.J. van        | UT         | 053-4893417         | vandamme@math.utwente.nl            |
| Deconinck, prof.dr.ir. H.    | (39)       | +32.23599611        | deconinck@vki.ac.be                 |
| Dekker, dr. K.               | TUD        | 015-2787291         | K.Dekker@math.tudelft.nl            |
| Dekker, prof.dr. Th.J.       | UvA        | 0251-651092 (privé) | dirk@fwi.uva.nl                     |
| Dijkstra, dr. D.             | UT         | 053-4893395         | d.dijkstra@math.utwente.nl          |
| Dijkstra, dr.ir. H.A.        | IMAU       | 030-2533276         | dijkstra@fys.ruu.nl                 |
| Dijkzeul, ir. J.C.M.         | EDS        | 070-3014654         | Dijkzeul@icim.nl                    |
| Dingemans, ir. M.W.          | WL         | 0527-242922         | maarten.dingemans@wldelft.nl        |
| Dooren, prof.dr. P. Van      | (33)       | +32.10478040        | vandooren@anma.ucl.ac.be            |
| Dorsselaer, dr. J.L.M. van   | UU         | 030-2534630         | dorssela@math.ruu.nl                |
| Driesen, ir. C.H.            | UT         | 053-4894030         | N.Driesen@math.utwente.nl           |
| Driessen, drs. M.M.A.        | PhNL       | 040-2742008         | mdries@natlab.research.philips.com  |
| Duin, ir. A.C.N. van         | UU         | 030-2531457         | vduin@math.ruu.nl                   |
| Duyn, prof.dr.ir. H. van     | CWI        | 020-5924208         | hansd@cwi.nl                        |
| Eekhof, dr. H.R.             | UT-RC      | 053-4892306         |                                     |
| Eggels, dr.ir. J.G.M.        | SRTCA      |                     | eggels1@ksla.nl                     |
| Emde Boas, dr. P. van        | UvA        | 020-5256065         | peter@fwi.uva.nl                    |
| Engelen, ir. T.J.            | PhNL       | 040-2744842         | engelen@natlab.research.philips.com |
| Everaars, drs. C.T.H.        | CWI        | 020-5924053         | ever@cwi.nl                         |
| Eijkeren, drs. J.C.H. van    | RIVM       | 030-2742164         | cwmeyk@rivm.nl                      |
| Ferket, ir. P.J.J.           | TUE        | 040-2472702         | peterf@win.tue.nl                   |
| Flokstra, ir. C.             | WL         | 0527-242922         | cor.flokstra@wldelft.nl             |
| Fokkema, dr. D.R.            | (35)       |                     | fokkema@ise.ch                      |
| Frank, J., M.Sc.             | TUD        | 015-2781692         | frank@math.tudelft.nl               |
| Frankena, dr. J.F.           | UT         | 053-4894030         | frankena@math.utwente.nl            |
| Gee, dr. M. de               | LUW        | 0317-484592         | maarten.degee@ztw.wk.wau.nl         |
| Gerrits, ir.drs. J.          | RUG        | 050-3633989         | jeroen@math.rug.nl                  |
| Gerritsen, dr.ir. H.         | WL         | 015-2569353         | herman.gerritsen@wldelft.nl         |

|                                    |           |              |                                      |
|------------------------------------|-----------|--------------|--------------------------------------|
| Gerritsma, ir. M.I.                | RUG       | 050-3633996  |                                      |
| Gerwen, ir. J.C.H. van             | PhNL      | 040-2744771  | gerwenvj@natlab.research.philips.com |
| Geurts, drs. A.J.                  | TUE       | 040-2474582  | wstanw3@heitue5.bitnet               |
| Geurts, dr.ir. B.J.                | UT        | 053-4894125  | geurts@math.utwente.nl               |
| Gijzen, dr.ir. M.B. van            | UU        | 030-2531529  | vangyzen@math.ruu.nl                 |
| Gilding, dr. B.H.                  | UT        | 053-4893372  | gilding@math.utwente.nl              |
| Ginneken, ir. C.J.J.M. van         | TUE       | 040-2474528  | c.j.j.m.v.ginneken@urc.tue.nl        |
| Gmelig Meyling, dr.ir. R.H.J. (27) |           | 0592-369111  |                                      |
| Goede, dr. E.D. de                 | WL        | 015-2569353  | erik.degoede@wldelft.nl              |
| Goossens, drs.ir. S.               | (25)      | +32.16327081 | Serge.Goossens@cs.kuleuven.ac.be     |
| Gragert, dr. P.K.H.                | UT        | 053-4893401  | gragert@math.utwente.nl              |
| Griend, dr. J.A. van de            | RUL       | 071-5277142  | vdgriend@wi.leidenuniv.nl            |
| Groen, prof.dr. P.P.N. de          | (2)       | +32.26413307 | pieter@tena2.vub.ac.be               |
| Groeneweg, drs. J.                 | (19)      | 015-2785064  | jacco@dutcvs5.tudelft.nl             |
| Groot, ir. J. de                   | (5)       | 040-2743139  | degroot@prl.philips.nl               |
| Haan, ir. B.J. de                  | RIVM      | 030-2743080  | cwmhaan@rivm.nl                      |
| Haas, ir. P. de                    | WL        | 0527-242922  | paul.dehaas@wldelft.nl               |
| Hassel, dr. R.R. van               | TUE       | 040-2474278  | reneh@win.tue.nl                     |
| Heeg, drs.ir. R.S.                 | UT        | 053-4893416  | R.Heeg@math.utwente.nl               |
| Heemink, prof.dr.ir. A.W.          | TUD       | 015-2785813  | a.w.heemink@math.tudelft.nl          |
| Heijstek, dr. J.J.                 | NLR(a)    | 0527-248463  | heystek@nlr.nl                       |
| Heinsbroek, dr.ir. A.G.T.J.        | WL        | 015-2569353  | anton.heinsbroek@wldelft.nl          |
| Hemker, prof.dr. P.W.              | CWI/UvA   | 020-5924108  | pieth@cwil.nl                        |
| Hendriks, ir. J.A.                 | VUA       | 020-5482412  |                                      |
| Herman, dr.ir. G.C.                | TUD-TA    | 015-2783825  | g.c.herman@math.tudelft.nl           |
| Hirsch, prof.dr.ir. Ch.            | (23)      | +32.26292391 | hirsch@stro10.vub.ac.be              |
| Hoekstra, ir. M.                   | MARIN     | 0317-493334  | nsho@marin.nl                        |
| Hof, ir. B. van 't Hof             | TUE       | 040-2472702  | bas@win.tue.nl                       |
| Hoffmann, dr. W.                   | UvA       | 020-5257538  | walter@fwi.uva.nl                    |
| Hogeweij, G.M.D.                   | (1)       | 030-6031224  |                                      |
| Hollander, A. den                  | (30)      | 040-2333555  |                                      |
| Hoop, prof.dr.ir. A.T. de          | TUD-EL    | 015-2785203  | de_hoop@et.tudelft.nl                |
| Hout, dr. K.J. in 't               | RUL       | 071-5277126  | hout@wi.leidenuniv.nl                |
| Hout, dr. R. van der               | AKZO      | 026-3664553  | rein.r.hout@akzo.nl                  |
| Houtman, ir. E.M.                  | (24)      | 015-2785903  | E.M.Houtman@LR.TUDelft.NL            |
| Houwen, prof.dr. P.J. van der      | CWI/UvA   | 020-5924083  | senna@cwil.nl                        |
| Huizing, drs. R.M.                 | CWI       | 020-5924102  | marije@cwil.nl                       |
| Hundsdorfer, dr. W.H.              | CWI       | 020-5924096  | willem@cwil.nl                       |
| Jacobs, ir. F.J.                   | (36)      | 070-3282313  | jacobsmn@xs4all.nl                   |
| Jansen, dr.ir. J.K.M.              | TUE       | 040-2474599  | wstanw@win.tue.nl                    |
| Jong, dr.ir. J.L. de               | TUE       | 040-2472979  | jldejong@win.tue.nl                  |
| Kaasschieter, dr. E.F.             | TUE       | 040-2472804  | wsanrk@win.tue.nl                    |
| Kan, ir. J.J.I.M. van              | TUD       | 015-2783634  | J.vanKan@math.tudelft.nl             |
| Kats, drs. J.M. van                | HP-Convex | 030-2888368  | vankats@nl.convex.com                |
| Kattenberg, dr. A.                 | KNMI      | 030-2206642  |                                      |
| Keijzer, ir. H.                    | (26)      | 0317-483641  | henriette.keijzer@bodhyg.benp.wau.nl |
| Kester, ir. J.A.Th.M. van          | WL        | 015-2569353  | jan.vankester@wldelft.nl             |
| Klopman, ir. G.                    | WL        | 0527-242922  | gert.klopman@wldelft.nl              |
| Kok, drs. J.                       | CWI       | 020-5924107  | jankok@cwil.nl                       |
| Kok, ir. J.C.                      | NLR(b)    | 020-5113445  | jkok@nlr.nl                          |
| Kok, dr. J.M. de                   | RWS/RIKZ  | 070-3114310  | dekok@rikz.rws.minvenw.nl            |

|                                |           |                |                                      |
|--------------------------------|-----------|----------------|--------------------------------------|
| Kooper, drs. M.N.              | PhNL      | 040-2743656    | kooper@natlab.research.philips.com   |
| Koren, dr.ir. B.               | CWI       | 020-5924114    | barry@cw.nl                          |
| Koster, ir. J.                 | (16)      | +33.61193021   | Jacko.Koster@cerfacs.fr              |
| Kraaijevanger, dr. J.F.B.M.    | KSEPL     | 070-3112318    | kraaijevangerj@ksepl.nl              |
| Kramer, dr.ir. M.E.            | SRTCA     | 020-6302108    | kramer6@siop.shell.nl                |
| Kruisbrink, ir. A.C.H.         | WL        | 015-2569353    | arno.kruisbrink@wldelft.nl           |
| Kuerten, dr. J.G.M.            | UT        | 053-4893396    | kuerten@math.utwente.nl              |
| Kuijt, ir. F.                  | UT        | 053-4893430    | f.kuijt@math.utwente.nl              |
| Laan, drs. C.G. van der        | (11)      |                |                                      |
| Laan-de Klerk, ir. P.          | UT        | 053-4893411    |                                      |
| Lander, J.                     | RWS/RIKZ  |                |                                      |
| Leendertse, ir. G.P.           | ECN       | 0224-564105    | leendertse@ecn.nl                    |
| Leer, prof.dr. B. van          | (14)      |                | bram@caen.engin.umich.edu            |
| Linde, dr. H.J. van            | RUG-RC    |                |                                      |
| Lioen, drs. W.M.               | CWI       | 020-5924101    | walter@cw.nl                         |
| Loon, dr.ir. M. van            | CWI       | 020-5924101    | vanloon@cw.nl                        |
| Loon, dr. P.M. van             | (22)      | 040-2744659    |                                      |
| Lu, dr. H.                     | UT        | 053-4893460    | haolu@math.utwente.nl                |
| Lugt, dr.ir. P.M.              | (31)      | 030-6075957    |                                      |
| Maarel, dr.ir. H.T.M. van der  | MARIN     | 0317-493479    | maarel@marin.nl                      |
| Markus, ir. A.A.               | WL        | 015-2569353    | arjen.markus@wldelft.nl              |
| Maten, dr. E.J.W. ter          | PhNL      | 040-2743497    | maten@natlab.research.philips.com    |
| Mattheij, prof.dr. R.M.M.      | TUE       | 040-2472080    | wstanw10@win.tue.nl                  |
| Meerbergen, dr. K.             | UU        |                |                                      |
| Meijer, dr.ir. K.L.            | WL        | 0527-242922    | karel.meijer@wldelft.nl              |
| Meijerink, drs. J.A.           | KSEPL     | 070-3113059    |                                      |
| Melissen, drs. J.B.M.          | PhNL      | 040-2743656    | melissen@natlab.research.philips.com |
| Michielse, dr.ir. P.H.         | HP-Convex | 030-2888368    | michiels@nl.convex.com               |
| Mol, ir. W.J.A.                | RIVM      | 030-2742378    | wimm@rivm.nl                         |
| Molenaar, dr. J.               | CWI       | 020-5924211    | hansmo@cw.nl                         |
| Molenaar, dr. J.               | TUE-IWDE  | 040-2474757    | jaapm@win.tue.nl                     |
| Mooiman, ir. J.                | WL        | 015-2569353    | jan.mooiman@wldelft.nl               |
| Morsche, dr. H.G. ter          | TUE       | 040-2474241    | morscheh@win.tue.nl                  |
| Mulder, dr. W.A.               | KSEPL     | 070-3112905    | w.a.mulder@siep.shell.com            |
| Mur, dr.ir. G.                 | TUD-EL    | 015-2786294    | mur@et.tudelft.nl                    |
| Mynett, dr.ir. A.E.            | WL        | 015-2569353    | arthur.mynett@wldelft.nl             |
| Neytcheva, dr. M.G.            | KUN       | 024-3652485    | neytchev@sci.kun.nl                  |
| Nieuwstadt, prof.dr.ir. F.T.M. | (18)      | 015-2781005    | f.nieuwstadt@wbmt.tudelft.nl         |
| Nool, drs. M.                  | CWI       | 020-5924101    | greta@cw.nl                          |
| Noot, ir. M.J.                 | TUE       | 040-2474578    | wsanmn@win.tue.nl                    |
| Nooyen, dr. R.R.P. van         | (43)      | 015-2786503    | R.vanNooyen@CT.TUdelft.NL            |
| Noordmans, ir. J.              | CWI       | 020-5924122    | jaapn@cw.nl                          |
| Oosterlee, dr.ir. C.W.         | (13)      | +49.2241142118 | Kees.Oosterlee@gmd.de                |
| Opheusden, dr. J. van          | LUW       | 0317-482160    | joost.vanopheusden@ztw.wk.wau.nl     |
| Ouden, ir. A.C.B. den          | ECN       | 0224-564099    | denouden@ecn.nl                      |
| Paardekooper, prof.dr. M.H.C.  | KUB       | 013-4662061    | paardeko@kub.nl                      |
| Pas, drs. R.J. van der         | (20)      | 030-6621711    | ruud@demeern.sgi.com                 |
| Peerdeman, drs. A.P.W.         | (4)       | 074-2482851    |                                      |
| Peters, ir. J.M.F.             | PhNL      | 040-2742102    | jpeters@natlab.research.philips.com  |
| Peters, dr.ir. M.C.A.M.        | KSEPL     | 070-3113173    | petersm@ksepl.nl                     |
| Petit, ir. H.A.H.              | WL        | 0527-242922    | henri.petit@wldelft.nl               |

|                                   |          |              |                                       |
|-----------------------------------|----------|--------------|---------------------------------------|
| Pfluger, dr. P.                   | UvA      | 020-5255204  | pia@fwi.uva.nl                        |
| Ploeg, dr.ir. A. van der          | CWI      | 020-5924115  | aukevdp@cwil.nl                       |
| Polak, drs. S.J.                  | PhMS     | 040-2762160  | spolak@mswe.decnet.philips.nl         |
| Polman, dr. B.J.W.                | KUN      | 024-3652862  | polman@sci.kun.nl                     |
| Postma, ir. L.                    | WL       | 015-2569353  | leo.postma@wldelft.nl                 |
| Potma, drs. K.                    | NLR(b)   |              | potma@nlr.nl                          |
| Praagman, dr. N.                  | (6)      | 010-4671361  |                                       |
| Pronk, drs. G.                    | (28)     | 070-3029302  | gerap@cmgit.uucp                      |
| Quak, ir. D.                      | TUD-EL   | 015-2786913  | quak@et.tudelft.nl                    |
| Raeven, drs. F.A.                 | UU       | 030-2531529  | raeven@math.ruu.nl                    |
| Raven, dr.ir. H.C.                | MARIN    | 0317-493438  | nsrn@marin.nl                         |
| Reusken, dr. A.A.                 | TUE      | 040-2474358  | wsanar@win.tue.nl                     |
| Riele, dr.ir. H.J.J. te           | CWI      | 020-5924106  | herman@cwil.nl                        |
| Rekers, dr.ir. G.                 | (34)     | 046-761873   | g.rekers@research.dsmnet.unisource.nl |
| Romate, dr.ir. J.E.               | SRTCA    | 020-6303400  | romate1@siop.shell.nl                 |
| Roose, dr. D.                     | (25)     | +32.16327546 | Dirk.Roose@cs.kuleuven.ac.be          |
| Rusch, drs. J.J.                  | PhNL     | 040-2742832  | rusch@natlab.research.philips.com     |
| Sauter, ir. F.J.                  | RIVM     | 030-2743155  | cwmferd@rivm.nl                       |
| Schilders, W.H.A., Ph.D.          | PhNL     | 040-2742102  | schildr@natlab.research.philips.com   |
| Schippers, dr.ir. H.              | NLR(a)   | 0527-248446  | schipiw@nlr.nl                        |
| Scholten, ir. D.J.                | UT       | 053-4893419  |                                       |
| Schulkes, dr. R.M.S.M.            | (21)     | +47-35563339 | ruben.schulkes@hre.hydro.com          |
| Schuppen, drs. R.T. van           | ACCU     |              |                                       |
| Schurer, prof.dr.ir. F.           | TUE      | 040-2472855  | wsgbanne@win.tue.nl                   |
| Segal, ir. A.                     | TUD      | 015-2785535  | g.segal@math.tudelft.nl               |
| Simons, drs. P.J.P.M.             | TUE      | 040-2475019  | simons@win.tue.nl                     |
| Sleijpen, dr. G.L.G.              | UU       | 030-2531732  | sleijpen@math.ruu.nl                  |
| Sluis, prof.dr. A. van der        | UU       | 030-2512159  | vdsluis@math.ruu.nl                   |
| Sommeijer, dr. B.P.               | CWI      | 020-5924192  | bsom@cwil.nl                          |
| Sonneveld, ir. P.                 | TUD      | 015-2783732  | P.Sonneveld@math.tudelft.nl           |
| Spee, drs. E.J.                   | CWI      | 020-5924105  | edwins@cwil.nl                        |
| Spekreijse, dr.ir. S.P.           | NLR(a)   | 0527-248361  | sspek@nlr.nl                          |
| Spijker, prof.dr. M.N.            | RUL      | 071-5277132  | spijker@wi.leidenuniv.nl              |
| Stam, H.J.                        | KSEPL    | 070-3112510  |                                       |
| Steelant, dr.ir. J.               | (41)     | +32.92643314 | Johan.Steelant@rug.ac.be              |
| Steen, drs. A. van der            | ACCU     |              |                                       |
| Stevenson, dr. R.P.               | KUN      | 080-3652296  | stevens@sci.kun.nl                    |
| Stelling, prof.dr.ir. G.S.        | WL       | 015-2569353  | guus.stelling@wldelft.nl              |
| Stijn, dr.ir. Th.L. van           | RWS/RIKZ |              | stijn@rikz.rws.minvenw.nl             |
| Stoker, ir. H.C.                  | (29)     | 053-4894014  | H.C.Stoker@wb.utwente.nl              |
| Stortelder, ir. W.J.H.            | CWI      | 020-5924122  | walterst@cwil.nl                      |
| Straetemans, drs. F.A.J.          | RUL      | 071-5277119  | francstr@wi.leidenuniv.nl             |
| Strating, dr. P.                  | UT       | 053-4893437  | P.Strating@math.utwente.nl            |
| Stroeker, dr. R.J.                | EUR      | 010-4081260  | stroeker@wis.few.eur.nl               |
| Struijs, dr.ir. R.                | (16)     | +33.61193048 | struijs@cerfacs.fr                    |
| Sturler, dr.ir. E. de             | (12)     | +41.16325566 | sturler@scsc.ethz.ch                  |
| Swart, drs. J.J.B. de             | CWI      | 020-5924093  | jacques@cwil.nl                       |
| Talman, dr. A.J.J.                | KUB      |              |                                       |
| Tan, dr. K.H.                     | WL       | 0527-242922  | Kian.Tan@wldelft.nl                   |
| Temme, dr. N.M.                   | CWI      | 020-5924240  | nicot@cwil.nl                         |
| Thije Boonkamp, dr.ir. J.H.M. ten | TUE      | 040-2474123  | tenthije@win.tue.nl                   |

|                              |        |                |                                      |
|------------------------------|--------|----------------|--------------------------------------|
| Tiesinga, ir. G.             | RUG    |                | G.Tiesinga@math.rug.nl               |
| Timmermans, dr.ir. L.J.P.    | (40)   | 030-6696864    | L.Timmermans@uk.cray.com             |
| Toose, ir. E.M.              | UT     | 053-4893430    | toose@math.utwente.nl                |
| Traas, prof.dr. C.R.         | UT     | 053-4893408    | traas@math.utwente.nl                |
| Trompert, dr.ir. R.A.        | (17)   | 030-2535071    | trompert@geof.ruu.nl                 |
| Vandewalle, dr. S.           | (25)   | +32.16327081   | stefan@cs.kuleuven.ac.be             |
| Vatvani, ir. D.K.            | WL     | 015-2569353    | deepak.vatvani@wldelft.nl            |
| Veen, ir. H.I. van der       | (37)   | 015-2842217    | vnh@bouw.tno.nl                      |
| Veen, drs.ir. W.A. van der   | CWI    | 020-5924093    | wolter@cwi.nl                        |
| Vegt, dr.ir. J.J.W. van der  | NLR(b) | 020-5113697    | vegt@nlr.nl                          |
| Veldhuizen, prof.dr. M. van  | VUA    | 020-5483537    | velm@cs.vu.nl                        |
| Veldman, prof.dr. A.E.P.     | RUG    | 050-3633988    | A.E.P.Veldman@math.rug.nl            |
| Veling, dr. E.J.M.           | RIVM   | 030-2742072    | cwmedve@rivm.nl                      |
| Ven, dr. H. van der          | NLR(b) | 020-5113633    | venvd@nlr.nl                         |
| Venis, ir. A.C.J.            | (38)   | 0182-536444    | arthur.venis@macsch.com              |
| Venner, dr.ir. C.H.          | (29)   | 053-4892488    | c.h.venner@wb.utwente.nl             |
| Verboom, dr.ir. G.K.         | WL     | 0527-242922    | gerrit.verboom@wldelft.nl            |
| Verheggen, dr.ir. T.M.M.     | SRTCA  |                | verhegg1@ksla.nl                     |
| Verstappen, dr.ir. R.W.C.P.  | RUG    | 050-3633958    | R.W.C.P.Verstappen@math.rug.nl       |
| Verwer, dr. J.G.             | CWI    | 020-5924095    | janv@cwi.nl                          |
| Vijfvinkel, drs. L.          | KUN    |                | vijfvink@sci.kun.nl                  |
| Vis, ir. M.A.                | (8)    | 020-4448112    | MA.Vis.physiol@med.vu.nl             |
| Vogels, ir. M.E.S.           | NLR(b) | 020-5113426    | vogels@nlr.nl                        |
| Vollebregt, ir. E.A.H.       | TUD    | 015-2785805    | edwin@pa.twi.tudelft.nl              |
| Vorst, prof.dr. H.A. van der | UU     | 030-2533732    | vorst@math.ruu.nl                    |
| Vos, dr. R.J.                | WL     | 015-2569353    | robert.vos@wldelft.nl                |
| Vosbeek, ir. P.W.C.          | TUE    | 040-2474285    | wsanpv@win.tue.nl                    |
| Vreman, dr.ir. A.W.          | UT     | 053-4893437    | vreman@math.utwente.nl               |
| Vreugdenhil, dr.ir. C.B.     | IMAU   | 030-2533167    | vreugdhl@fys.ruu.nl                  |
| Vries, ir. E. de             | (38)   | 0182-536444    | edwin.devries@macsch.com             |
| Vries, ir. R.W. de           | UT     | 053-4893409    | r.w.devries@math.utwente.nl          |
| Vuik, dr.ir. C.              | TUD    | 015-2785530    | c.vuik@math.tudelft.nl               |
| Wachters, dr. A.J.H.         | PhNL   | 040-2742402    | wachters@natlab.research.philips.com |
| Wasistho, ir. B.             | UT     | 053-4893418    | wasistho@math.utwente.nl             |
| Wees, dr.ir. A.J. van der    | NLR(a) | 0527-248374    | vdwees@nlr.nl                        |
| Wesseling, prof.dr.ir. P.    | TUD    | 015-2783631    | p.wesseling@math.tudelft.nl          |
| Westland, ir. J.             | NLR(a) | 0527-248447    | wstland@nlr.nl                       |
| Wiel, drs. M.C.J. van de     | PhNL   | 040-2744341    | wielvdm@natlab.research.philips.com  |
| Wijbenga, ir. J.H.A.         | WL     | 0527-242922    | anne.wijbenga@wldelft.nl             |
| Wijckmans, ir. P.M.E.J.      | TUE    | 040-2472112    | patrickw@win.tue.nl                  |
| Wilders, dr. P.              | TUD    | 015-2787291    | p.wilders@math.tudelft.nl            |
| Winter, D.T.                 | CWI    | 020-5924098    | dik@cwi.nl                           |
| Wissink, dr.ir. J.G.         | (42)   | +44.1159513866 | jan.wissink@nottingham.ac.uk         |
| Wolkenfelt, dr. P.H.M.       | (3)    |                |                                      |
| Wubs, dr.ir. F.W.            | RUG    | 050-3633994    | F.W.Wubs@math.rug.nl                 |
| Wuytack, prof.dr. L.         | UIA    |                | wuytack@UIA.UA.AC.BE                 |
| Zandbergen, prof.dr.ir. P.J. | UT     | 053-4893405    |                                      |
| Zeeuw, drs. P.M. de          | CWI    | 020-5924105    | pauldz@cwi.nl                        |
| Zegeling, dr. P.A.           | UU     | 030-2533720    | zegeling@math.ruu.nl                 |
| Zijlema, dr.ir. M.           | TUD    | 015-2787290    | m.zijlema@twi.tudelft.nl             |
| Zwier, dr.ir. G.             | UT     | 053-4893411    |                                      |

## 8 Adressen

### 8.1 Instituten en bedrijven

- ACCU      Academisch Computer Centrum Utrecht, Budapestlaan 6,  
3584 CD Utrecht. Tel.: 030-2531436.
- AKZO      Akzo Research, Afd. CRS, Velperweg 76, 6824 BM Arn-  
hem. Postbus 60, 6800 AB Arnhem. Tel.: 026-3664433.
- CWI      Centrum voor Wiskunde en Informatica, Kruislaan 413,  
1098 SJ Amsterdam. Postbus 94079, 1090 GB Amster-  
dam. Tel.: 020-5929333 of 592 en doorkiesnummer. Fax:  
020-5924199.
- ECN      Energieonderzoek Centrum Nederland, Postbus 1, 1755 ZG  
Petten. Tel.: 0224-564505.
- EDS      EDS Nederland B.V., Postbus 406, 2260 AK Leidschendam.  
Tel.: 070-3014654. Fax: 070-3207999.
- EUR      Erasmus Universiteit Rotterdam, Econometrisch Instituut,  
Burgemeester Oudlaan 50, 3602 PA Rotterdam. Postbus  
1738, 3000 DR Rotterdam. Tel.: 010-4081111.
- HP-Convex      Hewlett Packard Company, Convex Computer B.V., Eu-  
ropalaan 514, 3526 KS Utrecht. Tel.: 030-2888368, Fax:  
030-2892942.
- IMAU      Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch  
Onderzoek Utrecht, Buys-Ballot Laboratorium, Princeton-  
plein 5, 3584 CC Utrecht, Postbus 80.005, 3508 TA Utrecht.  
Fax: 030-2543163.

- KNMI Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Wilhelminalaan 10, 3732 GK De Bilt. Postbus 201, 3730 AE De Bilt. Tel.: 030-2206911.
- KSEPL Koninklijke/Shell Exploratie & Produktie Laboratorium, Volmerlaan 6, 2288 GD Rijswijk. Postbus 60, 2280 AB Rijswijk. Tel.: 070-3113911 of 311 en doorkiesnummer.
- SRTCA Shell Research and Technology Center Amsterdam, Badhuisweg 3, 1031 CM Amsterdam. Postbus 38000, 1030 BN Amsterdam. Tel.: 020-6309111 of 630 en doorkiesnummer.
- KUB Katholieke Universiteit Brabant, Subfaculteit Econometrie, Postbus 90153, 5000 LE Tilburg. Tel.: 013-4669111 of 466 en doorkiesnummer.
- KUN Mathematisch Instituut der Katholieke Universiteit Nijmegen, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen. Tel.: 024-3652986.
- LUW Vakgroep Wiskunde van de Landbouw Universiteit Wageningen, De Dreijen 8, 6703 BC Wageningen. Postbus 8003, 6700 EB Wageningen. Tel.: 0317-484385, Fax: 0317-483554.
- MARIN Maritiem Research Instituut Nederland, Postbus 28, 6700 AA Wageningen.
- NLR Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium,  
(a) Voorsterweg 31, 8316 PR Marknesse. Postbus 153, 8300 AD Emmeloord. Tel.: 0527-248444, Fax: 05274-8210.  
(b) Anthony Fokkerweg 2, 1059 CM Amsterdam. Postbus 90502, 1006 BM Amsterdam. Tel.: 020-5113113, Fax: 020-5113210.
- PhMS Nederlandse Philips Bedrijven B.V., Philips Medical Systems, Postbus 10.000, 5680 DA Best. Tel.: 040-2762014.



- PhNL Philips Research Laboratories, IST - Information and Software Technology, Applied Mathematics Group, Gebouw WL-p, Prof. Holstlaan 4, 5656 AA Eindhoven. Postbus 80.000, 5600 JA Eindhoven. Tel.: 040-2744500, b.g.g. 2744687 (IST) of 2791111 (algemeen).
- RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven. Tel.: 030-2749111 of 030-274 en doorkiesnummer.
- RUG Mathematisch Instituut der Rijksuniversiteit te Groningen, Blauwborgje 3, Postbus 800, 9700 AV Groningen. Tel.: 050-3639111, Fax: 050-3633976.
- RUG-RC Rekencentrum der Rijksuniversiteit Groningen, Universiteitscomplex Paddepoel, Postbus 800, 9700 AV Groningen. Tel.: 050-3639111.
- RUL Afdeling Wiskunde en Informatica der Rijksuniversiteit te Leiden, Niels Bohrweg 1, 2333 CA Leiden. Postbus 9512, 2300 RA Leiden. Tel.: 071-5272727 of 527 en doorkiesnummer. Fax: 071-5276985.
- RWS/RIKZ Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ), Postbus 20907, 2500 EX Den Haag. Kortenaerkade 1, 2518 AX Den Haag. Tel.: 070-3114311. Fax: 070-3114321.
- TUD Technische Universiteit Delft, Technische Wiskunde en Informatica, Mekelweg 4, 2628 CD Delft. Postbus 5031, 2600 GA Delft. Tel.: 015-2783833 of 278 en doorkiesnummer. Fax: 015-2787209.
- TUD-EL Technische Universiteit Delft, Vakgroep Electromagnetisme, Mekelweg 4, 2628 CD Delft. Postbus 5031, 2600 GA Delft. Tel.: 015-2786620, Fax: 015-2783622.
- TUD-TA Technische Universiteit Delft, Vakgroep Toegepaste Analyse, Mekelweg 4, 2628 CD Delft. Postbus 5031, 2600 GA Delft.

- TUE Onderafdeling der Wiskunde, Technische Universiteit Eindhoven, Den Dolech 2, 5612 AZ Eindhoven. Postbus 513, 5600 MB Eindhoven. Tel.: 040-2479111 of 247 en doorkiesnummer.
- TUE-IWDE Instituut Wiskundige Dienstverlening Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven, Den Dolech 2, 5612 AZ Eindhoven. Postbus 513, 5600 MB Eindhoven. Tel.: 040-2474760.
- UT Faculteit der Toegepaste Wiskunde, Universiteit Twente, Drienerlo, Postbus 217, 7500 AE Enschede. Tel.: 053-4899111 of 489 en doorkiesnummer, Fax: 053-4324981.
- UT-RC Rekencentrum der Universiteit Twente, Postbus 217, 7500 AE Enschede. Tel.: 053-4899111.
- UIA Universitaire Instelling Antwerpen, Departement Wiskunde, Campus UIA, Universiteitsplein 1, B-2610 Wilrijk, België. Tel.: + 32.38282528.
- UvA Vakgroep Wiskunde, Faculteit Wiskunde en Informatica, Universiteit van Amsterdam, Plantage Muidergracht 24, 1018 TV Amsterdam. Tel.: 020-5255200. Fax: 020-5255101.
- UU Mathematisch Instituut der Universiteit te Utrecht, Universiteitscentrum De Uithof, Budapestlaan 6, 3584 CD Utrecht. Postbus 80.010, 3508 TA Utrecht. Tel.: 030-2531430 of 253 en doorkiesnummer. Fax: 030-2531633.
- VUA Wiskundig Seminarium der Vrije Universiteit, De Boelelaan 1081, 1081 HV Amsterdam. Postbus 7161, 1007 MC Amsterdam. Tel.: 020-5489111 of 548 en doorkiesnummer.
- WL Waterloopkundig Laboratorium, Rotterdamseweg 185, 2629 HD Delft. Postbus 177, 2600 MH Delft. Tel.: 015-2858585. Fax: 015-2858582.

## 8.2 Overigen

1. FOM-Instituut voor Plasma-Fysica 'Rijnhuizen', Postbus 1207, 3430 BE Nieuwegein.
2. Vrije Universiteit Brussel, Departement Wiskunde, Pleinlaan 2, B-1050 Brussel, België.
3. Het Achtkant 8, 1906 GD Limmen.
4. Hollandse Signaalapparaten B.V., Zuidelijke Havenweg 40, 7550 GD Hengelo.
5. Nat. Lab. Philips, WY-5.05, Postbus 80.000, 5600 JA Eindhoven.
6. Ingenieursbureau Svasek B.V., Heer Bokelweg 145, 3032 AD Rotterdam. Fax.: 010-4674559.
7. Fokker Space B.V., Postbus 32070, 2303 DB Leiden, Fax: 020-071-5245725.
8. Laboratorium voor Fysiologie, Institute for Cardiovascular Research (ICaR-VU), Vrije Universiteit Amsterdam, Van der Boechorststraat 7, 1081 BT Amsterdam. Fax: 020-4448255.
9. Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek (ATO-DLO), Bornsesteeg 59, Postbus 17, 6700 AA Wageningen. Fax: 0317-412260.
10. Heereweg 9, Castricum.
11. Hunzeweg 57, 9893 PB Garnwerd.
12. SCSC-ETH Zürich, Swiss Federal Institute of Technology, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich, Zwitserland. Fax: +41.16321104
13. GMD/SCAI, Schloss Birlinghoven, Postfach 1316, D-53754 Sankt Augustin, Duitsland. Fax: +49.2241142460.
14. The University of Michigan, Department of Aerospace Engineering, François Xavier Bagnoud Building, 1320 Beal Avenue, Ann Arbor, MI 48109-2118, USA.
15. Universiteit Utrecht, Vakgroep Fysische Informatica, Buys Ballotlaboratorium, Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht.
16. CERFACS, 42, Avenue Gustave Coriolis, 31057 Toulouse, Frankrijk.
17. Universiteit Utrecht, Faculteit Aardwetenschappen, Vakgroep Theoretische Geofysica, Budapestlaan 4, 3584 CD Utrecht, Postbus 80.021, 3508 TA Utrecht.

18. Technische Universiteit Delft, Faculteit Werktuigbouwkunde, Laboratorium voor Aero- en Hydrodynamica, Rotterdamseweg 145, 2628 AL Delft. Fax: 015-2782947.
19. Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Sectie Vloeistofmechanica, Stevinweg 1, 2628 CN Delft.
20. Silicon Graphics, Veldzicht 2a, 3454 PW De Meern. Fax: 030-6621454.
21. Norsk Hydro a.s., Research Centre Porsgrunn, P.O. Box 2560, N-3901 Porsgrunn, Noorwegen.
22. Philips Research, Prof. Holstlaan 4, (Postbox WL 11) 5656 AA Eindhoven.
23. Vrije Universiteit Brussel, Dienst Stromingsmechanica, Pleinlaan 2, B-1050 Brussel, België. Fax: +32.26292880.
24. Technische Universiteit Delft, Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, Postbus 5058, 2600 GB Delft. Fax: 015-2787077.
25. Katholieke Universiteit Leuven, Afdeling Numerieke Analyse en Toegepaste Wiskunde, Departement Computerwetenschappen, Celestijnenlaan 200A, B-3001 Leuven-Heverlee, België. Fax: +32.16327996.
26. Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding van de Landbouw Universiteit Wageningen, Dreijenplein 10, 6703 HB Wageningen.
27. NAM-Assen, Afd. XEX/6, Schepersmaat 2, 9405 TA Assen.
28. CMG Den Haag B.V., Divisie Advanced Technology, Postbus 187, 2501 CD Den Haag. Fax: 070-3029300.
29. Faculteit der Werktuigbouwkunde, Universiteit Twente, Postbus 217, 7500 AE Enschede. Fax: 053-4893695.
30. Computing & Systems Consultants B.V., Gebouw Vierlander, Fellenoord 19, 5612 AA Eindhoven. Fax: 040-2333500.
31. SKF ERC B.V., Postbus 2350, 3430 DT Nieuwegein. Fax: 030-6043812.
32. Laboratory of Scientific Computing, Department of Mathematics, University of Jyväskylä, P.O. Box 35, 40351 Jyväskylä, Finland.
33. Université Catholique de Louvain, Department of Mathematical Engineering, Bâtiment Euler, 4, Avenue Georges Lemaitre, B-1348 Louvain la Neuve, België. Fax: +32.10472180.
34. DSM Research, PAC-CM, Postbus 18, 6160 MD Geleen.

35. ISE Integrated Systems Engineering AG, Technopark Zürich, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich, Switzerland.
36. Breitnerlaan 46, 2596 HC Den Haag.
37. TNO-Bouw, Numerieke Mechanica, Postbus 49, 2600 AA Delft.
38. MacNeal-Schwendler (E.D.C.) B.V., Groningenweg 6, 2803 PV Gouda. Fax: 0182-538418.
39. Von Karman Institute for Fluid Dynamics, Waterlooosteenweg 72, 1640 St-Genesius-Rode, België. Fax: +32.23599604.
40. Cray Research B.V., c/o Silicon Graphics B.V., Veldzigt 2a, 3454 PW De Meern. Fax: 030-6696899.
41. Universiteit Gent, Vakgroep Werktuigkunde en Warmtetechniek, St.-Pietersnieuwstraat 41, 9000 Gent, België. Fax: +32.92643586.
42. University of Nottingham, Dept. of Theoretical Mechanics, University Park, Nottingham, NG7 2RD, United Kingdom. Fax: +44.1159513837.
43. Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Vakgroep Waterbeheer, Milieu- en Gezondheidstechniek, Sectie Land- en Waterbeheer, Postbus 5048, 2600 GA Delft. Fax: 015-2785559.
44. Dr. van Stratenweg 748, 4105 LL Gorinchem.