

**SMC**

**nr.34, maart 1996**

---

# **Het Nummer**

**Nieuwsbrief van de  
Werkgemeenschap Numerieke Wiskunde**

**redactie: B. Koren, P. Wesseling, P.M. de Zeeuw**



## Het Nummer

Nieuwsbrief van de Werkgemeenschap Numerieke Wiskunde (WNW), verzorgd door de Stichting Mathematisch Centrum.

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

<b>Werkgemeenschapscommissie:</b>	P. Wesseling (voorzitter)	TUD
	B. Koren (secretaris)	CWI
	A.O.H. Axelsson	KUN
	J.W. Boerstoel	NLR(b)
	Th.J. Dekker	UvA
	J. de Groot	(5)
	P.W. Hemker	CWI/UvA
	P.J. van der Houwen	CWI/UvA
	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)

## Ten geleide

Voor praktisch alle informatie die wij vermelden zijn wij afhankelijk van de correspondenten in de verschillende instituten. Daarom willen wij allen die ons met het verzamelen van de gegevens geholpen hebben en ieder die aan de technische realisatie heeft meegewerkt, daarvoor bedanken.

Een ieder die e-mail wil versturen aan alle WNW-leden met een e-mail adres, kan dat zelf direct doen via het adres: [wnw-list@cw.nl](mailto:wnw-list@cw.nl).

De redactie.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Verslagen uit de Werkgemeenschap</b>	<b>5</b>
1.1	Notulen van de Werkgemeenschapscommissie-vergadering (B. Koren)	5
1.1.1	Opening	5
1.1.2	Bespreking continueringaanvraag 1996	5
1.1.3	Bespreking in 1995 aflopende NWO-projecten	5
1.1.4	Stand van zaken HPCN en MPR	5
1.1.5	Nederlands Mathematisch Congres 1996	6
1.1.6	Rondvraag	6
1.1.7	Sluiting	6
1.2	Notulen van de Woudschotencommissie-vergadering (J. Kok)	6
1.2.1	Opening	7
1.2.2	Overdracht voorzitterschap	7
1.2.3	Lokatie van komende conferenties	7
1.2.4	Onderwerpen 1996	7
1.2.5	Data / lokatie conferentie 1996	8
1.2.6	Rondvraag	8
1.3	Impressie van de twintigste Conferentie Numerieke Wiskunde, gehouden van 25 tot 27 september 1995 in het conferentiecentrum Woudschoten, Zeist (J.J.B. de Swart)	8
1.4	“CWI in Bedrijf” (J. Noordmans)	10
1.5	Het Internationale Lineaire Algebra Jaar van CERFACS (J. Koster)	12
1.5.1	Workshop Direkte Methoden, 26-29 september 1995	12
1.5.2	Workshop Eigenwaarde Berekeningen, 17-20 oktober 1995	14
1.6	42ste Bijeenkomst van de Kontaktgroep Numerieke Stromingsleer (M.N. Kooper)	17
1.7	Symposium “Eigenwaarden in Modelling” (J.B.M. Melissen)	18
1.8	Workshop “Laplace Symphony” (A. van der Ploeg)	20
1.9	Verslag van het 31ste WNW-Colloquium (B.J. Geurts)	24
1.10	Symposium “One Hundred Years of Runge-Kutta Methods” (J.F.B.M. Kraaijevanger)	25
1.11	Impressie van het SMC50 jubileum congres, gehouden op 6 en 7 februari 1996 te Amsterdam (J.J.B. de Swart)	28
1.12	“Aan lager wal geraakte” Rinnooy Kan steelt show op SMC50-symposium “De Waarde van Wetenschap” (M. Bakker)	32
1.12.1	De meerwaarde van het CWI	32
1.12.2	Feestredenaars moeten zich in acht nemen	33
1.12.3	Wiskunde: taal en teken	33
1.12.4	Wiskunde en welvaart	34
1.12.5	Zijn wiskunde en informatica te beschouwen als geesteswetenschappen?	35

<b>2</b>	<b>Publikaties</b>	<b>36</b>
2.1	Rapporten . . . . .	36
2.2	Proceedings en boekbijdragen . . . . .	39
2.3	Tijdschriftartikelen . . . . .	43
2.4	Proefschriften en boeken . . . . .	45
<b>3</b>	<b>Promoties</b>	<b>60</b>
<b>4</b>	<b>Onderzoeksprojecten</b>	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>Bijeenkomsten</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>Buitenlands bezoek</b>	<b>73</b>
6.1	Recente en komende buitenlandse bezoekers . . . . .	73
6.2	Recente en komende buitenlandse verblijven . . . . .	74
<b>7</b>	<b>Ledeninformatie</b>	<b>76</b>
7.1	Mutaties . . . . .	76
7.2	Ledenlijst . . . . .	78
<b>8</b>	<b>Adressen</b>	<b>84</b>
8.1	Instituten en bedrijven . . . . .	84
8.2	Overigen . . . . .	87

# 1 Verslagen uit de Werkgemeenschap

## 1.1 Notulen van de Werkgemeenschapscommissie- vergadering (B. Koren)

**Datum:** 25 september 1995.

**Plaats:** Conferentiecentrum Woudschoten.

**Aanwezig:** A.O.H. Axelsson, J.W. Boerstael, Th.J. Dekker, J. de Groot,  
P.W. Hemker, P.J. van der Houwen, B. Koren (secretaris),  
R.M.M. Mattheij, M.H.C. Paardekooper, M.N. Spijker,  
C.R. Traas, A.E.P. Veldman, P. Wesseling (voorzitter).

**Afwezig met kennisgeving:** M. van Veldhuizen.

### 1.1.1 Opening

20.00 u: De voorzitter opent de vergadering en heet de aanwezigen welkom.

### 1.1.2 Bespreking continueringsaanvraag 1996

De commissie is unaniem van mening dat het NWO-project waarvoor voor 1996 een continueringsaanvraag is ontvangen<sup>1</sup>, naar behoren verloopt en normaal gecontinueerd dient te worden. Wesseling kan melden dat Zijlema zeer goed vordert en op tijd zal promoveren.

### 1.1.3 Bespreking in 1995 aflopende NWO-projecten

Axelsson meldt dat de NWO-projecten die dit najaar aflopen<sup>23</sup>, met promoties zullen worden afgerond. Hij meldt dat het eerste project zeer goed is verlopen zowel qua onderwerp als inhoud. Beide promovendi zullen geen gebruik maken van de wachtgeldregeling omdat zij niet afkomstig zijn uit de Europese Unie.

### 1.1.4 Stand van zaken HPCN en MPR

De voorbije periode bestond de mogelijkheid om bij een drietal programma's subsidieaanvragen in te dienen voor onderzoeksvorstellen op het gebied van parallel rekenen (het ICES-programma uit aardgasbaten, het MPR-programma van NWO en het HPCN-aandachtsprogramma van de SMC).

Nu de toekenning van de gelden een feit is, moet achteraf geconstateerd worden dat er uiteindelijk weinig steun terecht is gekomen binnen de SMC

<sup>1</sup>nr. 611-302-024. Invariante discretiserings- en oplosmethoden voor de behoudswetten voor incompressibele stromingen (Wesseling/Zijlema).

<sup>2</sup>nr. 611-302-021. Reken- en communicatiecomplexiteit voor preconditioneringsmethoden (Axelsson/Neytcheva).

<sup>3</sup>nr. 611-302-025. Globale tijd-ruimte discretizatiemethoden (Axelsson/Lu).

(het CWI en de Landelijke Werkgemeenschappen Wiskunde). Tot de oorzaken hiervan behoren onder andere een aanzienlijke reductie van toekenningen in het ICES-programma, gepaard gaande met een verzwaring van de nadruk op het applicatie-aspect in dat programma. Voorts is de omvang van het HPCN-aandachtsprogramma van de SMC mager uitgevallen. Ook is een moeilijkheid geweest het vrijwel samenvallen van de indieningstermijnen van de drie voornoemde programma's, in sommige gevallen gepaard gaande met misverstanden rondom de te hanteren criteria. Nu de toekenningen zijn geschied, is het duidelijker geworden hoe flankerend onderzoek het beste gekozen kan worden. Op grond van het voorgaande beveelt de Werkgemeenschapscommissie van de Werkgemeenschap Numerieke Wiskunde aan om de mogelijkheden te onderzoeken om tot een ruimere ondersteuning te komen van onderzoek binnen de SMC, dat is gerelateerd aan parallel computing.

### 1.1.5 Nederlands Mathematisch Congres 1996

Het Nederlands Mathematisch Congres 1996 zal te Antwerpen worden gehouden.

### 1.1.6 Rondvraag

Voor het komende jaar wordt het volgende Werkgemeenschapsbestuur voorgesteld: P. Wesseling (voorzitter), B. Koren (secretaris) en de leden van de Woudschotencommissie 1996. In de aansluitende vergadering over de Woudschotenconferentie 1996 is besloten dat de Woudschotencommissie 1996 zal bestaan uit: A.E.P. Veldman (voorzitter), J. Kok (secretaris), P.J. van der Houwen (vice-voorzitter) en H.A. van der Vorst. Bovengenoemde samenstelling van het Werkgemeenschapsbestuur is goedgekeurd tijdens de op 26 september gehouden algemene ledenvergadering.

### 1.1.7 Sluiting

± 21.30 u: De voorzitter sluit de vergadering.

## 1.2 Notulen van de Woudschotencommissie-vergadering (J. Kok)

**Datum:** 25 september 1995.

**Plaats:** Conferentiecentrum Woudschoten.

**Aanwezig:** J.W. Boerstool, Th.J. Dekker, J. de Groot, P.W. Hemker, P.J. van der Houwen, J. Kok, R.M.M. Mattheij, M.H.C. Paardekooper, M.N. Spijker, C.R. Traas, A.E.P. Veldman, H.A. van der Vorst, P. Wesseling.



**Afwezig met kennisgeving:** M. van Veldhuizen.

**Vorbereidingscommissie 1995:** de Groot (voorz.), Mattheij, Veldman,  
van der Vorst, Kok (secr.)

### 1.2.1 Opening

Voorzitter De Groot opent de vergadering en schetst de gang van zaken bij de organisatie van de conferentie 1995. Voor beide thema's (Domeindecompositie voor iteratieve methoden, resp. Lange-termijnbenaderingen voor dynamische systemen) was de voorbereidingscommissie er tijdig in geslaagd buitenlandse deskundiger bereid te vinden tot het geven van voordrachten op de conferentie. Organisatie: Kok maakt melding van problemen met de huisvesting gezien de grote opkomst van deelnemers. Er heerst tevredenheid over de accommodatie. Het door de Wetenschappelijke Raad (WR) van de SMC toegekende bedrag is waarschijnlijk toereikend voor de reiskosten van de sprekers.

### 1.2.2 Overdracht voorzitterschap

De Groot draagt het voorzitterschap over aan (vice-voorzitter) Veldman. Deze bedankt de oude commissie voor het vele verzette werk. De benoeming van een vice-voorzitter van de voorbereidingscommissie voor de 1996-conferentie wordt uitgesteld tot de discussie over de onderwerpen.

### 1.2.3 Lokatie van komende conferenties

De Groot en Mattheij doen verslag van het zoeken naar alternatieven voor de bekende lokatie. Na opstellen van een lijst van gelegenheden die aan enkele criteria van ligging, bereikbaarheid, sfeer en prijsklasse leken te voldoen waren drie mogelijkheden nader bekeken, die met een volgorde van aanbeveling gepresenteerd worden.

In de discussie wordt vooral de centrale ligging van Zeist als voordeel bepleit, verplaatsen naar bijv. Noord-Brabant zou tot consequentie hebben op de eerste dag pas na de lunch te kunnen beginnen. Besloten wordt in de plenaire WNW-vergadering een peiling te houden. De voorzitter dankt de kleine commissie voor het verzette werk.

### 1.2.4 Onderwerpen 1996

Over de opdracht aan sprekers wordt opgemerkt dat het laatste jaar niet aan sprekers gevraagd werd om eerst een inleidende voordracht te houden, andere jaren was die inleidende voordracht soms ook te eenvoudig. Veldman stelt voor om bij de conferentie die thans plaatsvindt te bezien hoe het niveau uitvalt, en dan zo nodig in de komende uitnodigingsbrieven een nieuwe formulering te maken. Over nieuwe mogelijke onderwerpen wijst Veldman op de Laplace-symfonie, en het ook elders in de belangstelling staande onderwerp van grote

stelsels met sterk scheefsymmetrisch deel. Genoemd worden hernummeringsstrategieën en test-verzamelingen. Namen: Beauwens, Saad, Duff, Forsythe, Kincaid, Ipsen, Gutknecht, Cullum. Voor een tweede onderwerp vraagt Vedman om ideeën uit de kring HPCN/MPR. Genoemd worden het numeriek oplossen van stochastische differentiaalvergelijkingen, bijv. met stochastische bronterm, kleinste-kwadratenmethoden in relatie tot medische beeldanalyse, transportvergelijkingen (convectie-diffusie-reactie-vergelijkingen), recente ontwikkelingen voor de numerieke bepaling van eigenwaarden, nauwkeurige approximatie op onregelmatige roosters (Deconinck), gegeneraliseerde eigenwaardeproblemen (Ruhe, Van Dooren, Couzy). Na discussie over de genoemde onderwerpen wordt besloten tot:

**Thema 1:** Iteratieve methoden voor lineaire stelsels met sterk niet-symmetrische matrix,

**Thema 2:** Numerieke methoden voor transportvergelijkingen.

De suggestie wordt gedaan, voor thema 1 twee en voor thema 2 vier sprekers aan te zoeken, i.p.v. de gebruikelijke 3/3 verdeling. Besloten wordt Van der Houwen (vice-voorzitter) en Van der Vorst als leden aan de voorbereidingscommissie toe te voegen.

### 1.2.5 Data / lokatie conferentie 1996

Na bespreking van enkele randvoorwaarden wordt besloten de volgende conferentie te houden op woensdag tot vrijdag 25, 26 en 27 september 1996 (in Woudschoten).

### 1.2.6 Rondvraag

Op de vraag of met eventuele financiële meevallers een buffer kan worden gemaakt antwoordt de secretaris dat de meeste speling in de variabele kosten van sprekers zit, terwijl de financiële steun hiervoor van de WR een garantie is wat inhoudt dat een batig saldo van (steun minus kosten sprekers) weer aan de WR terugvalt. De voorzitter sluit de vergadering.

## 1.3 Impressie van de twintigste Conferentie Numerieke Wiskunde, gehouden van 25 tot 27 september 1995 in het conferentiecentrum Woudschoten, Zeist (J.J.B. de Swart)

De entree van het conferentiecentrum Woudschoten deed wat minder mooi aan dan vorig jaar. Een rondgang om het halve gebouw ontnam mij mijn richtingsgevoel alvorens toegang te verschaffen tot een nieuwe vleugel middels een klein deurtje. Van binnen was de nieuwe accommodatie een stuk comfortabeler dan de oude. De zaal waar de lezingen plaatsvonden, beschikte over

betere overheadprojectoren, stoelen en verlichting. Ook de ruimte waar de grote hoeveelheden koffie naar binnen gewerkt dienden te worden, was een stuk aangenamer. Vorig jaar riepen de gangen met kleine slaaphokjes en douches aan het eind van de gang nog de herinnering op aan werkweken van school met nachtelijke sluiptochten van jongens naar de meisjesgang en andersom. Dit jaar voelde ik me in mijn 2-persoonskamer inclusief badkamer en meersterren-allure eerder een management trainee. (Nu het salaris nog ...)

De thema's van dit jaar waren 1. Domeindecompositie voor iteratieve methoden en 2. Lange-termijn benadering voor dynamische systemen. De eerste, inleidende, lezing van Tony Chan over het eerste thema was meteen één van de beste. Met veel enthousiasme presenteerde hij op heldere wijze de basistechnieken, die de rest van de conferentie nog vaak aan bod zouden komen. Dat hij variabelen, functies en vergelijkingen allemaal 'guys' noemde, verried zijn menselijke, doch niet al te geëmancipeerde kijk op zijn vakgebied.

De lezingen van Bengtson over weersvoorspellingen bevatten een vracht aan kleurenplaatjes over lange-termijnvoorspellingen van de temperatuur op aarde, die de schaatsers onder het gezelschap deden huiveren. Misschien valt er voor ons Nederlanders nog hoop te putten uit het feit dat zijn berekeningen uitgevoerd waren met roosters, waarin heel Nederland geen enkel gridpunt had. Meteorologen zijn pragmatici en niet bang voor instabiliteiten maar rekenen gewoon door, vertrouwde hij ons toe. Zelf was hij ook voldoende pragmaticus om tijdens zijn lezing de rest van het programma wat te verschuiven teneinde zijn meegebrachte videofilm nog te kunnen tonen. Voorzitter Spijker moest al zijn eloquentie uit de kast halen om dit snode plan te verijdelen.

De Fransen werden vertegenwoordigd door P. Le Tallec (thema 1), en J.H. Laminie & F. Pascal (thema 2). Teneinde niet verward te worden met een kernproefnemer, opende de laatste zijn lezing met de opmerking dat er in Frankrijk ook wat aan 'peaceful numerical simulation' werd gedaan. Echter, het mocht niet baten: 's avonds zou de barman hem als wisselgeld een muntstuk met een anti-Frankrijksticker geven.

In twee sympathieke lezingen gaf Widlund van het Courant Institute de theoretische achtergronden van de verschillende Schwarz methoden. Ofschoon experimenten allang hebben aangetoond dat multiplicatieve Schwarz methoden krachtiger zijn dan additieve, is het nog zeer moeilijk om dit theoretisch te bewijzen. De theorie heeft hier een achterstand goed te maken op de praktijk.

De mooie stem van P. Roe uit Michigan vertelde over comprimeerbare stromingen in straalpijpen. Hoewel het niet eenvoudig is om in één dimensie te vliegen, zijn studies van het 1-dimensionale geval toch jaren gebruikt.

Buiten de lezingen van de genodigden waren er nog vijf korte voordrachten, die niet onvermeld mogen blijven. In een zeer aanschouwelijke lezing gaf Trompert van het Instituut voor Aardwetenschappen in Utrecht een beeld van wat er zich zoal onder onze voeten afspeelt aan warmteprocessen. K. Tan van het WL nam listig de gelegenheid te baat om enkele open vragen aan het publiek voor te leggen, wat een levendige - en voor de WL-delegatie waardevolle - discussie na afloop opleverde. Wat mij betreft verdiende hij de prijs voor de mooiste

slides. J. Frank, als gast verbonden aan het CWI, legde aan de hand van de Landau-Lifschitz vergelijking uit dat bij het integreren over grote tijdsintervallen, het uithoudingsvermogen van de verschillende integratoren nogal kan verschillen. P. Ferket uit Eindhoven vertelde op heldere wijze hoe voor de Poisson-vergelijking de discretisatiefout van een samengesteld rooster optimaal kan worden afgeschat. Over het werk wat in Delft gedaan wordt op het gebied van de numerieke simulatie van stromingen, werd gerapporteerd door E. Brakkee.

De vergadering van de Werkgemeenschap Numerieke Wiskunde had meer weg van een persconferentie dan van een interactieve vergadering, daar de voorzitter er fijntjes op wees dat het bestuur aan leden van een vereniging zonder contributie eigenlijk helemaal geen verantwoording verschuldigd is. Take it or leave it! Misschien waren de tegenstanders van de locatie Woudschoten door het bestuur bedreigd, of misschien waren ze niet mondig genoeg; in ieder geval werd, mede dankzij een vraagstelling die wat retorisch aandeed, besloten om volgend jaar weer naar Woudschoten te gaan. Dan zullen de thema's zijn: 1. Iteratieve methoden voor sterk-niet-symmetrische matrices en 2. Numerieke algoritmen voor transportproblemen.

's Avonds bood de kapel gelegenheid tot het drinken van een drankje, het spelen van een potje Triviant, bridge of poker. Ook werd menig wetenschaps-filosofisch boompje opgezet. Hoewel de bar op zeer christelijke tijd dichtging (wat wil je in een kapel) zorgde de bierfesautomaat toch nog voor diverse kleine oogjes aan het ontbijt. Door het slechte weer en de vroege duisternis bood het bos helaas weinig meerwaarde. Dit kwam ook door het overvolle programma, dat overdag nauwelijks een gaatje bood. Zo moest de traditionele Karel-in-'t-Hout voetbalpot 's ochtends reeds om half acht afgewerkt worden. Geheel in de geest van één der conferentiethema's werd onder kletsnatte omstandigheden het voetbaldomein gedeconcentreerd.

Al met al kan ik terugzien op een prettige conferentie en verheug ik me op Woudschoten '96. Ik ben nog lang niet uitgekeken op Woudschoten, al vraag ik me af of hetzelfde gezegd kan worden van het voetbalveld aldaar ten aanzien van ons ...

#### 1.4 "CWI in Bedrijf" (J. Noordmans)

Op vrijdag 6 oktober jl. heeft het CWI weer de jaarlijkse bedrijvendag gehouden. Het thema van de dag was "Wisselwerking in R&D". Dit thema was gekozen naar aanleiding van de onlangs door de ministeries van EZ, OCW en LNV gepubliceerde nota "Kennis in Beweging". In deze nota komen de betreffende ministeries met een aantal voornemens dat gericht is op de intensivering van de samenwerking en wisselwerking in research en development en op de verhoging van de R&D uitgaven. Maar hierover later meer. Het programma was opgedeeld in twee delen. Tijdens het ochtenddeel floreerde de wetenschap. Hierin werd een selectie van onderzoek dat is uitgevoerd op het CWI, gepresenteerd. De ochtend begon met een voordracht van Jack van Wijk (CWI/ECN) over

“computational steering” gevolgd door een voordracht van Paul Klint (CWI) over systeemrenovatie. Zijn voordracht ging eigenlijk over de vraag, hoe ga ik in bad tijdens het verbouwen van mijn badkamer. Ofwel welke methode van aanpak heeft men nodig tijdens de renovatie van zogenaamde legacy systemen (systemen die ten gevolge van ouderdom en omvang zich verzetten tegen renovatie). De eerste lezing na de pauze was van Paul Michielsen (KONI) met de titel “Rekenen aan geluidsproductie in Schokdempers”. Hij liet zien dat met behulp van de Euler-vergelijkingen -toegepast op een vereenvoudigde geometrie van een oliereservoir in een schokdemper- kan worden aangetoond dat de geluidsproductie te verklaren is door het verplaatsen van drukgolven door de olie. De laatste voordracht in het ochtenddeel was afkomstig van Jan Verwer (CWI), getiteld: “Numeriek-wiskundig milieuonderzoek op het CWI”.

In het middagdeel waren er de voordrachten vanuit het bedrijfsleven en de overheid, de meer beleidsmatige zaken dus. Op één van de onderwerpen van deze sessie zal ik wat uitgebreider ingaan. Het betreft de tweede voordracht in het middagdeel door P.G. Winters van het ministerie van Economische zaken. In zijn voordracht “Beweging in de samenwerking tussen kennisinstellingen en bedrijven” ging hij in op de nota “Kennis in Beweging”. Het eerste punt dat aangestipt werd is globalisering, dit is het feit dat door het wegvallen van de grenzen de vestigingsplaatsen van bedrijven drastisch toenemen. Dit heeft o.a. tot gevolg dat een land als Nederland het in de toekomst in nog grotere mate moet hebben van de kennisintensieve activiteiten. Echter, men ziet eerder een daling van de R&D uitgaven in Nederland. Even een paar cijfers, de R&D uitgaven zijn tussen 1988 en 1992 gedaald van 1,66% tot 1,18% van het BNP. Het aantal bedrijven dat aan R&D doet is in diezelfde tijd gedaald van 6600 tot 4300. Nederland is vooral sterk in de procesindustrie, maar wat betreft producten waarbij de kennis in het produkt zelf zit (software) is Nederland ondervertegenwoordigd. Dit is nu juist de snelst groeiende sector op dit moment. Dus moeten we onze positie in deze sector zien te verbeteren. Om dit te bewerkstelligen worden in de nota “Kennis in Beweging” drie hoofdlijnen van beleid ontwikkeld. De eerste hoofdlijn is de versterking van de basis voor innovatie, één van de meest in het oog springende middelen om dit te bewerkstelligen is de vorming van de zogenaamde topinstellingen. Bedrijven kunnen hun fundamenteel strategisch onderzoek uitbesteden aan die instellingen, die zich zullen richten op een beperkt aantal thema's van nationale allure. Het onderzoeksterrein moet dus samen met het bedrijfsleven worden bepaald. De tweede hoofdlijn betreft het verbeteren van de afstemming van vraag en aanbod. Er wordt hierbij vanuit gegaan dat het de verantwoordelijkheid van het bedrijfsleven en de kennisinstellingen is om tot samenwerking te komen. De derde hoofdlijn heeft betrekking op de signalerende en initiërende rol van de overheid met betrekking tot veelbelovende technologieën. Een voorbeeld van een dergelijke rol van de overheid kan nu al gevonden worden in de stimulering van de elektronische snelweg, met het doel Nederland, wat de informatiesector betreft, in de top drie van Europa te krijgen. Bij al deze punten speelt samenwerking tussen kennisinstellingen en bedrijven een doorslaggevende rol. In

dit proces, waarbij bedrijven en onderzoeksinstellingen samen goede initiatieven ontwikkelen speelt het CWI volgens de heer Winter al een voorname rol en zal dit in de toekomst ook blijven doen. Op gepast ambtelijke wijze besloot hij zijn voordracht met "De uitdaging voor het CWI de komende tijd zal zijn om de kennisbasis verder uit te bouwen en om te werken in samenspraak met andere kennisinstellingen aan de uitbouw daarvan tot duidelijk herkenbare kerncompetenties waaraan bedrijven zich willen commiteren".

Tussen de voordrachten door waren er diverse demonstraties van projecten die op één of andere manier de werkzaamheden op het CWI illustreerden. In het oog springende demonstraties waren die van Paul de Zeeuw en Stefan Spekreijse, hierin kon men zien hoe de aanwezige kennis op het CWI direct kon worden toegepast in een gridgeneratie-pakket dat ontwikkeld is onder supervisie van het NLR. Bij Jacques de Swart kon je een minicursus parallel rekenen doen. Aan het eind van de cursus werd numeriek een elektronische schakeling gesimuleerd. Hierbij werd er natuurlijk parallel gerekend.

Ik wil graag sluiten met de opmerking dat de afdeling NW van het CWI zich op deze dag van de goede kant heeft laten zien. Met meer dan 30% bij de demonstraties en 50% van de onderzoekspresentaties was deze afdeling prominent aanwezig.

## 1.5 Het Internationale Lineaire Algebra Jaar van CERFACS (J. Koster)

Het Internationale Lineaire Algebra Jaar begon op 1 september 1995 en duurt tot 1 september 1996. Het wordt georganiseerd door CERFACS, een onderzoekscentrum dat is gevestigd in Toulouse in Zuid-West Frankrijk, en dan met name door de leden van het Parallele Algoritmen Project, de onderzoeksgroep die zich toelegt op het ontwerp van numerieke methoden en algoritmen en hun implementatie op supercomputers. Iain S. Duff (CERFACS en Rutherford Appleton Laboratory) en Gene H. Golub (Stanford University) zijn de grondleggers van het Jaar en het wordt gesteund door een reeks van vooraanstaande onderzoekers in de wereld van de lineaire algebra.

Gedurende het Jaar zijn vier workshops gepland op het gebied van directe methoden, eigenwaarde berekeningen, lineaire algebra in optimalisatie, en iteratieve methoden. De eerste twee workshops zijn inmiddels achter de rug. Elk van de workshops trok zo'n 90 deelnemers. De rest van dit verhaal bestaat uit een kort verslag van beide workshops.

### 1.5.1 Workshop Direkte Methoden, 26-29 september 1995

De workshop Direkte Methoden werd gehouden van 26 tot en met 29 september 1995 in Toulouse. Er werd vooral aandacht besteed aan directe methoden voor het oplossen van grote ijle stelsels lineaire vergelijkingen op supercomputers, maar ook methoden voor het partitioneren van ijle matrices, het henummeren van variabelen, en kleinste-kwadraten methoden kwamen aan de orde.

De eerste dag van de workshop was meteen ook de officiële openingsdag van het Jaar en was bedoeld als een tutorial voor de industrie. De spits werd afgebeten door Iain Duff die een overzicht gaf van populaire directe methoden en bestaande software pakketten voor het oplossen van grote ijle stelsels lineaire vergelijkingen. Een voorbeeld van zo'n software pakket is SPARSPAK en Alan George belichtte enkele van de ontwerpoverwegingen die ten grondslag lagen aan dit veelgebruikte pakket. Eij gaf een paar tekortkomingen en eindigde met enkele suggesties voor een eventuele toekomstige versie. Esmond Ng presenteerde daarna een vergelijkend warenonderzoek van enkele efficiënte software pakketten voor het oplossen van ijle lineaire stelsels vergelijkingen. John Reid gaf een overzicht van de vele mogelijkheden in Fortran 90 en Fortran 95 (een revisie van Fortran 90) en liet de flexibiliteit ervan zien middels een toepassing op een ijle lineaire algebra code. Vervolgens gaf Petter Bjørstad een methode gebaseerd op superelementen voor het oplossen van zeer grote stelsels eindige elementen vergelijkingen. Hij behandelde de verschillende niveaus van parallelisme die aanwezig zijn in deze methode en berichtte over de opgedane ervaring met een parallelle implementatie. Aan het eind van zijn voordracht presenteerde hij een probleem afkomstig van een boortoren simulatie met ruim 900.000 variabelen en 20 Gigabyte geheugengebruik. Jack Dongarra tenslotte, gaf een tutorial over high-performance lineaire algebra en software bibliotheken zoals BLAS, LAPACK en ScaLAPACK. Aan het eind van de dag werden de deelnemers door CERFACS uitgenodigd voor een borrel aldaar.

De tweede dag had als thema "Parallele Methoden" en het merendeel van de lezingen had betrekking op decompositie methoden voor ijle matrices op parallelle machines met een gedistribueerd geheugen. Algoritmen voor de LU decompositie van ijle matrices werden gepresenteerd door Harry Wijshoff en Steve Kratzer. Wijshoff presenteerde een algoritme genaamd MCSPARSE waarin de ijle matrix eerst wordt getransformeerd in een matrix die voor een groot deel de structuur heeft van een blok-bovendriehoeksmatrix. Deze structuur wordt vervolgens uitgebuit tijdens de parallelle decompositie en het oplossen van de driehoeksstelsels. Algoritmen voor ijle Cholesky decompositie werden gepresenteerd door Anshul Gupta en Rob Bisseling. Laatstgenoemde gaf een algoritme gebaseerd op het Bulk Synchronous Parallel model dat is ontwikkeld aan de Universiteit van Oxford, en hij gaf enkele implementatie details voor de CRAY T3D. Patrick Amestoy presenteerde algoritmen voor LU en QR decompositie bedoeld voor shared-memory machines. Vier van de vijf sprekers presenteerden algoritmen die gebaseerd zijn op zogenaamde multifrontale technieken en hieruit blijkt dat bij de parallelisatie van directe methoden het gebruik van deze technieken momenteel zeer populair is. In de late middag was er een cocktail op het stadhuis van Toulouse en een groot deel van de tijd werd besteed aan de bewondering van de indrukwekkende zalen.

De donderdagochtend was getiteld "Hernummering & Partitionering" en er waren voordrachten van Fernando Alvarado, Tim Davis en Alex Pothen. De algoritmen die werden gepresenteerd voor het hernummeren van variabelen en het partitioneren van ijle matrices dienen voornamelijk voor het opvoeren van

de decompositie: het geheugengebruik, het potentieel aanwezige parallelisme en de executietijd van de decompositie kunnen met dergelijke algoritmen soms drastisch worden verbeterd. Alex Pothén beschreef enkele recente ontwikkelingen op het gebied van deze algoritmen. Hij probeerde tevens een betere theoretische rechtvaardiging te geven voor enkele van de algoritmen en hij gaf een paar praktische toepassingen voor het oplossen van ijle stelsels vergelijkingen. Het berekenen van een goede hernummering van de variabelen is vaak duur en daarom zijn er met behulp van heuristieken al veel pogingen ondernomen om bijna gelijkwaardige hernummeringen te vinden die een stuk goedkoper te berekenen zijn. Tim Davis gaf hiervan een voorbeeld. De donderdagmiddag was vrijgehouden voor informele discussies en/of een bezoek aan de bezienswaardigheden in het oude centrum van Toulouse.

De laatste dag van de workshop had als titel meegekregen "IJle Matrix Decomposities" en nieuwe ontwikkelingen op het gebied van QR decompositie methoden werd gepresenteerd door Jesse Barlow, Dan Pierce en Zahari Zlatev. John Gilbert en Xiaoye Li gaven beiden een lezing over SuperLU, een nieuw software pakket voor ijle LU decompositie en Joseph Liu presenteerde een nieuwe manier voor het partitioneren van matrices.

### 1.5.2 Workshop Eigenwaarde Berekeningen, 17-20 oktober 1995

De tweede workshop van het Internationale Lineaire Algebra Jaar vond plaats in Toulouse van 17 tot en met 20 oktober 1995. De workshop had als onderwerp eigenwaarde berekeningen en in de vier dagen werd voornamelijk aandacht besteed aan symmetrische en asymmetrische eigenwaarde problemen, Krylov subspace methoden en aan het rekenen met zeer non-normale matrices  $A$  ( $\|AA^* - A^*A\| \gg 0$ ) onder invloed van afrondfouten.

De eerste dag was weer een tutorial en Jean-Claude Dunyach begon met een presentatie waarin hij enkele voorbeelden gaf van grootschalige non-normale eigenwaarde problemen waarmee men bij Aerospatiale wordt geconfronteerd. Veel van deze eigenwaarde problemen ontstaan bij de stabiliteitsanalyses van fysische systemen. Als voorbeeld gaf Dunyach het zogenaamde flutter fenomeen, een vibratie die kan optreden bij bewegende voorwerpen en die wordt veroorzaakt door een externe energiebron. Vliegtuigontwerpers proberen dergelijke vibraties te voorspellen in hun modellen om ze vervolgens zoveel mogelijk te elimineren. Françoise Chaitin-Chatelin vroeg zich daarna af hoe betrouwbaar computer simulaties in de praktijk zijn. Convergentie en stabiliteitseigenschappen van numerieke methoden worden veelal bewezen onder de aarname dat de berekeningen exact worden uitgevoerd. Ze liet zien waarom en wanneer numerieke stabiliteit wordt beïnvloed door de nauwkeurigheid waarmee wordt gewerkt. In de loop van dit jaar (1996) zal er bij SIAM een boek van haar en Valérie Frayssé verschijnen, getiteld "Lecture notes on finite precision computations", waarin een theorie wordt gepresenteerd voor het rekenen met eindige nauwkeurigheid. Jim Demmel presenteerde nieuwe resultaten voor snelle en nauwkeurige eigenwaarde en SVD methoden voor symmetrische matrices.



Eerst behandelde hij een nieuwe implementatie van Cuppen's verdeel-en-heers algoritme dat aanzienlijk sneller is dan eerder gepubliceerde algoritmen. Hij beschouwde daarna een inverse iteratie methode van Fernando, Parlett en Dhillon die nog sneller belooft te zijn, en hij eindigde met nieuwe algoritmen voor het vinden van kleine eigenwaarden en kleine singuliere waarden met een relatief hoge nauwkeurigheid. John Lewis liet zien wat er zoal om de hoek komt kijken om een zogenaamde zwarte doos te ontwikkelen voor het oplossen van gegeneraliseerde symmetrische eigenwaarde problemen afkomstig uit de industrie. Nick Trefethen tenslotte, beschreef met behulp van voorbeelden wat er kan gebeuren wanneer de linearisatie van een niet-lineair probleem resulteert in een matrix of lineaire operator die verre van normaal is. Traditioneel wordt de stabiliteit van een niet-lineair systeem gedefinieerd in termen van kleine perturbaties. Als echter het gelineariseerde probleem non-normaal is, dan is een dergelijke stabiliteitsanalyse niet per definitie het juiste instrument om fenomenen te verklaren die zich in de praktijk voordoen als instabiliteiten. Anders gezegd: het systeem kan zich instabiel gedragen ondanks de gunstige distributie van de eigenwaarden. Na deze voordracht begaven de deelnemers zich met het openbaar vervoer naar het stadhuis van Toulouse alwaar men was uitgenodigd voor een cocktail georganiseerd door de gemeente.

De tweede dag van de workshop was gewijd aan asymmetrische eigenwaarde problemen. Ilse Ipsen gaf een voordracht over de berekening van een eigenvector met behulp van inverse iteraties. Ze liet zien dat voor normale matrices de convergentie van inverse iteraties strikt monotoon is en dat (bij afwezigheid van afrondfouten) voor de meeste beginvectoren een enkele iteratie reeds een eigenvector oplevert die net zo nauwkeurig is als de gegeven eigenwaarde. Daarna beschreef ze hoe veel moeilijker het allemaal wordt wanneer de matrix non-normaal is. Carl Meyer gaf vervolgens een lezing over aggregatie methoden voor bijna ontkoppelde systemen en Alan Edelman gaf een ietwat onscherp verhaal (het scherm van z'n draagbare PC werd niet optimaal geprojecteerd) over het gebruik van de geconjugeerde gradiënten methode in eigenwaarde problemen. Jennifer Scott evalueerde een aantal software pakketten voor het oplossen van grote ijle asymmetrische eigenwaarde problemen. Ze vergeleek ondermeer snelheid, geheugengebruik, nauwkeurigheid, robuustheid en gebruikersvriendelijkheid. Hoe eigenwaarden voor Toeplitz matrices met  $1 \times 2$  blokken kunnen worden berekend werd gepresenteerd door Gilbert Strang. De bijbehorende eigenvectoren werden vervolgens gebruikt voor het bewijzen van de convergentie van het "cascade" algoritme dat wordt gebruikt in de wavelet theorie. De dag werd afgesloten met een cocktail in het CERFACS gebouw.

Beresford Parlett begon de donderdagochtend met een nieuwe methode voor het oplossen van eigenwaarde problemen voor symmetrische tridiagonale matrices. Het gebruik van inverse iteraties resulteert in een  $\mathcal{O}(n^2)$  algoritme voor een  $n \times n$  matrix ware het niet dat herorthogonalisatie van de vectoren nodig is als de eigenwaarden dicht bij elkaar liggen. Parlett combineerde een aantal ideeën die deze herorthogonalisatie vermijden en gaf een aantal praktische voorbeelden. Yousef Saad behandelde een eigenwaarde probleem dat afkom-

stijg is van het modelleren van elektronische structuren. Hij beschreef de vele moeizame pogingen die werden ondernomen alvorens er werd overgestapt naar de formulering van het probleem in een eigenwaarde probleem. Gerard Sleijpen gaf een presentatie over gezamenlijk werk met Henk van der Vorst over de Jacobi-Davidson methode voor eigenwaarde en gegeneraliseerde eigenwaarde problemen. De combinatie van de Davidson methode met ideeën van Jacobi resulteert in een methode met superieure convergentie, die met succes op een veel grotere klasse van problemen kan worden toegepast dan de originele Davidson methode. De methode is niet alleen een verbetering van de methode van Davidson, maar ook van die van Olson, Arnoldi and shift-and-invert. Het gebruik van preconditioners werd ook getoond en numerieke resultaten illustreerden de kracht van deze nieuwe methode. Op donderdagmiddag stonden er geen officiële activiteiten op het programma. 's Avonds vond het workshop diner plaats in het hartje van Toulouse en op het menu stonden regionale specialiteiten zoals de foie gras (letterlijk: vette lever) en de cassoulet.

De laatste dag van de workshop was voornamelijk gewijd aan Krylov methoden. Dan Sorensen gaf een presentatie over impliciet herstarte Arnoldi/Lanczos methoden voor grote eigenwaarde problemen en hij beschreef het software pakket ARPACK met enkele praktische toepassingen. Jane Cullum presenteerde twee Lanczos varianten voor asymmetrische matrices. Zdeněk Strakoš gaf een aantal recente resultaten met betrekking tot de convergentie van Krylov subspace methoden voor non-normale asymmetrische matrices, waaronder een studie naar het verlies van orthogonaliteit bij het rekenen met afrondfouten. Valeria Simoncini analyseerde twee Krylov subspace methoden (blok Arnoldi) voor reële asymmetrische matrices. Nick Higham was de laatste spreker van de workshop. Met behulp van enkele specifieke voorbeelden en algemene principes gaf hij een helder betoog over de invloed van afrondfouten op eigenwaarde berekeningen. Hij behandelde ondermeer de berekening van de determinant van een Hessenberg matrix, de backward error als stop criterium in iteratieve methoden en gestructureerde perturbatie theorie in eigenwaarde problemen.

Meer gedetailleerde informatie over de workshops kan de lezer vinden op het Wereld Wijde Web, adres

<http://www.cerfacs.fr/~wlay/LAY/lay.html>

Naast samenvattingen van iedere voordracht zijn er ook een flink aantal artikelen en transparanten beschikbaar gesteld door de sprekers. Het internationale tijdschrift BIT zal (eind 1996) in een speciale uitgave aandacht besteden aan deze twee workshops en veel van de sprekers zullen hun werk daarin publiceren.

De resterende twee workshops zijn gepland voor de eerste helft van 1996. Een workshop over het gebruik van lineaire algebra in optimalisatie is gepland van 22 tot en met 25 april 1996 in Albi, een historisch stadje niet zo ver weg van Toulouse. Een workshop over iteratieve methoden is gepland van 10 tot en met 13 juni 1996 in Toulouse. Alle informatie over deze twee workshops is opvraagbaar via het bovengenoemde WWW adres.

## 1.6 42ste Bijeenkomst van de Kontaktgroep Numerieke Stromingsleer (M.N. Kooper)

Op 23 oktober vond de 42ste bijeenkomst van de Kontaktgroep Numerieke Stromingsleer plaats op het terrein van het onderzoekscentrum TNO, waar 42 mensen zich verzameld hadden voor een leuke lezingen-cyclus. De heer Dalhuisen van de Technisch Fysische Dienst was deze keer gastheer voor de halfjaarlijkse bijeenkomst van de kontaktgroep, die zoals gebruikelijk werd ingeleid door professor Wesseling. Hoewel professor Hanjalic van de TU Delft zich 's morgens wegens ziekte had a'ngemeld kon toch nog een volledig programma geboden worden, omdat Marcel Zijlema van de Delftse Universiteit bereid was gevonden deze spreker te vervangen. Zijn voordracht paste prima binnen het programma, wat een goede variatie aan theorie en toepassingen binnen de numerieke stromingsleer bood, en waar met name turbulentie een steeds terugkerend thema was.

De eerste voordracht was een duo-lezing van Robert Vos en Kian Tan van het Waterloopkundig Laboratorium over het gebruik van GMRES methoden in waterkwaliteit-toepassingen. Op basis van het numerieke simulatiepakket DELWAQ wordt onderzoek verricht naar chemische processen in water. Hiervoor moet over een lange tijdsperiode een reactie-vergelijking opgelost worden waarbij advection en turbulente diffusie een belangrijke rol spelen. Uitgangspunt van dit onderzoek was het vinden van een robuuste niet-lineaire solver die voor de klant bevredigende resultaten kon leveren. In de voordracht werden verschillende kanten van het probleem belicht, en een aantal oplossingsmethoden behandeld. Tot slot werden resultaten getoond van een aantal numerieke experimenten. In de tweede voordracht gaf Marcel Zijlema een overzicht van de verschillende TVD schema's die in de loop der jaren zijn ontwikkeld. TVD schema's zijn een belangrijk hulpmiddel bij het oplossen van turbulente stromingen met  $k-\epsilon$  modellering, maar kunnen, zoals bij de voordracht van Cees Beets diezelfde middag naar voren kwam, ook in verband gebracht worden met Large Eddy Simulaties. Tot slot van deze voordracht werd door de spreker een nieuw schema aan het publiek voorgelegd.

Na de lunch was het woord aan Adriaan Lankhorst van TNO-TPD, die zich bezighoudt met een interessant onderzoek naar mogelijke industriële toepassingen van zogenaamde Radiant Tube Burners (RTB), een cilindervormige tube van metaal of keramiek, welke gebruikt wordt ter verwarming van bepaalde materialen. Dit onderzoek werd uitgevoerd in samenwerking met de Gasunie, waar de experimenten werden gedaan. Met behulp van CFD simulaties werden vervolgens allerlei parameters gevarieerd om tot een optimale vorm te komen. De laatste lezing was van Cees Beets, werkzaam bij het IMAU in Utrecht. Zijn voordracht ging in op de theorie en experimenten van Large Eddy Simulaties in de atmosfeer, waarbij met name de invloeden van fotochemische smog in de convectieve grenslaag onderzocht werden. Het tweede deel van zijn voordracht ging in op het gebruik van TVD schema's bij Large Eddy Simulaties.

Na deze leuke voordrachten werd de dag op luchtige wijze beëindigd met

demonstraties van een viertal projecten van de TNO-TPD.

### 1.7 Symposium “Eigenwaarden in Modelling” (J.B.M. Melissen)

Op 10 november 1995 werd door de stichting Industriële en Toegepaste Wetenschap (ITW) een symposium gehouden over eigenwaarden. In weerwil van het specialistische onderwerp is het de organisatoren (prof.dr. H.A. van der Vorst en dr. W.H.A. Schilders) uitstekend gelukt om de ruim zeventig deelnemers een gevarieerde mix van theorie en praktische toepassingen voor te schotelen.

Namens de gastheer, Philips Research in Eindhoven, werd de opening verricht door dr.ir. J.A. Pals, lid van de directie van het Natuurkundig Laboratorium.

In de eerste voordracht gaf prof.dr. H.A. van der Vorst (Universiteit Utrecht) in sneltreinvaart een gedegen overzicht van de belangrijkste numerieke methoden voor het oplossen van matrix-eigenwaardenproblemen. Aan de orde kwamen directe methoden (decomposities), de machtmethode, de methodes van Lanczos (symmetrisch) en Arnoldi (niet-symmetrisch) en de nieuwe Jacobi-Davidson methode. Dat iteratieve methoden niet altijd op een gewenste wijze convergeren werd geïllustreerd met een schokkend wanvoorbeeld van het gedrag van Arnoldi's methode op de matrix die uit de eenheidsmatrix ontstaat door alle vectoren één plaats cyclisch door te schuiven. De oplossing wordt pas in de allerlaatste slag gevonden, terwijl er tussentijds totaal geen goede benadering is. Verdere informatie kan worden gevonden op de home pagina van Van der Vorst: <http://www.math.ruu.nl/people/vorst/vorst.html> en bij LAPACK op netlib: <http://www.netlib.org/>. Er werd nog melding gemaakt van een actie om ook voor eigenwaarden een “Templates” publicatie (<http://www.netlib.org/templates/templates.ps>) te maken, zoals die er is voor het oplossen van ijle lineaire stelsels. Het project is nog in een beginstadium.

De eerste toepassing kwam van drs. M.C.J. van de Wiel (Philips Research) op het gebied van het ontwerp van analoge elektronische schakelingen. De overdrachtsfunctie van analoge schakelingen kan worden gekarakteriseerd door de nulpunten en polen van de Laplacegetransformeerde in het frequentiedomein. Voor de oplossing van het pool-nulpuntprobleem moeten twee geeneraliseerde ijle eigenwaardevergelijkingen worden opgelost. Een soortgelijk probleem ontstaat bij de stabiliteitsanalyse. Voor het oplossen van de eigenwaardeproblemen werden verscheidene methoden vergeleken (QZ/QR voor kleine schakelingen, Partial QR Jacobi-Davidson voor grotere problemen).

Prof.dr. S.W. de Leeuw (TU Delft) behandelde twee problemen uit de Computational Chemistry. Allereerst het probleem van vibraties in amorfe materialen (bijvoorbeeld silica). Het bepalen van vibraties rond de evenwichtssituatie geeft aanleiding tot een  $3n \times 3n$  eigenwaardeprobleem (voor  $n$  atomen). De eigenschappen van het materiaal zijn vervolgens uit te drukken in gewogen sommen over eigenwaarden en -vectoren. Het tweede voorbeeld was de niet-adiabatische dynamica van elektronen in een materiaal. Een klas-

siek/quantummechanisch model levert hier een (Schrödinger) eigenwaardevergelijking. De Lanczosmethode werd op de operatorvergelijkingen toegepast om zo'n 20-25 eigenfuncties van de Hamiltoniaan te bepalen. Er werden enkele plaatjes getoond waar een electron in luttele picoseconden een "gat" voor zichzelf groef in een Heliumstelsel.

Onder de titel *Kanaalakoestiek en vliegtuiglawaai* werd het gehoor door dr. S.W. Rienstra (TU Eindhoven/IWDE) meegenomen naar de hogere sferen van de luchtvaart. Door verbeteringen aan vliegtuigmotoren als bypasses, slim afstemmen van aantallen rotor- en statorbladen en het bekleden van de motorwanden met geluiddempende materialen is het gemiddelde geluidsnivo van vliegtuigen sinds 1955 maar liefst met zo'n 20 dB verminderd. De eigenwaarden waren in het verhaal vermomd als nulpunten van Besselfuncties die tijdens de analytische berekeningen opdoken.

Prof.dr. P. van Dooren (Louvain-la-Neuve): *Model-reductie en de Lanczos methode*. Modelreductie van grote ijle control- en (recenter) circuitsimulatieproblemen die traditioneel via Hankeltransformatie en Padé-approximatie wordt gedaan, kan ook worden bereikt met Krylov projectiemethoden (niet-symmetrische Lanczos). Om instabiele oplossingen te vermijden wordt een herstartstrategie toegepast. Het één en ander werd geïllustreerd aan de hand van berekeningen voor een CD-speler.

Omdat één demonstratie meer zegt dan  $10^4$  woorden begon prof.dr. J. Arbocz (TU Delft) zijn voordracht met een experiment waarin een dunne mylar cylinder onder toenemende axiale druk plotseling in elkaar knikte. Voor structuren als bijvoorbeeld de wand van een ruimteraket kan zo iets natuurlijk catastrofaal zijn. Arbocz gaf een overzicht van berekeningen in anisotrope schalen vóór, tijdens en na zo'n kniksituatie, gebruik makend van Koiter's theorie, die het effect van initiële imperfecties op de stabiliteit beschrijft.

Alweer een CD-speler: ditmaal behandelde ir. A.J.M. Huyben (Philips Centrum voor Fabricage Technologie) het modelleren van de stootgevoeligheid van CD-spelers door middel van modale analyse (eigenwaardeprobleem!) met het eindige elementenpakket ANSYS. Tijdens deze lezing werd weer eens duidelijk dat er nog een groot gat zit tussen de meest recente algoritmische ontwikkelingen aan universiteiten en "handwerk" van de ingenieur in industriële ontwikkelingsafdelingen waar men, vaak beperkt door niet-state-of-the-art commerciële software, en allerlei praktische restricties zoals medeontwerpers die niet gehinderd worden door enige mathematische kennis, toch ingewikkelde problemen moet oplossen. Via substructuring worden te grote problemen tot behapbare brokken teruggebracht. Een positief bijeffect is nog dat dit goed past in het modulaire ontwerpproces.

De laatste lezing werd verzorgd door prof.dr. H. Goedbloed (FOM Rijnhuizen) en ging over het rekenen aan de magnetohydrodynamica van groot- en kleinschalige plasma's. Plasma's in tokamaks voor kernfusie-experimenten, plasma's in fluxbuizen in de corona van de zon en plasma's in melkwegstelsels manifesteren zich op zeer verschillende grootteschalen, maar worden toch door dezelfde vergelijkingen beschreven. Voor de studie van de stabiliteit van

plasma's moeten grote niet-symmetrische eigenwaardevergelijkingen worden opgelost. De "stabiliteit" van plasma's in tokamaks is mede dankzij dit soort berekeningen ongeveer acht ordes van grootte verbeterd.

Tijdens de pauzes van het symposium was er gelegenheid om een aantal posters te bekijken:

*Gegeneraliseerde eigenwaardeproblemen* - dr. J.G.L. Booten (CWI), over toepassing van de Jacobi-Davidson methode op testproblemen uit de magneetohydrodynamica, waar men voor het Alfvén spectrum geïnteresseerd is in de interne eigenwaarden.

Naderhand bereikte ons het tragische bericht dat Albert Booten in het weekeinde na het symposium plotseling is overleden.

*JDQR and JDQZ: Jacobi-Davidson type of algorithms for computing a number of selected eigenpairs* - Diederik Fokkema, Gerard Sleijpen (Universiteit Utrecht). Een beschrijving van QR en QZ varianten van de Jacobi-Davidson methode.

*De Jacobi-Davidson methode voor kwadratische eigenproblemen* - Femke Raeven. Een vergelijking tussen Jacobi-Davidson voor het kwadratisch eigenwaardeprobleem met Arnoldi voor het (tweemaal zo grote) equivalent lineaire eigenwaardeprobleem.

*Jacobi-Davidson: an efficient iterative eigenproblem solver allowing any preconditioning* - Diederik Fokkema, Gerard Sleijpen en Henk van der Vorst.

*De Lanczos en bi-Lanczos methode* - Hilda van der Veen (TNO/TU Delft). Beschrijving van symmetrische en niet-symmetrische Lanczos met herorthogonalisatie.

*De methode van Arnoldi.* - Karl Meerbergen (KU Leuven). Beschrijving van herstarten, Chebyshev-transformatie en shift-inversie/Cayleytransformatie om het gedrag van de Arnoldimethode te verbeteren.

*Herstart- & Truncatietechnieken* - Michiel Kooper (TU Delft). De Implicitly Updated Arnoldi Method, die door middel van een truncatietechniek impliciet herstart, wordt gebruikt om instabiele eigenwaarden te vinden voor een plasmafysisch probleem.

## 1.8 Workshop "Laplace Symphony" (A. van der Ploeg)

In 1995 was het precies 300 jaar geleden dat Johann Bernoulli werd benoemd tot hoogleraar aan de Rijksuniversiteit Groningen. Ter gelegenheid hiervan zijn in dat jaar diverse activiteiten georganiseerd, waaronder een eendaagse workshop getiteld 'Laplace Symphony', die op woensdag 15 november plaatsvond. Centraal in de workshop stond een vergelijking tussen een aantal numerieke methoden voor het oplossen van gediscretiseerde Laplace-vergelijkingen. Deze vergelijking werd uitgevoerd op één werkstation (HP 755), zodat er nu tamelijk harde uitspraken kunnen worden gedaan omtrent de performance van de verschillende methoden op dit type werkstation. Het aantal onbekenden in de testproblemen was groot ( $10^4 - 10^6$ ). Dit had tot gevolg dat (moderne) methoden gebaseerd op een complete ontbinding niet meer bruikbaar zijn. Ook bleek

dat wanneer een Poisson-vergelijking is gediscretiseerd op een uniform rooster, het op Fast Fourier en cyclische reductie gebaseerde pakket 'Fishpack' minstens een factor 10 sneller is dan de andere methoden. Voor niet-uniforme roosters kan dit pakket echter niet worden gebruikt. Verder bleken multilevel- en multigrid-achtige methoden voor de grotere stelsels vergelijkingen het meest efficiënt te zijn. Hieronder zijn de testproblemen en resultaten in meer detail weergegeven.

Van te voren waren de volgende 6 testproblemen gedefinieerd.

1. De Laplace-vergelijking op een eenheidsvierkant met overal de randvoorwaarde  $u = 0$ . Er wordt gediscretiseerd met een standaard vijfpuntsmolecuul op een uniform  $M \times M$  rooster,  $M = 256, 512, 1024$ .
2. Dit betreft een vergelijkbaar probleem in 3D. De Laplace-vergelijking met overal randvoorwaarde  $u = 0$  wordt gediscretiseerd met een standaard zevenpuntsmolecuul op een uniform  $M \times M \times M$  rooster,  $M = 24, 48, 96$ .
3. De Laplace-vergelijking op een eenheidsvierkant met overal als randvoorwaarde  $\frac{\partial u}{\partial n} = 0$ . Wederom wordt gediscretiseerd met een standaard vijfpuntsmolecuul, ditmaal op een  $(M + 1) \times (M + 1)$  rooster,  $M = 128, 256, 512$  (enkele deelnemers presenteerden echter ook resultaten voor  $M = 1024$ ). In de buurt van de randen wordt het rooster zodanig verfijnd dat de verhouding tussen de maximale en minimale maaswijdte gelijk is aan 1000. Dit probleem is bijvoorbeeld van belang voor instationaire incompressibele Navier-Stokes solvers, waarin na iedere tijdstap de druk moet worden berekend, hetgeen betekent dat vele stelsels van de vorm  $Au_i = b_i$  moeten worden opgelost voor dezelfde matrix  $A$ .
4. Een stationaire diffusievergelijking op het eenheidsvierkant met opnieuw overal als randvoorwaarde  $\frac{\partial u}{\partial n} = 0$  en een standaard vijfpuntsmolecuul op een uniform rooster. De diffusiecoëfficiënt is sterk discontinu: in een deel van het gebied is deze gelijk aan 1, in de rest van het gebied 1000. De maaswijdte is  $1/400$ , zodat het stelsel  $(401)^2$  onbekenden bevat.
5. Dit betreft een vereenvoudigd model voor de berekening van de temperatuurverdeling in de grond in de buurt van een aardgaspijp. Het stelsel lineaire vergelijkingen  $Ax = b$  ontstaat na discretisatie op een ongestructureerd rooster met het eindige elementen pakket SEPRAN. De matrix  $A$  heeft afmetingen  $25759 \times 25759$  en een onregelmatig ijlheidspatroon.
6. Dit testprobleem is voorgesteld door Kees Vuik (TUD). Het betreft een gediscretiseerde Laplace-vergelijking op een  $M \times 4M$  rooster, voor  $M = 32, 64, 128$ . De matrix is niet symmetrisch ten gevolge van de behandeling van randvoorwaarden.

Freddy Wubs (RUG) beet de spits af met de voordracht 'Results of some software packages'. Hij legde voor een aantal software pakketten het achterliggende idee uit, en gaf resultaten voor bovenstaande testproblemen. Aan de orde kwamen onder andere de vrij recentelijk ontwikkelde pakketten 'UMFPACK' en 'SuperLU', die allebei een slimme hernummering combineren met een complete LU-ontbinding, en het op Fast Fourier en cyclische reductie gebaseerde pakket 'Fishpack' (dat al in de jaren 80 is ontwikkeld). Ook kwam het pakket 'Sparskit' aan de orde, waarin onder andere een incomplete LU-ontbinding van de matrix kan worden gemaakt, zodanig dat in elke rij van  $L + U$  het aantal niet-nul elementen niet boven een door de gebruiker in te stellen maximum komt.

Daarna vertelde Kees Dekker (TUD) over 'ICCG with diagonal and hyperplane ordering.' Het betrof een methode die speciaal was ontwikkeld om goede performance te krijgen op vectorcomputers voor 3D problemen. Hij toonde echter niet alleen resultaten voor het 3D testprobleem, maar ook voor het eerste, derde en vierde testprobleem.

Paul de Zeeuw (CWI) vertelde over multigrid technieken onder de titel 'Solution updates at fine or coarse levels.' Hij gaf resultaten van het pakket 'MGD9V' voor het derde en vierde testprobleem. Daarnaast toonde hij aan dat (multiple) semicoarsening met succes gebruikt kan worden voor sterk anisotrope problemen: zelfs voor dit soort problemen convergeerde de gepresenteerde methode roosteronafhankelijk.

Auke van der Ploeg (RUG) hield een voordracht met de titel 'Efficient incomplete factorization: a matter of divide and conquer'. Bij deze voordracht werd een incomplete LU-ontbinding gecombineerd met een hernummering van de onbekenden, met als doel roosteronafhankelijke convergentie. Eerst werd een daartoe geschikte hernummeringstechniek voor regelmatige roosters besproken, daarna werd aangetoond dat ook in het geval van ongestructureerde roosters een hernummering met soortgelijke eigenschappen is te construeren (M(atrrix)R(enumerated) ILU-decomposition). Voor alle zes testproblemen werden resultaten getoond.

Als laatste spreker van de ochtend vertelde Kees Vuik (TUD) over de herkomst van het laatste testprobleem. Hij hield een voordracht getiteld 'The solution of the non-symmetric Poisson equation', en presenteerde daarin de resultaten van een aantal iteratieve methoden, waaronder GMRES, Bi-CGSTAB en GMRESR.

Na de lunch vertelde Gerard Sleijpen (UU) over 'Subspace iteration for unsymmetric matrices.' Hij gaf een introductie over de BiCG-methode, en de hierop gebaseerde methoden CGS en Bi-CGSTAB. Vervolgens werd met een voorbeeld aangetoond dat het convergentiegedrag van deze methoden ernstig kan worden verstoord door afrondfouten. Het is mogelijk om de 'updates' voor het residu en de benadering voor de oplossing zodanig aan te passen dat het proces veel minder gevoelig wordt voor afrondfouten.

Stefan Spekreijse (NLR) vertelde vervolgens over 'Elliptic grid generation: all you need is Laplace.' Hij liet zien dat solvers voor gediscretiseerde Laplace-



vergelijkingen onder andere gebruikt kunnen worden voor de generatie van roosters, bijvoorbeeld roosters voor de berekening van stromingen om een vliegtuig. Om hier goed mee te kunnen werken blijkt de efficiëntie van de gebruikte solver van fundamenteel belang te zijn.

Arnold Reusken (TUE) gaf een voordracht met de titel 'A multigrid method based on incomplete Gaussian elimination.' Hij vertelde over een benadering van het Schur-complement gebaseerd op incomplete Gauss eliminatie, welke gebruikt wordt in een multirooster methode. De resulterende methode is bijna puur algebraïsch en voor een bepaalde klasse van problemen kan, met behulp van Fourier-analyse, robuustheid worden aangetoond.

Yvan Notay (Université Libre de Bruxelles) presenteerde zijn resultaten voor de eerste vijf testproblemen van de workshop tijdens een voordracht met de titel 'Approximate factorization solvers for the Laplace equation.' Hij gebruikte zogenaamde 'perturbed modified approximate factorization' voor het tweede en vijfde testprobleem, en 'unperturbed modified approximate factorization' in combinatie met een recursieve schaakbordvolgorde voor het eerste en vierde testprobleem. Voor het derde testprobleem werd een combinatie van beide bovenstaande technieken gebruikt.

Als laatste spreker gaf Eugen Botta (RUG) een overzicht van de verschillende solvers en presenteerde onder andere de volgende conclusies.

- Voor de eerste twee problemen, wanneer het rooster uniform is, geeft 'Fishpack' veruit de beste resultaten. Dit pakket weet de symmetrie in het probleem maximaal uit te buiten en is daarmee minstens een factor tien sneller dan de andere gepresenteerde methoden. Een nadeel van Fishpack is echter dat het alleen werkt voor matrices met constante coëfficiënten, terwijl alle andere methoden voor veel algemenere problemen zijn ontworpen.
- De pakketten 'UMFPACK' en 'SuperLU' zijn alleen interessant voor niet al te grote matrices, omdat bij grotere problemen zowel het geheugengebruik als de CPU-tijd nodig voor de constructie van de ontbinding veel te groot worden. Dit is voor het 3D probleem in nog sterkere mate het geval dan voor de 2D problemen. Voor de kleinere stelsels zijn deze methoden interessant wanneer de complete ontbinding meerdere keren kan worden gebruikt.
- Voor het derde probleem geven MGD9V, MRILU, en de methode gepresenteerd door Yvan Notay prima resultaten. Deze methoden verschillen onderling niet zo erg veel. Bij de twee laatst genoemde methoden loopt de CPU-tijd per onbekende licht op met verfijning, bij MGD9V loopt dit helemaal niet op.
- Voor het vierde en vijfde testprobleem zijn MRILU en de methode gepresenteerd door Yvan Notay het snelst. MRILU is een factor twee tot drie sneller dan laatst genoemde methode.

- De methode gepresenteerd door Kees Vuik en MRILU geven voor het laatste testprobleem de beste resultaten.
- Bij de vergelijking van de methoden is voornamelijk gelet op het aantal operaties en de performance op een werkstation (HP 755). De performance op supercomputers zal uiteraard anders zijn (misschien is dit een interessant onderwerp voor een volgende workshop).

Samenvattend kunnen we zeggen dat het een zeer succesvolle bijeenkomst was, dankzij interessante voordrachten en resultaten, en dankzij talloze discussies na afloop van de voordrachten. Ook de redelijke opkomst (ca. 25 personen) heeft bijgedragen tot een geslaagde dag.

## 1.9 Verslag van het 31ste WNW-Colloquium (B.J. Geurts)

Op 1 december 1995 werd bij de afdeling der Toegepaste Wiskunde aan de Universiteit Twente een colloquium van de Werkgemeenschap Numerieke Wiskunde gehouden (31ste editie) met als hoofdthema Large-Eddy Simulatie (LES). Er stonden een drietal sprekers op het programma: Jaap van der Vegt (NLR), Cees Beets (IMAU-UU) en Bert Vreman (UT-TW). Een grote variëteit aan onderwerpen die in meerdere of mindere mate gerelateerd waren aan LES werd ten tonele gevoerd en zal hieronder nader worden geschetst.

**Jaap van der Vegt:** In de bijdrage van Van der Vegt werd een numerieke methode gepresenteerd die geschikt zou kunnen zijn voor toekomstige LES-berekeningen aan vliegtuigen. De ruimtelijke discretisatie is gebaseerd op hexahedrale cellen en er wordt gebruik gemaakt van de discontinue Galerkin methode in combinatie met 'slope-limiters' om de monotonie van het schema te waarborgen. Om de nauwkeurigheid te verhogen wordt gebruik gemaakt van anisotrope grid-adaptatie waarmee uiterst onregelmatige roosters kunnen resulteren. Er was ruime aandacht voor de formulering van de methode en de motivatie van de aanpak. De anisotrope adaptatie maakt een dynamische data-structuur noodzakelijk en de geschiktheid van de numerieke methode voor verwerking op parallelle computers werd geïllustreerd aan de hand van resultaten verkregen op twee processoren van de NEC-SX3 alsmede op basis van ervaring opgedaan met een Power-Challenge met vier processoren van SGI. De methode werd geïllustreerd met simulatie-resultaten op basis van de stationaire Euler-vergelijkingen voor stroming rond een Delta-vleugel. Tenslotte werd stilgestaan bij de eisen die gesteld worden door LES voor de simulatie van turbulente stroming rond een vleugel. Een gedetailleerde (enigszins optimistische) schatting werd gegeven voor de situatie die met de introductie van de NEC-SX4/16 bij het NLR zou ontstaan met als eindresultaat dat een dergelijke simulatie in ongeveer 50 CPU-uren voltooid zou kunnen zijn. Het daadwerkelijk succesvol uitvoeren van een dergelijke simulatie zou een sterke verdere impuls aan de LES-benadering kunnen geven.

**Cees Beets:** De bijdrage van Beets bestond uit twee onderdelen. Ten eerste werden DNS en LES resultaten voor de convectieve grenslaag en de invloed van

turbulente stroming op de afloop van chemische reacties besproken. Daarbij werd een tamelijk grof rooster gebruikt en een sterk vereenvoudigde modellering van de afloop van de chemische reacties. Uit de simulatie-resultaten kwam naar voren dat de chemische omzettingen met name aan de randen van de grenslaag optraden. Helaas werd het subgrid-model voor de turbulente spannings-tensor niet besproken. Het effect van de turbulente stroming op de reactiesnelheid werd gerepresenteerd in de vorm van een 'effectieve' reactieconstante. Duidelijk werd dat deze reactiesnelheid afnam ten gevolge van het turbulente transport in situaties waarin de chemische reactie uiterst snel verliep. Het tweede onderdeel van de voordracht was gewijd aan de ontwikkeling van een geschikt schema voor advection-diffusie vergelijkingen waarin de numerieke oplossing gegarandeerd positief zou blijven. Deze laatste eis is vrij natuurlijk voor chemische processen. De constructie van een eerste-orde schema met deze eigenschappen werd verduidelijkt en het transport van 'passive scalars' werd getoond. Daarbij werd gebruik gemaakt van een kinematische simulatie waarin kunstmatige turbulente snelheidsvelden werden gegenereerd. De evolutie van een gefilterde concentratieverdeling werd gepresenteerd waarbij de effecten van de numerieke dissipatie en de subgrid-model dissipatie naar voren kwamen.

**Bert Vreman:** De voordracht van Vreman had als onderwerp de directe en large-eddy simulatie van de stroming in een compressibele turbulente menglaag, zowel bij een laag als bij een hoog Mach getal. Het basisprincipe van LES werd besproken en de rol van de keuze van het filter in relatie tot de zogenaamde 'realizability' condities voor de turbulente spannings-tensor werd geanalyseerd. Het inzetten van DNS om te komen tot een goed gefundeerde validatie van LES werd uitvoerig toegelicht en de noodzaak van het uitvoeren van zogenaamde *a posteriori* tests werd aangegeven. In deze tests wordt een direct vergelijk gemaakt tussen gefilterde DNS resultaten en de voorspellingen verkregen op basis van LES met een bepaald subgrid-model. Dit resulteerde in uitspraken omtrent de kwaliteit van het gebruikte subgrid-model. Met name dynamische modellen geven goede simulatie-resultaten. In de formulering van deze modellen staat de identiteit van Germano centraal. De optimale verhouding van de filterbreedte in relatie tot de roosterafstand werd gemotiveerd. Tenslotte werden DNS resultaten getoond voor de stroming in een supersone menglaag. Het ontstaan van schokken in deze stroming werd geïllustreerd en de fysische oorsprong achterhaald. Daarbij werd gebruik gemaakt van een hogere-orde upwind discretisatiemethode in combinatie met een centraal vierde-orde schema. Uiteindelijk werd een verklaring gepresenteerd voor de daling in de groei van de menglaag bij toenemend Mach getal op basis van de simulatie-resultaten verkregen bij zowel laag als hoog Mach getal.

### 1.10 Symposium "One Hundred Years of Runge-Kutta Methods" (J.F.B.M. Kraaijevanger)

In 1895 publiceerde Carl Runge, een 39-jarige hoogleraar wiskunde aan de Technische Universiteit van Hannover, een numerieke benaderingsmethode voor

het oplossen van gewone differentiaalvergelijkingen, waarvan hij opmerkte dat deze nauwkeuriger is dan de methode van Euler. De door Runge voorgestelde methode geldt als de eerste van de methoden, die we tegenwoordig met Runge-Kutta methoden aanduiden.

Op vrijdag 8 december 1995 werd op en door het CWI een symposium gehouden (mede onder de vlag van IMACS) ter gelegenheid van de honderdste verjaardag van Runge's artikel. De organisatoren (prof. P.J. van der Houwen en dr. B.P. Sommeijer) waren er in geslaagd een aantrekkelijke lijst van sprekers samen te stellen. Dit resulteerde in een opkomst van bijna vijftig toehoorders, van wie ongeveer tien uit het buitenland (Australië, België, Frankrijk, Griekenland en Zweden).

In zijn openingswoord vertelde prof. P.J. van der Houwen dat hij zeer ingenomen was met de tot stand gekomen lijst van prominente sprekers. Hij sprak de hoop uit dat we vandaag konden genieten van veel historische feiten, als ook een 'state of the art' op het gebied der Runge-Kutta methoden.

De eerste gastspreker was prof. Gerhard Wanner van de Universiteit van Genève. Op onderhoudende wijze verhaalde hij over de geschiedenis van Runge-Kutta methoden in de beginperiode, van 1895 tot 1962. De belangrijkste onthulling die hij hierbij deed, was dat niet Runge in 1895 de eerste Runge-Kutta methode had bedacht, maar dat Coriolis deze eer te beurt viel met een artikel uit 1837. Gelukkig was dit geen reden het symposium af te gelasten, en konden we uit monde van dezelfde spreker nog een aantal historische feiten vernemen. Zo waren er beknopte levenslopen van de hoofdpersonen Carl David Tolmé Runge (1856-1927) en Wilhelm Kutta (1867-1944) te beluisteren. Runge werd in 1886 hoogleraar aan de TU te Hannover en in 1904 in Göttingen. Bevestigd werd dat 'de Runge uit de complexe functietheorie' inderdaad dezelfde was als 'die van Runge en Kutta'. Verder vernamen we dat Karl Heun uit Berlijn (de bedenker van de methode van Heun) zich in een artikel uit 1900 nogal laatdunkend uitliet over Runge's historische resultaat uit 1895. Tenslotte, wat Kutta betreft, deze was aanvankelijk werkzaam als assistent en docent aan de TU München, en bekleedde daarna het hoogleraarsambt in respectievelijk Jena, Aken en Stuttgart (1911-1935). Kutta had een zeer brede interesse (o.a. het modelleren van gletsjers, de geschiedenis der wiskunde, de vorm van vliegtuigvleugels, muziek, kunst, literatuur, talen) en van hem werd gezegd dat hij een hoop 'splendid' werk deed, maar dit zelden publiceerde.

De tweede spreker was prof. John Butcher van de Universiteit van Auckland. Op zijn eigen humoristisch getinte wijze vertelde hij over Runge-Kutta methoden vanaf 1963. Een groot deel van zijn voordracht bestond uit een uitleg van 'zijn' orde-condities met behulp van 'bomen' en 'elementaire differentia-len'. Wie zich altijd afgevraagd heeft waarom Butcher bij het tekenen van zijn bomen—in tegenstelling tot wat bij stambomen gebruikelijk is—de zonen van een vader *boven* de vader tekent, hoeft niet langer in onzekerheid te zitten: 'my trees grow upward, because that is what they do in the southern hemisphere'.

Na het nemen van een groepsfoto werd het woord gegeven aan prof. Syvert Nørsett van de Universiteit van Trondheim, die in de zeventiger jaren

bekend werd met zijn studie van 'diagonally implicit' (DIRK) en 'singly diagonally implicit' (SDIRK) Runge-Kutta methoden. Hij gaf een overzicht van deze methoden, waarbij onder meer bewegende 'order stars' afkomstig van zijn laptop te zien waren. De spreker besloot met de aankondiging dat GODESS binnenkort 'op het web' gezet wordt. GODESS staat voor Generic ODE Solving System, en is een black box ODE/DAE IVP solver die aan te sturen is in MATLAB, en waarin onder andere (S)DIRK methoden gebruikt worden.

Na de lunch viel de eer te beurt aan prof. Marc Spijker van de Universiteit van Leiden. Op nauwgezette wijze gaf hij een glashelder overzicht van verschillende oude en recente foutschattingen voor Runge-Kutta methoden. In het eerste deel van zijn voordracht ging de spreker in op het niet-stijve geval, en liet hij zien dat de uiteindelijk gevonden foutschatting (door de spreker afgeleid in 1977) niet verder te verfijnen was. In het tweede deel concentreerde de spreker zich op het stijve geval. Na een overzicht van bekende resultaten voor dissipatieve differentiaalvergelijkingen, besloot hij de voordracht met het formuleren van een tweetal interessante vermoedens voor het lineaire geval.

De voordracht van prof. Ernst Hairer van de Universiteit van Genève ging over foutengroei bij het uitvoeren van één stapje van een Runge-Kutta methode toegepast op een beginwaardeprobleem dat dissipatief is met betrekking tot een irwendig product norm. Het bepalen van de bijbehorende 'foutengroefunctie' komt neer op het oplossen van een optimaliseringsprobleem met ongelijkheden. De spreker presenteerde recente resultaten betreffende de foutengroefunctie van algemene Runge-Kutta methoden, die onder meer gebaseerd waren op de voorwaarde van Kuhn-Tucker. De inspirerende voordracht werd afgesloten met een aantal open vragen.

De laatste spreker van de dag was dr. Jan Verwer van het CWI, die een helder overzicht gaf van het aan het CWI verrichte onderzoek naar de mogelijkheden om expliciete Runge-Kutta methoden te gebruiken voor het oplossen van parabolische partiële differentiaalvergelijkingen. Om een gedegen analyse van de numerieke processen te kunnen geven, werd niet alleen ingegaan op gewone stabiliteit (gerelateerd aan het reële stabiliteitsinterval) maar ook op inwendige stabiliteit. Voor de constructie van optimale methoden werd gebruik gemaakt van Chebyshev polynomen van eerste en tweede soort. De optimale methoden, die in 'netlib' te vinden zijn, heten dan ook Runge-Kutta-Chebyshev (RKC) methoden.

Mede namens de overige aanwezigen bedankte de laatste spreker de beide organisatoren Van der Houwen en Sommeijer voor het organiseren van het symposium. De mijns inziens zeer geslaagde dag werd besloten met een staande receptie en een (zittend) bezoek aan een restaurant in het centrum van Amsterdam. Over honderd jaar weer ?

### 1.11 Impressie van het SMC50 jubileum congres, gehouden op 6 en 7 februari 1996 te Amsterdam (J.J.B. de Swart)



Ter gelegenheid van het 50-jarig bestaan van de Stichting Mathematisch Centrum organiseerde het SMC onlangs een tweedaags congres. Algemeen SMC-directeur G. van Oortmerssen opende het congres met een overzicht van de bijdragen van het SMC aan de maatschappij door de jaren heen. De voorzitter van de Wetenschappelijk Raad van het SMC, de heer J.H.A. de Smit, nam vervolgens het woord. Hij gaf aan dat veel mensen in de praktijk weliswaar het nut van wiskunde inzien, maar door dit te onderbouwen met een voorbeeld in de trant van: dan weet je tenminste hoe je de oppervlakte van een cirkel berekent, aangeven dat zij niet doordrongen zijn van het belang van de recente ontwikkelingen in de wiskunde.

Plenaire lezingen die de intentie hadden ook voor niet-specialisten toegankelijk te zijn, vulden de rest van de ochtend. Vooral de eerste spreker, L. Nirenberg uit New York, slaagde hier aardig in. Dat ik zijn gezicht al kende van een foto van de winnaar van de '1995 Medal of Science', doet vermoeden dat niet de sprekers van het minste allooi waren uitgenodigd. Wat hij nu op het bord kalkte, was een stuk beter te verteren dan de bizarre toverformules, die op het schoolbord achter hem op de foto prijken. Zijn voordracht ging - grof gezegd - over het aantal keren dat een afbeelding zijn beeldruimte overdekt, en werd pas wat moeilijker te volgen, toen de spreker zijn devies 'in every talk one should proof something, even if it is trivial' in praktijk bracht. Toch is het bij numerieke praatjes vaak gebezigde 'in every talk one should show some numbers, even if it is not clear what they mean', niet veel beter.

De landelijke werkgemeenschappen verzorgden 's middags parallelle sessies. De eerste middag woonde ik die over numerieke wiskunde bij. A.O.H. Axelsson uit Nijmegen gaf de eerste lezing, waarin hij verschillende aspecten van parallel rekenen behandelde. De pas één dag oude resultaten van een 4-dimensionale partiële differentiaalvergelijking op een Cray T3D computer waren veelbelovend. Omdat hij de vorige avond geen tijd had gehad dit het-glijke feit te vieren (hij moest nog een praatje voorbereiden), stelde hij voor de feestelijkheden ter plekke plaats te laten vinden.

In een indrukwekkend heldere lezing met zeer mooie sheets (bij nadere bestudering bleek het gekozen font het handschrift van de spreker te zijn) ging M.N. Spijker uit Leiden in op de fouten die gemaakt worden door het stoppen van de Newton-iteratie, die gebruikt wordt om de impliciete vergelijkingen, af-



L. Nirenberg  
(uit *SIAM News '95, No.10, p.3*)

komstig van het numeriek oplossen van stijve differentiaalvergelijkingen, op te lossen. Voor het niet-stijve geval waren al schattingen bekend, die in de praktijk van stijve sommen te optimistisch bleken. Dit verschijnsel staat bekend onder de naam 'orde-reductie'. Spijker en zijn voormalige promovendus J.L.M. van Dorselaer waren erin geslaagd om voor stijve sommen deze reductie in kaart te brengen.

De derde en laatste voordracht in de numerieke sessie werd gegeven door H.A. van der Vorst uit Utrecht. Hij presenteerde de onlangs ontwikkelde Jacobi-Davidson (JD) methode voor eigenwaarde-problemen. Deze mix van een door Jacobi in 1846 voorgestelde methode met ideeën uit 1975 van de fysicus Davidson, toont aan dat het niet alleen nuttig is om een boek uit de vorige eeuw af te stoffen, maar ook dat een kijkje in de keuken van de mensen 'in het veld' de moeite waard kan zijn. Het meest overtuigende bewijs van de kwaliteit van de methode is dat JD als enige van de tot nu toe ontwikkelde methoden in staat is de interne eigenwaarden van een zeer grote matrix te vinden afkomstig uit de nucleaire fysica.

De laatste lezing van de eerste dag was een plenaire over de interactie tussen wiskundigen en fysici in de afgelopen twee eeuwen en kwam van de *hand* van J.Z. Buchwald van het MIT. Het was vooral een *lezing* voor de spreker, in de zin dat hij zijn tot op de komma uitgeschreven lezing voorlas. Op zich waren de wederwaardigheden van Stokes, Maxwell, Hoikens (lees: Huygens), Fresnel en Kirchhoff het aanhoren waard, maar dat hij 50 % meer tijd nam dan gepland, was voor vele - naar de receptie hunkerende - congresgangers minder leuk.

De (biervrije) receptie in het Amsterdams Historisch museum vormde, mede door de vermakelijke woorden van congresvoorzitter O.J. Boxma, een waardige

afsluiting van de eerste dag.

Erg benieuwd was ik naar de laatste voordracht van de ochtendsessie van de tweede dag door A. Iserles. Deze breed-geïntereerde professor wordt door numerici als de analyse-man beschouwd en door analytici als de getallenjongen. Dit betekent dat hij in zijn dagelijks leven voor numericus wordt aangezien, want Iserles is afkomstig uit Cambridge, waar, 'for an occasion like this, also a number of 8 keynote speakers would be selected, in 8 different branches of ... algebraic topology' (A.I.). Zijn '2-petten-karakter' kwam ook duidelijk tot uitdrukking in de titel van zijn verhaal: 'Toward qualitative numerical analysis of differential equations'. Een numerieke methode moet alles wat we weten van het kwalitatieve gedrag van de oplossing bewaren, zo stelde hij. De wereld van wiskundigen op het gebied van het numeriek oplossen van differentiaalvergelijkingen is van oudsher verdeeld in 2 kampen, die van de lineaire-meerstapsmethoden (LM) aanhangers, en die van de Runge-Kutta (RK) fans. Voor het laatste kamp bracht Iserles goed nieuws, want in het licht van de kwalitatieve benadering zijn LM's sub-optimaal, terwijl RK's meer kans van slagen hebben. Zo zou het prettig zijn als de numerieke oplosmethode voor orthogonale stromingen (dit zijn stromingen, waarvan de oplossingen orthogonale matrices zijn) ook orthogonale matrices oplevert. Gauss-Legendre is een RK methode die deze eigenschap heeft, terwijl LM's dit niet kunnen. Als ander voorbeeld noemde hij de bredere klasse der isospectrische stromingen (stromingen, waarvan het spectrum van de oplossingsmatrices onveranderd blijft). Hoewel er noch RK's, noch LM's bestaan die voor alle problemen uit deze klasse het spectrum van de numerieke oplossingsmatrices constant weten te houden, blijkt het wel mogelijk te zijn om het probleem zo te herschrijven, dat orthogonale RK's het spectrum van het geherformuleerde probleem wel bewaren.

's Middags woonde ik het mini-symposium 'Geschiedenis en maatschappelijke functie van de wiskunde' bij. In mijn functie van manusje van alles bij deze sessie had ik twee overhead-projectoren op scherp gezet, de krijtjes aangevuld en de verlichting voor deze hulpmiddelen zorgvuldig afgesteld. Na de lezing van Buchwald een dag eerder had ik beter kunnen weten en al mijn energie moeten wijden aan het regelen van een mooi kathedertje, waarachter de op-te-lezen velletjes voor de toeschouwers onzichtbaar neergelegd konden worden. Alleen de eerste spreker, G. Alberts uit Nijmegen, gebruikte nog een spaarzame sheet, de anderen hadden alleen hun uitgetypte lezing nodig. Dat het niet eenvoudig is om zich zo zonder spreekgestoelte een gemakkelijke houding aan te meten, behoeft geen toelichting.

Alberts gaf een leerzaam inzicht in de drijfveren van de stichters van het SMC. De voornaamste van hen, J.G. van der Corput, meende dat wiskunde was als Cinderella, die heeft bewezen koningin te zijn, maar eens naar de keuken af moet dalen om haar onfortuinlijke zusters (lees: astronomie, fysica) een handje te helpen. In 1946 was dit moment volgens hem aangebroken.

Leuk was de groepsfoto van de statistische afdeling uit 1951, die de spreker toonde, waarop Constance van Eeden te zien was. Zij had de dag ervoor zelf





J.G. van der Corput:  
*'Wiskunde is als Cinderella ...'*

een voordracht verzorgd en zat nu als toehoorder in de zaal. Na affloop vroeg ik haar hoe het destijds als vrouw was om wetenschappelijk medewerkster te zijn. 'Ach', antwoordde ze, 'gisteravond hadden we met alle sprekers een etentje. Ik was er de enige vrouw en zou me pas ongemakkelijk gevoeld hebben als dat riet zo was geweest.' Op de rekenafdeling waren in die tijd wel veel vrouwen te vinden. De vacatures in de kranten van toen, die samen met andere bezienswaardigheden uit de begintijd van het SMC ten toon waren gesteld, vroegen alleen om rekenaarsters. De eerste computers waren vrouwen!

Na een lezing over de didactiek van de wiskunde tussen de wereldoorlogen (waaruit Dijksterhuis als niet erg sympathiek naar voren kwam) en één over een kortstondige samenwerking tussen een Nederlands en een Duits wiskundig tijdschrift, was het de beurt aan W.R. van Zwet om de laatste, plenaire, voordracht te geven. Geen Amerikaan spreekt vloeiender Amerikaans dan Van Zwet. Zijn toegankelijke lezing handelde over resampling methoden, die de 'naive bootstrap' verbeteren. Als Baron von Münchhausen wil laatstgenoemde methode zichzelf aan de haren optrekken. Hoewel dit onmogelijk is, staan vandaag de dag duizenden computers dit honderden uren lang te proberen.

Al met al kan ik terugkijken op twee geslaagde dagen, die goed georganiseerd waren, zeker gezien de moeilijkheid om in één congres zoveel disciplines te vertegenwoordigen.

## 1.12 “Aan lager wal geraakte” Rinnooy Kan steelt show op SMC50-symposium “De Waarde van Wetenschap” (M. Bakker)

“Ik ben een aan lager wal geraakte wiskundige, maar ik bevind mij in goed gezelschap van lotgenoten als Hans Ree, Hugo Brandt Corstius, Paul Verhoeven, Frits Bolkestein en Mient-Jan Faber”. Met woorden van deze strekking opende VNONCW-voorzitter Alexander Rinnooy Kan zijn voordracht op het SMC50-symposium “De Waarde van Wetenschap”, daarbij verwijzend naar een artikel dat H. Brandt Corstius januari j.l. in NRC-Handelsblad had geschreven. Deze woorden sloegen goed aan bij het gehoor en menig ex-wiskundige zal deze uitspraak met genoegen hebben herhaald.

Rinnooy Kan was één van de vijf sprekers op een symposium voor VIPs dat de Stichting Mathematisch Centrum op 8 februari 1996 had georganiseerd ter gelegenheid van haar 50ste verjaardag.

### 1.12.1 De meerwaarde van het CWI

Het symposium werd geopend door CWI-directeur Gerard van Oortmerssen. In een korte terugblik op de eerste 15 jaar van het CWI - toen nog Mathematisch Centrum - passeerden onder meer de oprichters, de eerste medewerker en latere directeur Van Wijngaarden en de prestaties uit die tijd de revue: de eerste computers (ARRA, FERTA, X1, X8), de programmeertaal Algol 60 en niet te vergeten het MC-aandeel in het Deltaplan. Terugblikkend concludeerde Van Oortmerssen dat ook toen al het MC aar. contractresearch (Deltaplan) en spin-off deed (de oprichting van de computerfirma Electrologica N.V.), zij het onder andere namen.

Na deze terugblik op de periode 1946-1960 volgde een terugblik op de laatste 10 jaar van het CWI (zoals het sinds 1983 heet). Ook in deze periode is volgens de spreker sprake van hoogwaardig onderzoek - diverse keren door visitatiecommissies bevestigd -, maar nu veel meer dan toen in samenwerking met andere instellingen en met externe financiering. Als voorbeelden werden genoemd: Biomathematica; Data-encryptie (o.m. het ESPRIT-project CAFE voor veilig en anoniem elektronisch betalen); het NS-project van Lex Schrijver; de introductie van het MC-netwerk, het eerste Europese internet; de implementatie van de eerste grafische standaard GKS; Milieumodellering; Data Mining, etc. Deze projecten bewijzen dat het CWI zeer goed in staat is om onderzoek te doen dat van wetenschappelijk en van strategisch belang is. In die zin kan het CWI een brugfunctie vervullen tussen fundamenteel en toepassingsgericht onderzoek. Hiertoe werkt het CWI met enige tientallen instellingen binnen en buiten Nederland samen. Met name het Europese Wiskunde- en Informatica-Consortium ERCIM, waarvan het CWI medeoprichter is, en dat nu als belangrijke gesprekspartner van de Europese Commissie fungeert, neemt daarbij een vooraanstaande plaats in.

Van Oortmerssen besloot zijn voordracht met een vooruitblik. Het CWI gaat binnenkort zijn organisatie grondig veranderen - "kantelen" in manage-

mentjargon - en de landelijke wiskundeactiviteiten van de SMC worden elders ondergebracht. Verder gaat het CWI een gooi doen naar de status van Technologisch Top Instituut met behulp van enkele speerpuntgebieden waarin het CWI uitblinkt: o.m. software engineering en data mining. In de komende twee jaar zal het CWI onder het motto FIT (Flexibel, Interdisciplinair, Thematisch) bewijzen dat het geen verstarde instelling is.

### 1.12.2 Feestredenaars moeten zich in acht nemen

Met deze binnenkomer opende NWO-voorzitter Reinder van Duinen zijn jubileumtoespraak "Nieuwe ontwikkelingen bij onderzoeksmanagement". Hij verwees hierbij naar een jubileumrede in 1975 door O&W-minister Van Kemenade, die hierbij de jarige flink de les had gelezen ("Alles moet anders" heette de toespraak).

Van Duinen gaf er de voorkeur aan om te constateren dat *alles verandert*, dus ook het onderzoek. Dat bleek z.i. duidelijk uit de geschiedenis van het onderzoek in de afgelopen zeventig jaar: van vrij en kleinschalig voor WO II via sterke groei in de jaren 50 en 60 tot omvangrijk en gereguleerd nu, met dreigende krimp en voortdurende discussie over de relevantie. In de optiek van de spreker was onderzoek een voortdurende balans tussen verandering en stabiliteit, iets wat de SMC volgens hem uitstekend kon. Een andere belangrijke factor was volgens hem de dynamiek van het onderzoek zelf: b.v. de ontwikkeling van autonoom onderzoek naar interdisciplinaire samenwerking. De jongste beleidsnota van NWO haakt hier dan ook op in. Terloops stond Van Duinen even stil bij de vraag of de huidige organisatievorm van NWO nog wel bij de constellatie van het onderzoek past. Het antwoord hierop liet hij graag over aan de Visitatiecommissie van Rinnooy Kan, die straks NWO gaat evalueren.

Van Duinen's uitsmijter was een kadootje voor de jarige SMC: het had NWO behaagd om de landelijke wiskundeactiviteiten van de SMC onder te brengen in een *nieuwe* stichting voor wiskundeonderzoek, al ging dat wel dwars in tegen de NWO-wens om het aantal NWO-stichtingen te verminderen.

### 1.12.3 Wiskunde: taal en teken

SMC-voorzitter Gerke Nieuwland's rede had als rode draad de maatschappelijke en wetenschappelijke functie van de wiskunde door de eeuwen heen. Hij deed dat aan de hand van twee klassieke voorbeelden: de Diophantische vergelijkingen en het Handelsreizigersprobleem.

Het oudst bekende Diophantische probleem dateert uit het Egypte van de farao's. De landmeters hielden zich bezig met de berekening van oppervlakten van stukken land ten behoeve van de grondbelasting. Zij deden dit op een primitieve manier, die ook vaak voordelig uitviel voor de belastinginner. Uit die tijd stamt het probleem van de geheeltallige verdubbeling van het vierkant, waarvan de onoplosbaarheid toen niet was aan te tonen. Latere Diophantische problemen zijn de geheeltallige oplossingen van Elliptische krommen, de  $p$ -

functie van Weierstrass en Fermat's laatste stelling ( $X^N + Y^N = 1$  heeft voor  $N > 2$  geen rationale oplossingen buiten de punten  $(\pm 1, 0)$  en  $(0, \pm 1)$ ). Deze stelling heeft vele wiskundigen beziggehouden, maar het algemeen bewijs ervan in 1993 was, mogelijk ook door zijn omvang, een anticlimax, omdat niemand nog aan de juistheid twijfelde.

Het Handelsreizigersprobleem, het klassieke probleem van de lineaire programmering, illustreerde Nieuwland aan de hand van de provinciehoofdsteden van Nederland. Het probleem heeft de wiskundegemeenschap lang beziggehouden en is van niet-deterministische (NP-) complexiteit. Dit komt erop neer dat het zoeken naar een optimale route aanzienlijk meer tijd zal kosten dan het vinden van een goedkope suboptimale oplossing. Het sterke vermoeden bestaat, dat er geen oplossing van polynomiale complexiteit voor dit probleem bestaat. Volgens Nieuwland zal een bewijs van dit vermoeden eveneens als een anticlimax worden ervaren. Niettemin heeft het zoeken naar een oplossing veel bijgedragen tot de ontwikkeling van de lineaire programmering.

#### 1.12.4 Wiskunde en welvaart

Aldus luidde de titel van de rede van "aan lager wal geraakte" wiskundige, nu VNONCW-voorzitter, Rinnooy Kan. Volgens hem was er een relatie tussen die twee begrippen, al begaf hij zich wel met deze mening tussen het Scylla van Doorman en het Charybdis van Morris Kline. Na opsomming van een aantal karakteristieken van wiskundigen (onversneden Platonisten, die van mening zijn dat mensen te dom zijn om de schoonheid van structuren te zien; behept met schaarse momenten van creatieve helderheid en frequente momenten van verbazing over gebrek aan begrip; soms ook overmand door opwinding bij een geweldige ontdekking) wijdde hij enige nostalgische woorden aan het oude MC met zijn lucht van verschaald bier, zijn directeur Van Wijngaarden die als het ware cursieve punten uit manuscripten viste, en niet te vergeten zijn paradijselijke werkomgeving, kortom een bijzonder instituut.

Over de hedendaagse toestand van de wiskunde in Nederland had Rinnooy Kan een gemengd oordeel. De kwaliteit was volgens hem disproportioneel goed, bevestigd door sciëntiometristen als Van Raan. Minder goed vond hij de plannenmakerij, die z.i. Stalinistische afmetingen had aangenomen. Ook de daling van het aantal wiskundestudenten, alsmede de geringe aansluiting van de opleiding bij de eisen van het bedrijfsleven - kloof tussen denkers en doeners is vrij groot - beschouwde hij als een slechte zaak. Als remedie tegen de daling suggereerde hij een plan om tweedehands PC's aan de basisscholen te schenken, waarbij OC&W voor passende software zou zorgen. Over de kloof tussen denkers en doeners zal binnenkort een rapport van VNONCW verschijnen.

De jarige SMC wenste Rinnooy Kan tenslotte toe dat het overheidsbeleid richting technologische topinstituten de wiskunde ook kansen zal bieden. Als kansrijk onderzoeksterrein noemde hij de financiële wiskunde. De SMC had volgens hem goed begrepen dat het tijdperk van grote ruimte voor zuiver onderzoek ten einde loopt en dat de maatschappelijke vraagstelling steeds do-

minanter zou worden, evenals trouwens bij NWO dat binnenkort door hem geëvalueerd gaat worden. Ten aanzien van de aanstaande kanteling van het CWI kon hij verzekeren, dat daarmee heel goed te leven valt.

#### 1.12.5 Zijn wiskunde en informatica te beschouwen als geesteswetenschappen?

Zo heette de voordracht van de laatste spreker, S.J. Doorman. Deze emeritus-hoogleraar filosofie gaf niet direct een antwoord op die vraag, maar gaf drie kenmerken van wiskunde, die zouden moeten worden overgedragen bij het wiskunde-b onderwijs:

- het speelse karakter,
- de wil om onzekerheid te overwinnen,
- wiskundige ervaringen zijn anders dan die in andere wetenschappen.

Het speelse karakter illustreerde de spreker met een anekdote over een Makakengemeenschap in Japan, waar een laag geklasseerde vrouwtjesaap een ontdekking deed, die aanvankelijk alleen door gelijke of lagere apen werd overgenomen en pas veel later ook door hogere apen. Zijn indruk: voor het ontwikkelen van mathematische modellen is afwijkend groepsgedrag nodig. En passant vroeg hij zich ook plagerig af hoe beleidsambtenaren in de Makakengemeenschap met dergelijk gedrag zouden zijn omgegaan.

Bij de behandeling van de laatste twee kenmerken ging Doorman terug naar Plato en Aristoteles en hun visie op de wiskunde. Was er volgens Aristoteles slechts een werkelijkheid, waarvan de wiskunde deel uitmaakte, volgens Plato bestonden er wiskundige objecten naast de alledaagse werkelijkheid. Voor Plato had de wiskunde als middel om onzekerheden te overwinnen ook nog politieke betekenis: ze diende om de Grieken tegen het Sofisme te wapenen. Via de 19de-eeuwse vergelijking van geesteswetenschappen (inwendige ervaringen) en natuurwetenschappen (uitwendig) door Giltay kwam hij op de laat-20ste eeuwse zienswijze van wiskunde als een bron van productie (axioma's → stellingen → algoritmen).

Aan het eind van zijn verhaal gaf Doorman nog enkele "stellingen":

- De naturalistische verklaring van de speelsheid is ongegrond.
- De tweedeling van de werkelijkheid volgens Plato is onverstandig.
- De wens dat het CWI, ondanks externe druk, de vele wiskundige facetten mag conserveren, inclusief het intellectuele plezier.

## 2 Publikaties

### 2.1 Rapporten

1. L. ALBOUL AND R.M.J. VAN DAMME, *Polyhedral metrics in surface reconstruction: tight triangulations*, TW-memorandum 1275 (1995).
2. O. AXELSSON AND M. NIKOLOVA, *Adaptive refinement for convection-diffusion problems based on a defect-correction technique and finite difference method*, Report 9542, KUN.
3. O. AXELSSON AND M. NIKOLOVA, *A generalized conjugate gradient minimum residual method with variable preconditioners*, Report 9545, KUN.
4. O. AXELSSON AND I.E. KAPORIN, *A posteriori error estimates and adaptive refinement strategies for a minimum residual finite element solution of nonlinear problems*, Report 9560, KUN.
5. O. AXELSSON AND H. LU, *A survey of some estimates of eigenvalues and condition numbers for certain preconditioned matrices*, Report 9601, KUN.
6. O. AXELSSON AND C. YU, *An improved shifted inverse iteration process for solving a sparse symmetric positive definite generalized eigenproblem*, Report 9547, KUN.
7. C. BEETS AND B. KOREN, *Large-eddy simulation with accurate implicit subgrid-scale diffusion*, CWI Report NM-R9601.
8. J.G.L. BOOTEN AND H.A. VAN DER VORST, *Cracking large-scale eigenvalue problems*, Preprint 935, Department of Mathematics, Utrecht University, November 1995.
9. G.L. COHEN AND H.J.J. TE RIELE, *On  $\phi$ -amicable pairs (with appendix)*, CWI Report NM-R9524.
10. G.L. COHEN AND H.J.J. TE RIELE, *Iterating the sum-of-divisors function*, CWI Report NM-R9525.
11. C.T.H. EVERAARS, P.W. HEMKER AND W.J.H. STORTELDER, *Manual of spIds, a software package for parameter identification in dynamic systems*, CWI Report NM-R9521.
12. P.J.J. FERKET, *The finite difference based fast adaptive composite grid method*, Report RANA 95-15, Department of Mathematics and Computer Science, Eindhoven University of Technology.
13. M.B. VAN GIJZEN, *Parallel ocean flow computations on a regular and on an irregular grid*, Preprint 937, Department of Mathematics, Utrecht University, November 1995.

14. M.B. VAN GIJZEN AND F.A. RAEVEN, *A parallel eigensolution of an acoustic problem with damping*, Preprint 924, Department of Mathematics, Utrecht University, September 1995.
15. L.P.H. DE GOEY, R.M.M. MALLENS AND J.H.M. TEN THIJE BOONKAMP, *Generalization of the flame stretch concept for stationary premixed flames*, Report RANA 95-10, Department of Mathematics and Computing Science, Eindhoven University of Technology.
16. L.P.H. DE GOEY AND J.H.M. TEN THIJE BOONKAMP, *A generalized definition of flame stretch for 3D instationary premixed flames*, Report RANA 95-17, Department of Mathematics and Computing Science, Eindhoven University of Technology.
17. R. HEMPEL, R. CALKIN, R. HESS, W. JOPPICH, U. KELLER, N. KOIKE, K. OOSTERLEE, H. RITZDORF, T. WASHIO, P. WYPIOR AND W. ZIEGLER, *Real applications on the new parallel System NEC Cenju-3*, Arbeitspapiere der GMD 920, GMD, Sankt Augustin (1995).
18. W. HOFFMAN AND J.J.B. DE SWART, *Approximating Runge-Kutta matrices by triangular matrices*, CWI Report NM-R9517.
19. K.J. IN 'T HOUT, *Stability analysis of Runge-Kutta methods for systems of delay differential equations*, Report TW-95-08, Department of Mathematics and Computer Science, University of Leiden.
20. P.J. VAN DER HOUWEN AND B.P. SOMMEIJER, *Splitting methods for three-dimensional transport models with interaction terms*, CWI Report NM-R9516.
21. P.J. VAN DER HOUWEN AND W.A. VAN DER VEEN, *Solving implicit differential equations on parallel computers*, CWI Report NM-R9526.
22. R.M. HUIZING, *An implementation of the number field sieve*, CWI Report NM-R9511.
23. CH. KESSLER, J.G. BLOM AND J.G. VERWER, *Porting a 3D-model for the transport of reactive air pollutants to the parallel machine T3D*, CWI Report NM-R9519.
24. B. KOREN, P.F.M. MICHIELSEN, J.W. KARS AND P. WESSELING, *A computational method for oleo-acoustics, application to hydraulic shock absorbers*, CWI Report NM-R9515.
25. W.M. LIOEN, *On the diagonal approximation of full matrices*, CWI Report NM-R9518.
26. M. VAN LOON, *Fast and efficient solution methods for ozone chemistry*, CWI Report NM-N9501.

27. M. VAN LOON, *Numerical smog prediction II: grid refinement and its application to the Dutch smog prediction model*, CWI Report NM-R9523.
28. C.W. OOSTERLEE, *A GMRES-based plane Smoother in multigrid to solve three-dimensional anisotropic fluid flow problems*, Arbeitspapiere der GMD 911, GMD, Sankt Augustin (1995).
29. J.D. PINTÉR, *LGO: an implementation of a Lipschitzian global optimization procedure. User's guide.*, CWI Report NM-R9522.
30. A. REUSKEN, *A multigrid method based on incomplete Gaussian elimination*, Report RANA 95-13, TUE, 1995.
31. G. SEGAL AND C. VUIK, *A simple iterative linear solver for the 3D incompressible Navier-Stokes equations discretized by the finite element method*, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, TUD Report 95-64, ISSN 0922-5641, Delft 1995.
32. P.J.P.M. SIMONS AND R.M.M. MATTHEIJ, *The cooling of molten glass in a mould*, RANA 95-21.
33. G.L.G. SLEIJPEN, J.G.L. BOOTEN, D.R. FOKKEMA AND H.A. VAN DER VORST, *Jacobi-Davidson type methods for generalized eigenproblems and polynomial eigenproblems: Part I*, Preprint 923, Department of Mathematics, Utrecht University, September 1995.
34. G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *Hybrid Bi-Conjugate Gradient methods for CFD problems*, Preprint 902, Department of Mathematics, Utrecht University, February 1995.
35. G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *An overview of approaches for the stable computation of hybrid BiCG methods*, Preprint 908, Department of Mathematics, Utrecht University, March 1995 (to appear in: Applied Num. Mathematics).
36. M.N. SPIJKER, *Stiffness in numerical initial value problems*, Report TW-95-07, Department of Mathematics and Computer Science, University of Leiden.
37. M.N. SPIJKER AND F.A.J. STRAETEMANS, *Linear stability analysis and stability regions in the numerical solutions of initial value problems*, Report TW-95-02, Department of Mathematics and Computer Science, University of Leiden.
38. R.P. STEVENSON, *A robust hierarchical basis preconditioner on general meshes*, Report 9533, University of Nijmegen, September 1995.
39. R.P. STEVENSON, *Experiments in 3D with a three-point hierarchical basis preconditioner*, Report 9558, University of Nijmegen, December 1995.



40. E. DE STURLER AND V. STRUMPEN, *First experiences with High Performance Fortran on the Intel Paragon*, TechReport IPS-95-10, IPS-ETH Zürich, May 1995.
41. J.J.B. DE SWART AND J.G. BLOM, *Experiences with sparse matrix solvers in parallel ODE software*, CWI Report NM-R9520.
42. G.A.L. VAN DE VORST AND R.M.M. MATTHEIJ, *Mathematical and numerical simulation of viscous sintering processes*, RANA 95-14.
43. R.J. VOS, M.J.A. BORSBOOM AND K. TAN, *DELWAQ Fast solvers II, Newton-Krylov methods for solving linear and non-linear equations*, Delft Hydraulics Report T1596, January 1996.
44. P.W.C. VOSBEEK AND R.M.M. MATTHEIJ, *Contour dynamics with symplectic time integration*, RANA 95-15.
45. T. WASHIO AND C.W. OOSTERLEE, *Experiences with robust parallel multilevel preconditioners for BiCGSTAB*, Arbeitspapiere der GMD 949, GMD, Sankt Augustin (1995).
46. P. WESSELING, M. ZIJLEMA, A. SEGAL AND C.G.M. KASSELS, *Computation of turbulent flow in general domains*, Report 95-85, Delft University of Technology, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft, 1995.
47. P.M.E.J. WIJCKMANS AND R.M.M. MATTHEIJ, *Discontinuities in mechanical systems*, RANA 95-16.
48. M. ZIJLEMA AND P. WESSELING, *Higher order flux-limiting methods for steady-state, multidimensional, convection-dominated flow*, Report 95-131, Delft University of Technology, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft, 1995.

## 2.2 Proceedings en boekbijdragen

1. O. AXELSSON, *On algebraic multilevel preconditioning methods*, Proceedings of the workshop "Numerical Methods and Applications", 21-25 March 1993, Moscow, Vestnik, Moskovskogo Universiteta, Seria Vichisl. Math. Cybern., 3 (1995), 4-19.
2. O. AXELSSON, *The Algebraic Multilevel Iterations Method, a scalable and optimal algorithm*, in: Solution Techniques for Large-Scale CFD problems (W.G. Habashi, ed.), Wiley, 1995, pp. 137-160.
3. O. AXELSSON AND M. NEYTCHEVA, *Scalable algorithms for the solution of Navier's equations of elasticity*, in: Proceedings of the International Symposium on Mathematical Modelling and Computational Methods, August 29 - September 2, 1994, Prague, Czech Republic, J. Comp. Appl. Math., 63 (1995), 149-178.

4. Z. BAI, D. DAY, J. DEMMEL, J. DONGARRA, M. GU, A. RUHE AND H. VAN DER VORST, *Templates for linear algebra algorithms*, in: J. van Leeuwen (Ed.), *Computer Science Today: Recent Trends and Developments*, Lecture Notes in Computer Science 1000, Springer-Verlag, Berlin, pp. 115–140, 1995.
5. J.G.L. BOOTEN, P.M. MEIJER, H.J.J. TE RIELE AND H.A. VAN DER VORST, *Parallel Arnoldi method for the construction of a Krylov subspace basis: an application in magnetohydrodynamics*, in: W. Gentzsch and Uwe Harms (eds.), *High-Performance Computing and Networking (International Conference and Exhibition, Munich, Germany, April 18-20, 1994)*, Volume II: Networking and Tools, Springer-Verlag, Berlin, etc., pp. 196–201 (1994).
6. E.F.F. BOTTA AND A. VAN DER PLOEG, *Preconditioning techniques for matrices with arbitrary sparsity patterns*, in: *Proceedings Ninth International Conference on Finite Elements in Fluids, Venezia, Italy (1995)* pp. 989–998.
7. E. BRAKKEE, C. VUIK AND P. WESSELING, *Domain decomposition for the incompressible Navier-Stokes equations: solving subdomain problems accurately and inaccurately*, in: R. Glowinski, J. Périaux, Z. Shi and O. Widlund (eds.), *Domain decomposition methods in sciences and engineering*, *Proceedings of the 8th International Conference on Domain Decomposition methods*, Beijing, 15-19 May 1995.
8. W. CAZEMIER, R.W.C.P. VERSTAPPEN AND A.E.P. VELDMAN, *3D proper orthogonal decomposition of a driven cavity flow*, in: *Numerical Methods in Laminar and Turbulent Flow*, Vol. 9 (C.Taylor and P. Ourbetaki, eds.) (1995) pp. 240–250.
9. R.M.J. VAN DAMME AND L. ALBOUL, *Tight triangulations*, in: *Mathematical methods for curves and surfaces*, *Proceedings of Conference at Ulvik, Norway*, 517–526, 1995.
10. P.A. FARRELL, P.W. HEMKER, G.I. SHISHKIN AND I.V. TSELISHCHEVA, *A domain decomposition method for singularly perturbed boundary value problems with a local distribution of the initial conditions*, in: *Abstracts of the International Conference on Advanced Mathematics, Computations and Applications*, Novosibirsk, June 20-24, 1995. p. 102.
11. P.J.J. FERKET, *Coupling of a global coarse discretization and local fine discretizations*, in: *Numerical Treatment of Coupled Systems*, Proc. of the Eleventh GAMM-Seminar Kiel, W. Hackbusch, G. Wittum (eds.), *Notes on Numerical Fluid Mechanics*, 51, pp. 47–58 (1995).

12. P.W. HEMKER AND B. KOREN, *Defect correction and nonlinear multigrid for steady Euler equations*, in Computational Fluid Dynamics Techniques, (W.G. Habashi and M.M. Hafez, eds.), pp. 699–718, Gordon and Breach, Basel, 1995.
13. P.W. HEMKER, B. KOREN, W.M. LIOEN, M. NOOL AND H.T.M. VAN DER MAAREL, *Multigrid for steady gas dynamics problems*, in Computational Fluid Dynamics Review 1995 (M. Hafez and K. Oshima, eds.), pp. 477–494, Wiley, Chichester, 1995.
14. P.W. HEMKER AND G.I. SHISHKIN, *The use of defect correction for the solution of parabolic singular perturbation problems*, in: Abstracts of the International Conference on Advanced Mathematics, Computations and Applications, Novosibirsk, June 20-24, 1995. pp. 135–136.
15. W. HOFFMANN AND K. POTMA, *Threshold-pivoting in parallel Gaussian elimination for improved efficiency*, in J. van Katwijk et al. eds. ASCI'95: Proceedings of the first annual conference of the Advanced School for Computing and Imaging, Heijen, the Netherlands, May 16-18, 1995; pp. 63–68; Delft, the Netherlands, 1995.
16. J. KOK, *Validation of metrology reference software*, in: P. Ciarlini, M.G. Cox, R. Monaco and F. Pavese (eds.), Advanced Mathematical Tools in Metrology (International Workshop, Torino, Italy, October 20-22, 1993, World Scientific, Singapore, etc., pp. 231–238 (1994).
17. H.T.M. VAN DER MAAREL AND P.W. HEMKER, *Structured adaptive finite-volume multigrid for compressible flows*, in: W. Hackbusch and G. Wittum (eds.), Fast Solvers for Flow Problems, vol. 49, of 'Notes on Numerical Fluid Mechanics', pp. 14–37, Braunschweig, Vieweg-Verlag, 1995.
18. P.L. MONTGOMERY, *A block Lanczos algorithm for finding dependencies over  $GF(2)$* , in: Louis C. Guillou and Jean-Jacques Quisquater (eds.), Advances in Cryptology – EUROCRYPT '95 (Proc. Int. Conf. on the Theory and Application of Cryptographic Techniques, Saint-Malo, France, May 1995, Springer-Verlag, Berlin, et., pp. 106–120 (1995).
19. P.L. MONTGOMERY, *Square roots of products of algebraic numbers*, in: Walter Gautschi (ed.), Mathematics of Computation 1943-1993, Proceedings of Symposia in Applied Mathematics, American Mathematical Society (1994).
20. C.W. OOSTERLEE, H. RITZDORF, A. SCHÜLLER AND B. STECKEL, *Experience with a parallel multiblock multigrid solution technique for the Euler equations*, in: W. Hackbusch and G. Wittum (eds.), Proceedings of the 10th GAMM Seminar Kiel 'Fast solvers for flow problems', Ser. Notes on Num. Fluid Mech. 49, Vieweg, Braunschweig, 1995, 192–203.

21. H.J.J. TE RIELE, *A new method for finding amicable pairs*, in: Walter Gautschi (ed.), *Mathematics of Computation 1943-1993, Proceedings of Symposia in Applied Mathematics*, American Mathematical Society, 1994.
22. TH.J. RIPMEESTER, *Upper bounds on the dimension of bivariate spline spaces and duality in the plane*, in M. Daehlen, T. Lyche, and L.L. Schumaker eds.; "Mathematical Methods for Curves and Surfaces"; Vanderbilt University Press; Nashville, pp. 455-466, 1995.
23. G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *Hybrid Bi-Conjugate Gradient methods for CFD problems*, pp. 457-476, in: *Computational Fluid Dynamics Review 1995*, M. Hafez and K. Oshima, (eds.), John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 1995.
24. E.J. SPEE, *Coupling advection and chemical kinetics in a global atmospheric test model*, in: *Air Pollution III*, Vol. 1, H. Power e.a. (eds.), Computational Mechanics Publications, Southampton-Boston, pp. 319-326 (1995).
25. E. DE STURLER AND V. STRUMPEN, *First experiences with High Performance Fortran on the Intel Paragon*, Proceedings of the Intel Supercomputer User's Group Conference 1995 (ISUG '95), Sandia National Laboratories, 1995, (available through <http://www.cs.sandia.gov/ISUG/ps/fehpf.ps>).
26. H.A. VAN DER VORST, *Parallel iterative solution methods for linear systems arising from discretized PDE's*, AGARD Report R-807, Proc. of Special Course on Parallel Computing in CFD, AGARD, Neuilly-sur-Seine, France, 1995.
27. A.W. VREMAN, B.J. GEURTS, J.G.M. KUERTEN, J. BROEZE, B. WASISTHO AND M. STRENG, *Dynamic subgrid-scale models for LES of transitional and turbulent compressible flow in 3-D shear layers*, Proceedings of the Tenth Symposium on turbulent shear flows, Pennsylvania, August 14-16 (1995), pp. 10-25-10-30.
28. A.W. VREMAN, J.G.M. KUERTEN AND B.J. GEURTS, *Shocks in DNS of the three-dimensional mixing layer*, Proceedings of the Tenth Symposium on turbulent shear flows, Pennsylvania, August 14-16 (1995), pp. P3-31-P3-36.
29. C. VUIK AND A. SEGAL, *Solution of the coupled Navier-Stokes equations*, Proceedings of the Eleventh GAMM-Seminar, Kiel, January 20-22, 1995, Numerical treatment of coupled systems, W. Hackbusch, G. Wittum (eds.), Braunschweig, 1995, Vieweg, pp. 186-197.
30. J.G. WISSINK, *DNS of transitional flow around a square cylinder*, in: *Advances in turbulence V*, Kluwer (1995) 569-573.

### 2.3 Tijdschriftartikelen

1. O. AXELSSON AND M. MAKAROV, *On a generalized conjugate gradient orthogonal residual method*, Numerical Linear Algebra with Applications, 2 (1995), 467–480.
2. O. AXELSSON AND M. NEYTICHEVA, *Scalable algorithms in CFD computations*, Computational Fluid Dynamics REVIEW, 1 (1995), 837–857.
3. E. BRAKKEE, A. SEGAL AND C.G.M. KASSELS, *A parallel domain decomposition algorithm for the incompressible Navier-Stokes equations*, Journal of Simulation Practice and Theory, 3:185–205, 1995.
4. R. VAN DAMME AND R-H. WANG, *Curve interpolation with constrained length*, Computing, Vol. 54, 69–82, 1995.
5. T.J. DEKKER, *Prime numbers in quadratic fields*, CWI Quarterly; Special issue on Computational number theory, editor H.J.J. te Riele; Volume 7, number 4, December 1994; pp. 367–394.
6. M. B. VAN GIJZEN, *Large scale finite element computations with GMRES-like methods on a Cray Y-MP*, Applied Numerical Mathematics, 19 (1995), pp. 51–62.
7. M.B. VAN GIJZEN, *A polynomial preconditioner for the GMRES algorithm*, Journal of Computational and Applied Mathematics, 59 (1995), pp. 91–107.
8. K.J. IN 'T HOUT, *On the convergence of waveform relaxation methods for stiff nonlinear ordinary differential equations*, Applied Numerical Mathematics 18, 175–190 (1995).
9. W. HUNSDORFER AND E.J. SPEE, *An efficient horizontal advection scheme for modelling of global transport of constituents*, Monthly Weather Review, Volume 123, No. 12, pp. 3554–3564.
10. E.F. KAASSCHIETER, *Mixed finite elements for accurate particle tracking in saturated groundwater flow*, Advances in Water Resources, 1, pp. 277–294.
11. I. KAPORIN AND O. AXELSSON, *On a class of nonlinear equation solvers based on the residual norm reduction over a sequence of affine subspaces*, SIAM J. Scientific Computing, 16 (1994), 228–249.
12. H. LU, *Solution of Vandermonde-like systems and confluent Vandermonde-like systems*, SIAM J. Matrix Anal. Appl., 17 (1996).
13. H. LU, *Matrix compensation and diagonal compensation*, J. Comp. Appl. Math. 63 (1995), pp. 237–244.

14. P.H. MICHIELSE, *Parallel Multigrid using PVM*, Applied Numerical Mathematics, vol. 19, December 1995, pp. 63–69.
15. C.W. OOSTERLEE, *The convergence of parallel multiblock multigrid methods*, Applied Numerical Mathematics, vol. 19, 1995, pp. 115–128.
16. M.C.A.M. PETERS AND H.W.M. HOEIJMAKERS, *A vortex sheet method applied to unsteady flow separation from sharp edges*, Journal of Computational Physics 120, 88–104 (1995).
17. A. REUSKEN, *Fourier analysis of a robust multigrid method for convection-diffusion equations*, Numer. Math. 71, 365–397 (1995).
18. H.J.J. TE RIELE AND H.A. VAN DER VORST (EDS.), *Special Issue on Massively Parallel Computing and Applications*, Applied Numerical Mathematics, Vol. 19, 1–171, November 1995.
19. G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *Maintaining convergence properties of BiCGstab methods in finite precision arithmetic*, Numerical Algorithms, 10 (1995), pp. 203–223.
20. M.N. SPIJKER, *The effect of the stopping of the Newton iteration in implicit linear multistep methods*, Applied Numerical Mathematics, Vol. 18, 367–386 (1995).
21. E. DE STURLER AND H.A. VAN DER VORST, *Reducing the effect of global communication in GMRES(m) and CG on Parallel Distributed Memory Computers*, J. Applied Num. Math., 18 (1995), pp. 441–459.
22. E. DE STURLER, *Incomplete Block LU preconditioners on slightly overlapping subdomains for a massively parallel computer*, Applied Numerical Mathematics (IMACS), 19, pp. 129–146, 1995, NorthHolland.
23. J.J.B. DE SWART, *Efficient parallel predictor-corrector methods*, Applied Numerical Mathematics, 18, pp. 387–396, 1995.
24. E.M. TOOSE, B.J. GEURTS AND J.G.M. KUERTEN, *A boundary integral method for two-dimensional non-Newtonian drops in slow viscous flow*, J. Non-Newtonian Fluid Mech., Vol. 60, pp. 129–154 (1995).
25. P. VASSILEVSKY AND O. AXELSSON, *A two-level stabilizing framework for interface domain decomposition preconditioners*, pp.196–202, in: Advance in Numerical Methods and Applications (I.T. Dimov et al, ed.), World Scientific, 1994.
26. W.A. VAN DER VEEN, J.J.B. DE SWART AND P.J. VAN DER HOUWEN, *Convergence aspects of step-parallel iteration of Runge-Kutta methods*, Applied Numerical Mathematics, 18, pp. 397–411, 1995.

27. R.W.C.P. VERSTAPPEN AND A.E.P. VELDMAN, *Direct numerical simulation of turbulence on a Connection Machine CM-5*, Applied Numerical Mathematics 19 (1995) 147–158.
28. J.G. VERWER, J.G. BLOM, M. VAN LOON AND E.J. SPEE, *A comparison of stiff ODE solvers for atmospheric chemistry problems*, Atmospheric Environment, Vol. 30, No. 1, pp. 49–58.
29. G.A.L. VAN DE VORST AND R.M.M. MATTHEIJ, *A BDF scheme for curvature driven moving Stokes flow*, J. Comp. Phys. 120 (1995), 1–14.
30. A.W. VREMAN, B.J. GEURTS AND J.G.M. KUERTEN, *A priori tests of large eddy simulation of the compressible plane mixing layer*, J. Engg. Math., Vol. 29, pp. 299–327 (1995).
31. A.W. VREMAN, J.G.M. KUERTEN AND B.J. GEURTS, *Shocks in direct numerical simulation of the confined three-dimensional mixing layer*, Phys. Fluids, Vol. 7, pp. 2105–2107 (1995).
32. C. VUIK, *New insights in GMRES-like methods with variable preconditioners*, J. Comp. Appl. Math., 61, pp. 189–204, 1995.

## 2.4 Proefschriften en boeken

1. F.P.H. VAN BECKUM, *Hamiltonian-Consistent Discretisation of Wave Equations*, Proefschrift, UT, 1995.

### *Samenvatting:*

Golfmodellen met Hamiltonse structuur zijn een speciaal soort partiële differentiaalvergelijkingen: hun vorm is zodanig dat behoud van grootheden als energie, momentum en massa, alsook het bestaan van solitonen, er vanzelf uit volgen. Bij numeriek rekenen aan zo'n model gaan door de discretisatiefout deze mooie eigenschappen echter meestal verloren. In dit proefschrift wordt nu bekeken hoe je de discretisatie zou moeten inrichten opdat deze eigenschappen *wel* meegaan. Het blijkt dat je moet zorgen dat de gediscrètiseerde vergelijkingen de Hamiltonse structuur zo goed mogelijk weerspiegelen.

Na de behandeling van de theorie worden als toepassingen uitgewerkt o.a. de Korteweg-de Vries vergelijking over al dan niet horizontale bodem, en bi-directionele golfmodellen van type Boussinesq.

Voorts wordt extra aandacht besteed aan het karakter van de optimaliseringsproblemen die voor dit soort golfmodellen de gedaante van de solitaire golven opleveren.

2. A.C. BERKENBOSCH, *Capturing Detonation Waves for the Reactive Euler Equations*, Proefschrift, TUE, 1995.

### *Samenvatting:*

Het doel van dit proefschrift is de ontwikkeling van een betrouwbare

numerieke methode voor het simuleren van eendimensionale detonatiegolven. Detonatiegolven zijn zeer snel voortbewegende verbrandingsgolven (vlammen) waarin explosieve reacties optreden en grote hoeveelheden energie omgezet worden. Deze eigenschappen maken detonaties gemakkelijk te onderscheiden van andere verbrandingsprocessen.

In veel toepassingen worden detonaties gemodelleerd door de Euler-vergelijkingen met daaraan toegevoegd balansvergelijkingen voor de verschillende stoffen in het gasmengsel. De balansvergelijkingen bevatten brontermen die de chemische reacties beschrijven. Het totale stelsel vergelijkingen wordt de reagerende Euler-vergelijkingen genoemd. De chemische reacties worden beschreven door een Arrhenius-model. Dit model bevat een ontbrandingstemperatuur  $T_{ign}$ , zodanig dat voor temperaturen boven  $T_{ign}$  de reactiesnelheid groot is en voor temperaturen beneden  $T_{ign}$  de reactiesnelheid nul is. In bijna alle praktische toepassingen is de ontbrandingstemperatuur veel hoger dan de temperatuur van het koude gas  $T_u$ , omdat bij lage temperaturen de detonatie uitdooft door een tekort aan radicalen.

In dit proefschrift beschrijven we detonatiegolven met het ZND-model (een model ontwikkeld door Zel'dovich, von Neumann en Döring). Het ZND-model neemt aan dat de detonatiegolf bestaat uit een schokgolf (een compressieschok) gevolgd door een reactiezone die allebei met dezelfde snelheid voortbewegen. Dus, door een schokgolf stijgt de temperatuur boven de ontbrandingstemperatuur en wordt er een chemische reactie gestart.

De reagerende Euler-vergelijkingen zijn een stelsel eerste orde hyperbolische behoudswetten met bronterm. In dit proefschrift beschrijven we enkele karakteristieke eigenschappen van hyperbolische behoudswetten. Aangezien detonatiegolven discontinu zijn (ze bevatten een sterke compressieschok), beschouwen we zwakke oplossingen. Een probleem is echter dat deze zwakke oplossingen niet uniek zijn. In het algemeen worden de unieke fysisch relevante zwakke oplossingen gekarakteriseerd door een zogenaamde entropieconditie. Bij het ZND-model bepaalt "Jouguet's rule" de unieke zwakke oplossing. "Jouguet's rule" impliceert dat de stroming in een met de detonatiegolf meebewegend assenstelsel supersonisch is met betrekking tot het niet verbrande gas (voor de detonatie) en subsonisch of sonisch met betrekking tot het verbrande gas (achter de detonatie). De detonatie heet een Chapman-Jouguet (CJ) detonatie bij een sonische uitstroming en een sterke detonatie bij een supersonische uitstroming.

In dit proefschrift lossen we de reagerende Euler-vergelijkingen numeriek op. We doen dit met behulp van een "time splitting method". In de "time splitting method" benaderen we in iedere discrete tijdstap de stroming (de gewone Euler-vergelijkingen) en de chemie apart. Omdat we vooral geïnteresseerd zijn in het globale gedrag gebruiken we maaswijdten en tijdstappen die geschikt zijn om de stroming te beschrijven maar niet de veel snellere chemie. Om de chemie ook goed te beschrijven moeten we



het rooster (lokaal) verfijnen. Belangrijk is dat de numerieke detonatie met de goede snelheid voortbeweegt ("detonation capturing"), zonder dat we de locatie van de detonatie expliciet volgen ("detonation tracking"). De stroming lossen we numeriek op met een Godunov-methode. In deze methode wordt de ruimte verdeeld in discrete cellen en veronderstellen we de oplossing constant in iedere cel. Op deze manier wordt een rij Riemann-problemen gedefinieerd die exact (of benaderend) opgelost worden. Deze oplossing wordt vervolgens gebruikt om een benadering op het volgende tijdstip te bepalen. Dit is een eerste orde methode en tweede orde wordt bereikt door de oplossing stuksgewijs lineair te veronderstellen ("slope limiter method"). We beschrijven de chemie door een gewone differentiaalvergelijking. Deze wordt opgelost door haar te vereenvoudigen en vervolgens exact te integreren.

Door nu alternerend de "chemie-solver" en de "stromings-solver" (de "slope limiter method") toe te passen ("Strang splitting") krijgen we een "high resolution method". Deze methode is tweede orde nauwkeurig voor gladde oplossingen, geeft een scherpe representatie van eventuele discontinuïteiten en is numeriek stabiel onder de gangbare CFL-conditie. De belangrijkste vraag is of deze methode ook altijd de fysisch relevant zwakke oplossing benadert (de sterke of CJ-detonatie).

Bij snelle reacties kan de numerieke methode een niet-fysische oplossing benaderen (de verkeerde zwakke oplossing). Er is in de literatuur dan ook veel aandacht besteed aan het ontwikkelen van nieuwe en vaak complexe methoden om dit probleem op te lossen. In dit proefschrift bestuderen we de invloed van verschillende numerieke en fysische parameters op de numerieke oplossing. Uit onze analyse volgt dat de ontbrandingstemperatuur een cruciale rol speelt. We laten zien dat de niet-fysische oplossingen alleen voorkomen bij een onrealistisch lage  $T_{ign}$ . Verder laten we zien dat bij een correcte  $T_{ign}$ , onze relatief eenvoudige "detonation capturing method" altijd de fysisch correcte detonatie benadert en dat het niet nodig is om (complexe) "detonation tracking methods" te ontwikkelen.

3. H. LU, *Forward-Backward Heat Equations and Analysis of Iterative Methods*, Proefschrift, KUN, 1995.

*Samenvatting:*

Het proefschrift bestaat uit twee delen. Het kwam tot stand in een periode van twee en een half jaar van eind 1992 tot begin 1995 waarin H. Lu werkzaam was als OIO onder leiding van prof. O. Axelsson.

Het eerste deel, bestaande uit 4 hoofdstukken, handelt over de existentie en uniciteit van een zwakke oplossing en eindige elementen methoden voor voorwaarts-achterwaartse warmtevergelijkingen en een consistentie grens op eindige differentie schema's van positief type voor convectie-diffusie problemen. Het tweede deel, ook 4 hoofdstukken, houdt zich voornamelijk bezig met het gebruik van de numerieke radius om de convergentiesnelheid van iteratieve methoden voor niet-symmetrische line-

aire systemen te analyseren, generalisaties van diagonale compensatie, schattingen van conditiegetallen en eigenwaarden voor blok incomplete factorisatie methoden met toepassingen op elliptische vergelijkingen. Er volgt nu een korte samenvatting van ieder van de delen.

*Deel 1:* In de literatuur zijn al veel eindige elementen methoden voor de warmtevergelijking geïntroduceerd en geanalyseerd. Gewoonlijk past men eerst een Galerkin methode toe in de ruimtevariabelen waardoor de vergelijkingen reduceren tot een stelsel gewone differentiaalvergelijkingen. Vervolgens past men een geschikte methode toe om de gewone differentiaalvergelijkingen te integreren. Helaas zijn er warmtevergelijkingen die niet in dit schema passen, bijvoorbeeld de voorwaarts-achterwaartse warmtevergelijkingen.

Voor een beter begrip van de voorwaarts-achterwaartse warmtevergelijkingen bewijzen we eerst de existentie en uniciteit van een zwakke oplossing van de vergelijkingen bij gegeven passende randvoorwaarden in een zekere Hilbertruimte en we laten zien dat het probleem in een zekere zin welgesteld is. Het bewijs is gebaseerd op een variant van het Lax-Milgram lemma. Na deze analyse beschouwen we eindige elementen methoden, met name ruimte-tijd methoden, voor de voorwaarts-achterwaartse warmtevergelijkingen. We bekijken gelijktijdige discretisatie van ruimte- en tijdvariabelen gebruikmakend van continue eindige elementen methoden. De resulterende lineaire stelsels zijn positief definit. Deze methoden hebben duidelijke voordelen boven bestaande methoden voor deze problemen. Om een brede klasse van voorwaarts-achterwaartse warmtevergelijkingen te kunnen oplossen gebruiken we variabele-transformaties zodat de nieuwe vergelijkingen kunnen worden opgelost met onze ruimte-tijd methoden. We leiden voorwaarden af voor de toepasbaarheid van de transformaties en laten zien hoe de transformaties kunnen worden geconstrueerd.

We bepalen tevens een consistentie grens op eindige differentie schema's van positief type voor convectie-diffusie problemen.

*Deel 2:* In dit deel analyseren we de standaard iteratieve methoden en de SOR methode voor quasi-Hermitische positief definitie matrices gebruikmakend van de numerieke radius, we generaliseren het gebruik van diagonale compensatie van symmetrische positief definitie matrices naar positief definitie matrices en we geven schattingen van eigenwaarden voor blok incomplete factorisatie methoden en compenserende preconditioneringen.

Gewoonlijk wordt de spectraalstraal gebruikt om de convergentiesnelheid van iteratieve methoden te analyseren. Echter, voor een niet-symmetrische iteratiematrix, geef dit alleen informatie over het asymptotische gedrag. We laten eerst zien dat de numerieke radius een betere maat is voor de convergentiesnelheid voor de initiële iteraties. In de analyse van de successieve overrelaxatie methode voor quasi-Hermitische positief definitie matrices laten we zien dat een cruciale parameter afhangt van de nume-

rieke radius van het (blok) benedendriehoeksdeel van de matrix. In het geval van blok incomplete factorisatie geven we een bovengrens voor de grootste eigenwaarde van de gepreconditioneerde matrix met behulp van de numerieke radius.

We introduceren matrixcompensatie om de positiviteit van matrices te behouden en laten zien hoe diagonale compensatie gebruikt kan worden voor niet-symmetrische matrices. We geven schattingen van conditiegetallen van gepreconditioneerde matrices in het geval van diagonale compensatie bij het construeren van preconditioneringsmatrices voor symmetrische positief definitie matrices.

Voor symmetrische matrices geven we schattingen van bovengrenzen en verdeling van de eigenwaarde van blok incomplete factorisaties. We laten zien hoe de diagonaal en driehoeksdelen van de matrices de eigenwaarden beïnvloeden. Zelfs als de voorwaarden op de matrices worden afgezwakt hebben we scherpe resultaten. De resultaten die we hier presenteren unificeren enkele van de eerdere resultaten betreffende bovengrenzen voor de eigenwaarden van incomplete preconditioneringen. Ook generaliseren we de bekende ongelijkheid dat de spectraalstraal begrensd wordt door het spoor voor symmetrische positief semidefinitie matrices naar blokvorm. De resultaten worden gebruikt om elliptische problemen op te lossen. We laten zien hoe de coëfficiënten in de elliptische vergelijkingen de grenzen op de eigenwaarden beïnvloeden. De analyse van de eigenwaardeschattingen levert een  $O(h^{-1})$  bovengrens voor het conditiegetal van de gepreconditioneerde matrix als we de gemodificeerde blok incomplete factorisatie gebruiken voor elliptische vergelijkingen met variabele coëfficiënten.

4. M.G. NEYTCHVA, *Arithmetic and Communication Complexity of Preconditioning Methods*, Proefschrift, KUN, 1995.

*Samenvatting:*

Dit proefschrift gaat over reken- en communicatiecomplexiteit voor iteratieve preconditioneringsmethoden die bruikbaar zijn voor de numerieke oplossing van lineaire stelsels van vergelijkingen. Er zijn drie hoofdrichtingen in het onderzoek te onderkennen.

- De eerste is een studie naar de rekencomplexiteitsaspecten voor verschillende klassen van matrices. De doelmethode, de AMLI methode, is in het bijzonder gedetailleerd bestudeerd. Deze is toegepast op een aantal problemen. De AMLI preconditioneringstechniek heeft zijn optimaliteitseigenschappen bevestigd zowel wat betreft de convergentiesnelheid als de rekencomplexiteit op seriële computers.
- De tweede hoofdrichting is het bestuderen van de invloed van een massief parallel computersysteem met gedistribueerd geheugen op de keuze van iteratieve oplosmethode en preconditioneringsmatrices voor zekere klassen van matrices. Als een massief parallel computersysteem gebruikt moet worden dan legt dit extra eisen op aan de oplossingsmethode, na-

melijk, (a) de methode moet alle voorhanden zijnde processoren kunnen benutten, en zo min mogelijk processoren niets laten doen en (b) de communicatietijd, nodig voor het uitwisselen van informatie tussen de processoren moet begrensd zijn, zo dat de communicatie niet de berekeningen gaat overheersen.

- Tenslotte is er gezocht naar problemen binnen 'scientific computing' waarop de AMLI preconditioneringsmethode efficiënt toegepast kan worden. We laten zien dat AMLI aan te bevelen is voor gediscretiseerde zelfgeadjungeerde tweede orde elliptische problemen met symmetrische positief definitie M-matrices, indefiniete en bijna singuliere matrices en convectie-diffusie problemen met een potentiaal stromingsveld die middels een exponentiële transformatie gesymmetriseerd kan worden. Door tijdgebrek is het oplossen van niet-symmetrische problemen niet meer algemeen onderzocht.

Het onderzoek geeft antwoord op de volgende vraag, gesteld in het project: "kan een eenvoudige, niet-optimale methode efficiënter zijn op een parallelle machine dan een optimale methode?" Het antwoord is "nee", bondig samengevat in *numerical efficiency cannot be traded for parallelism*.

Inderdaad, gegeven het feit dat een eenvoudige methode geen globale uitwisseling van informatie nodig heeft, doen ze het beter met betrekking tot conditie (b). Sommige preconditioneringen zoals bijv. diagonale schaling, worden soms wel "beschamend parallelliseerbaar" genoemd vanwege de grote mate van intern parallellisme. Aan de andere kant, door dit zelfde feit (het gebrek aan globale uitwisseling van data) convergeren deze methoden zeer langzaam en ze zullen uiteindelijk zelfs langzamer zijn dan een optimale methode lopend op één processor.

De optimale methoden vereisen wel globale uitwisseling van data tijdens het oplosproces en dit is een essentieel ingrediënt voor de optimale convergentiesnelheid. De praktijk leert, helaas, dat de rechtstreekse implementatie op een parallelle computer niet hoeft te voldoen aan (a) noch (b). We hebben laten zien dat het bovenstaande conflict, "*nearest neighbour versus global communication*" op een goede manier in evenwicht kan worden gebracht. Een modificatie van een optimale orde methode (AMLI) is afgeleid en bestudeerd - de *short AMLI* - zodanig dat deze efficiënt kan worden geïmplementeerd op zowel massief parallelle systemen alsmede op seriële systemen. De sleutelgedachte is om de uitwisseling van globale informatie, welke voor alle multigrid/multilevel methoden opduikt in de vorm van het oplossen van een stelsel op het grofste niveau, te laten plaats vinden op een groffer maar niet op het grofst mogelijke niveau. Op die manier slaan we drie vliegen in één klap. Ten eerste, de globale uitwisseling vindt plaats tijdens het oplosproces waardoor een optimale (of bijna optimale) convergentiesnelheid wordt gewaarborgd. Ten tweede, het grofste niveau wordt behoorlijk fijn gekozen om het stilstaan van processoren te vermijden en om de communicatieafstanden klein te houden.

Ten derde, de methode wordt robuuster met betrekking tot verschillende probleemparameters. De theoretische schattingen voor de keuze van het grootste niveau zijn bevestigd door numerieke experimenten.

Schaalbaarheid is beschouwd in samenhang met parallelle efficiëntie. De parallelle efficiëntie is één van de parallelle maten, gebruikt om informatie te verschaffen over hoe effectief een parallel systeem gebruikt is in een bepaald rekenproces. Stel dat we een parallel systeem met  $p$  processoren beschikbaar hebben. Dan wordt de efficiëntie  $E_p$  gedefinieerd door  $E_p = \frac{T_1}{pT_p}$ , waar  $T_1$  en  $T_p$  de totale executietijden zijn voor het oplossen van een gegeven probleem gebruikmakend van één, respectievelijk  $p$  processoren. Uit wat eerder is gesteld volgt dat de analyse alleen zinvol is als we een algoritme met optimale complexiteit bestuderen want daarvoor is  $T_1$  minimaal. In het ideale geval,  $E_p = 1$ , zou dit betekenen dat alle processoren voortdurend optimaal benut zijn. Voor het optimaal gebruik van een parallel systeem is het dus zaak op zoek te gaan naar methoden waarvoor de parallelle efficiëntie naar één nadert.

In dit onderzoek is aangetoond dat de korte versie van AMLI zo'n methode is. Namelijk, het is mogelijk het aantal processoren  $p$  als een functie van de probleemgrootte  $N$  te kiezen zodanig dat de efficiëntie nadert tot de optimale waarde één als de probleemgrootte toeneemt.

5. G. REKERS, *Numerical Simulation of Unsteady Viscoelastic Flow of Polymers*, Proefschrift, UT, 1995.

*Samenvatting:*

Een belangrijk aspect van de vervaardiging van vele kunststofproducten is de niet-stationaire, niet-isotherme stroming van een polymeersmelt. Tijdens deze stroming ontstaan er als gevolg van het visco-elastische gedrag van polymeren spanningen, de zogenaamde stromingsgeïnduceerde spanningen, ook wel geïnterpreteerd als moleculaire oriëntatie. Deze oriëntatie resulteert in anisotropie van de mechanische, optische en thermische eigenschappen tijdens de productie en van het uiteindelijke product. Voor het begrijpen van deze stromingsgeïnduceerde spanningen en de invloed ervan op de uiteindelijke producteigenschappen kunnen numerieke simulaties van grote waarde zijn.

Een aantal bekende visco-elastische constitutieve modellen is beschreven met behulp van thermodynamica, waardoor het mogelijk wordt om aan te geven welk deel van de geleverde mechanische arbeid wordt omgezet in elastische energie. Enige voorbeelden zijn: het Upper Convected Maxwell model, het Leonov model, het Giesekus model, de upper convected variant van het Phan-Thien-Tanner model en het Larson model. Deze constitutieve vergelijkingen zijn uitgebreid met reversibel compressibel gedrag en temperatuurafhankelijkheid. Tevens zijn enkele elastische en visceuze materiaalmodellen beschreven met behulp van thermodynamica. De bovengenoemde constitutieve vergelijkingen zijn geïmplementeerd in het transiënte eindig elementen programma Dieka, dat gebaseerd is op

de Galerkin formulering, waarbij de zwakke vorm van het mechanisch en thermisch evenwicht wordt benaderd. Hierbij wordt het stromingsprobleem opgedeeld in een eindig aantal elementen en tijdstappen. De methode om dit probleem op te lossen is gebaseerd op de gemengd Lagrange-Euler beschrijvingswijze. Het ene deel van deze formulering is het updated Lagrange deel, waarin de integratie van de constitutieve vergelijking plaats vindt. Hiervoor zijn verschillende integratieschema's geïntroduceerd, waarvan enkele incrementeel objectief zijn. Er is een foutanalyse gemaakt van deze integratieschema's met behulp van stationaire afschuifstroming, stationaire rekstroming en starre rotatie. Het tweede deel van de gemengd Lagrange-Euler beschrijvingswijze is het Eulerse deel waarin de materiaalgrootheden, zoals spanning, rek en temperatuur, worden afgebeeld op een nieuw rekenrooster. Deze herverdeling kan als een discretisatie van de convectievergelijking worden gezien. Verschillende één-dimensionale convectiealgoritmen zijn beschouwd, waaronder het Godunov schema en de Van Leer schema's. De convectie in meerdere richtingen wordt onderling onafhankelijk uitgevoerd. De nauwkeurigheid van deze convectiealgoritmen is geëvalueerd met behulp van een tweedimensionaal testprobleem, de zogenaamde Molenkamp test. Omdat de gemengd Lagrange-Euler beschrijvingswijze uit twee delen bestaat, kunnen twee mogelijkheden worden beschouwd: afbeelden voor het updated Lagrange deel (achterwaarts Lagrange-Euler) of afbeelden na het updated Lagrange deel (voorwaarts Lagrange-Euler). De zwakke vorm van twee typen voorwaarts Lagrange-Euler formuleringen is besproken, namelijk gekoppelde en ontkoppelde formuleringen. Tijdens iedere tijdstap moet er ook een nieuw rekenrooster worden bepaald. Dit nieuwe rooster wordt berekend met behulp van de discrete 'transfinite mapping' techniek. Voor het berekenen van niet-stationaire visco-elastische stroming van polymeren wordt de volgende variant van de gemengd Lagrange-Euler beschrijvingswijze gekozen: de ontkoppelde voorwaarts Lagrange-Euler formulering welke gebruik maakt van een objectief vierde orde Runge-Kutta integratie schema en het tweede Van Leer convectie schema. Er is een aantal berekeningen gedaan met het gekozen numerieke algoritme. Twee goed gedefinieerde problemen zijn onderzocht: de stroming rond een kogel die langs de as van een cylinder beweegt en de extrusie door een buis met cirkelvormige doorsnede. De resultaten zijn vergeleken met andere, uit de literatuur bekende, transiënte en stationaire resultaten. Er is gecontroleerd of de berekeningen convergeren bij meshverfijning en stapgrootteverkleining. Voor het extrusieprobleem is ook de invloed van de niet-lineariteitsparameter van het visco-elastische model onderzocht door de invloed ervan op de zwelling van het extrudaat te bekijken. Tevens is er een realistisch visco-elastisch stromingsprobleem gesimuleerd, namelijk de isotherme stroming van een HDPE smelt en een LDPE smelt door een convergerend kanaal beschreven met behulp van het Leonov model en het Giesekus model. De berekende resultaten zijn vergeleken met

metingen.

Tenslotte, is het spuitgietproces beschouwd. Twee simpele quasi-1D modellen zijn gebruikt om respectievelijk thermisch geïnduceerde spanningen en de sterkte van samenvloeiaden te berekenen. De resultaten verkregen met deze modellen zijn vergeleken met metingen.

6. TH.J. RIPMEESTER, *Dimension of Spline Spaces*, Proefschrift, UvA, 1996.

*Samenvatting:*

Dit proefschrift bestaat uit vijf artikelen [I-V] en een inleiding. Het voornaamste doel is expliciete formules te vinden voor de dimensie van lineaire ruimten van gladde, stuksgewijs polynomiale functies (*splines*) [II-V]. Daarnaast komen aan de orde de globale karakterisering van *spline*-ruimten opgespannen door simpliciale *B-splines* [IV] en een algoritme voor *spline*-interpolatie [I]. In de artikelen worden voornamelijk *splines* in twee veranderlijken behandeld.

In artikel [I], geschreven samen met P. Pfluger en B. Mulansky, worden numerieke experimenten besproken met een algoritme voor Lagrange-interpolatie middels bivariate *splines* over triangulaties. Met de Bézier/Bernstein-representatie voor polynomen op driehoeken kan het interpolatieprobleem worden herleid tot het oplossen van een stelsel lineaire vergelijkingen. De iteratieve oplosmethode van geconjugeerde gradiënten convergeert slechts traag, hetgeen het belang van *B-spline*-bases benadrukt voor het numeriek oplossen van interpolatieproblemen.

In [II] worden bovengrenzen aan de dimensie van bivariate *spline*-ruimten bewezen welke in sommige gevallen scherper zijn dan reeds eerder bekende grenzen. De voornaamste bijdrage van het artikel is het door de auteur ingevoerde begrip "duale" *spline*-ruimte, dat een duale aanpak biedt voor de bestudering van *spline*-ruimten.

Zo wordt in [III] duaal bewezen dat gladde bivariate *splines* met compacte drager, waaronder *B-splines*, slechts bestaan over partities die zijn uitgekerfd door lijnstukken waarvan tenminste twee elkaar kruisen. Uit Laman's karakterisering van generieke, rigide skeletbouw in het platte vlak kon de auteur verder een dimensieformule afleiden voor ruimten van continue, stuksgewijs affine *splines* in twee veranderlijken over generieke, rechtlijnige partities.

In [IV] worden functieruimten gekarakteriseerd welke zijn opgespannen door bivariate, simpliciale *splines* uit volledige en triangulatie-van-simploïden configuraties van knopenverzamelingen. Dat zulke ruimten samenvallen met volle *spline*-ruimten kan bewezen worden door het vergelijken van dimensies (welke bekend zijn of met de duale aanpak worden verkregen). Het type partitie dat hierbij optreedt kan verder worden gebruikt om gaten in een *spline*-oppervlak te dichten.

De voornaamste bijdrage van [V] is een relatie tussen multivariate *splines* op projectieve ruimten en univariate *splines* op algebraïsche krommen,

alsook de reductie van systemen van lokale conformaliteitsvoorwaarden tot een enkele globale conformaliteitsvoorwaarde. Hiertoe wordt het begrip *spline* uitgebreid tot *splines* op algebraïsche variëteiten, met een ont koppeling van de meetkundige en combinatorische structuur van de *splines*. De resultaten bieden een algebraïsch-meetkundige aanpak voor de bestudering van *splines* in meerdere veranderlijken.

7. A.W. VREMAN, *Direct and Large-Eddy Simulation of the Compressible Turbulent Mixing Layer*, Proefschrift, UT, 1995.

*Samenvatting:*

De hoofdonderwerpen van dit proefschrift zijn de techniek van Large Eddy Simulatie van compressibele stromingen en het effect van compressibiliteit op menglagen. Om deze onderwerpen te onderzoeken zijn Directe Numerieke Simulaties (DNS) en Large Eddy Simulaties (LES) van de compressibele menglaag uitgevoerd bij verschillende Mach- en Reynoldsgetallen.

De Large Eddy Simulaties zijn uitgevoerd bij de convectieve Mach getallen 0.2, 0.6 en 1.2 en de resultaten zijn vergeleken met gefilterde DNS-resultaten. Het is gebleken dat de dynamische subgridmodellen voor de turbulente spanningstensor in vergelijking tot andere modellen tot relatief nauwkeurige resultaten leiden. De dynamische benadering bleek tevens acceptabele resultaten op te leveren in een menglaag die vanwege de benodigde computercapaciteit momenteel nog niet met DNS gesimuleerd kan worden. Men moet zorgvuldig te werk gaan om de numerieke fouten in LES voldoende klein te houden. We vonden dat de numerieke fouten in het algemeen voldoende klein zijn als de filterbreedte twee keer zo groot is als de maaswijdte. In tegenstelling tot LES voor incompressibele stromingen vereist LES voor compressibele stromingen behalve het modelleren van de turbulente spanningstensor formeel ook het modelleren van de subgridtermen in de energievergelijking. De Large Eddy Simulaties voor de compressibele menglaag lieten zien dat de turbulente spanningstensor de dominante subgridterm is, zelfs bij een convectief Machgetal van 1.2. Deze belangrijke subgridterm is ook beschouwd vanuit een theoretisch perspectief en er zijn realiseerbaarheidsvoorwaarden voor deze tensor afgeleid.

Eén van de compressibiliteitseffecten in de menglaag is het optreden van schokken. We vonden ze in de driedimensionale DNS bij een Machgetal van 1.2. Vervolgens hebben we de oorzaak van de afname van de groefactor van de menglaag bij stijgend Machgetal onderzocht. Hiervoor hebben we gebruik gemaakt van vier DNS-bestanden met convectief Machgetal variërend tussen 0.2 tot 1.2. We vonden dat de afname van de groefactor niet verklaard kan worden door termen die de divergentie van de snelheid bevatten, maar wel door de vermindering van de drukfluctuaties, die het product van de druk met de spanningstensor en hierdoor de turbulente productie doet afnemen.



8. T. VAN WALSUM, *Selective Visualization on Curvilinear Grids*, Proefschrift, TUD, 1995.

*Samenvatting:*

In dit proefschrift wordt een aantal nieuwe technieken voor wetenschappelijke visualisatie beschreven. Er wordt ingegaan op technieken voor het bepalen van stroomlijnen op kromlijnige roosters. Daarnaast wordt een selectieve en iconische visualisatie aanpak beschreven.

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van bestaande visualisatie technieken, met name gericht op de visualisatie van stromingsdata. Er wordt beschreven welke technieken voor de verschillende stadia in het visualisatie proces beschikbaar zijn. De nadruk ligt hierbij op de visualisatie mapping: de transformatie van numerieke data naar visuele primitieven. Aan de hand van het overzicht worden de doelen voor het onderzoek bepaald. Hoofdstuk 3 bespreekt hoe stroomlijnen voor stromingsdata op kromlijnige roosters bepaald kunnen worden. Zowel interpolatie als het vinden in welke rooster cel een bepaald punt zich bevindt (puntlocatie) is voor kromlijnige roosters niet eenvoudig. Een transformatie van het kromlijnige rooster naar een Cartesisch rooster, een in de numerieke stromingsleer veel gebruikte techniek, blijkt onnauwkeurige resultaten te geven. Vervolgens wordt een drietal technieken besproken die rechtstreeks werken op het kromlijnige rooster: Stencil Walk (een iteratieve techniek), benadering van de celwanden met bilineaire patches en tetraëdrisatie van cellen (geometrische technieken). Van deze technieken blijkt de Stencil Walk erg nauwkeurig, maar ook erg traag. Een redelijk alternatief is de opdeling van het rooster in tetraëders, minder nauwkeurig maar sneller. Vervolgens wordt de relatie onderzocht tussen de nauwkeurigheid van tweede orde Runge Kutta integratie en de nauwkeurigheid van interpolatie.

Hoofdstuk 4 beschrijft de selectieve visualisatie aanpak. Omdat datasets tegenwoordig te veel data bevatten om alle data tegelijk af te beelden, zijn technieken nodig die de mogelijkheid bieden om een deel van de data te selecteren en af te beelden. Er wordt besproken hoe selectieve visualisatie in het algemene visualisatie-model kan worden opgenomen. Vervolgens wordt een nieuwe selectie techniek beschreven, waarmee data op basis van inhoudelijke criteria geselecteerd kan worden, en wordt getoond hoe geselecteerde data gebruikt kan worden in de visualisatie mapping.

De selectie techniek is gebaseerd op "selectie-expressies": Booleaanse expressies die aangeven welke data van belang zijn. Deze selectie-expressies worden voor elk roosterpunt van een dataset geëvalueerd, wat resulteert in een verzameling roosterpunten. Deze roosterpunten kunnen op drie manieren in de visualisatie mapping gebruikt worden: ze kunnen direct gevisualiseerd worden, ze kunnen gebruikt worden om visualisatie-primitieven te clippen of te benadrukken, en ze kunnen gebruikt worden om visualisatie parameters automatisch te bepalen.

In Hoofdstuk 5 wordt iconische visualisatie beschreven. Iconische visualisatie is het logisch vervolg op selectieve visualisatie: in plaats van de geselecteerde roosterpunten rechtstreeks te gebruiken, worden groepen van geselecteerde roosterpunten als eenheden ("features") gezien, en als eenheden verwerkt in het verdere visualisatie proces. Uiteindelijk kunnen deze eenheden dan met één parametrisch object, een icoon, afgebeeld worden.

De eenheden kunnen beschreven worden door een verzameling kenmerken: de attributen. Voor het bepalen van attributen worden volume integralen gebruikt. Hiermee zijn allerlei kenmerkende waarden, zoals zwaartepunt, gemiddelde waarde, variantie en covariante over het geselecteerde gebied, eenvoudig te bepalen.

Voor het ontwerpen van iconen is een eenvoudige modelleertaal ontworpen. Met deze taal kunnen 2D contouren beschreven worden. Van een 2D contour kan met een sweep-operatie een 3D object gemaakt worden. Dit 3D object kan vervolgens getransformeerd (geschaald, gerooteerd en getransleerd) worden. In elk van deze drie stappen kunnen parameters van het icoon gekoppeld worden aan attributen van een geselecteerd gebied.

Hoofdstuk 6 bevat tenslotte vier case studies, met behulp waarvan de gepresenteerde technieken getest zijn. Voor elke case worden selectieve en iconische visualisatie technieken toegepast, om een visualisatie te creëren die antwoord geeft op de bij de dataset behorende vraagstelling. De gebruikte datasets zijn een numerieke simulatie van stroming in een 'backward facing step', een directe numerieke simulatie van een turbulente pijpstroming, een large-eddy simulatie van een stroming met een chemische reactie en een large-eddy simulatie van een stroming met een pluim. In elk van de cases was op een eenvoudige en efficiënte manier een effectieve visualisatie te maken waarmee het antwoord op de vraagstelling gevonden kon worden.

9. J.G. WISSINK, *Direct Numerical Simulation of Turbulence*, Proefschrift, RUG, 1995.

*Samenvatting:*

Stromingen van vloeistoffen en gassen die gehoorzamen aan de wetten van Newton worden beschreven door de Navier-Stokes vergelijkingen. Deze vergelijkingen bestaan uit drie behoudswetten: 1) de wet van behoud van massa, 2) de wet van behoud van impuls en 3) de wet van behoud van energie. Een belangrijke dimensieloze grootte in de stromingsleer is het zogenaamde Reynoldsgetal ( $Re$ ). Het Reynoldsgetal geeft de relatieve belangrijkheid aan van de convectie t.o.v. de diffusie. Hoe groter het Reynoldsgetal is, des te belangrijker is de convectie in vergelijking met de diffusie. Bij een laag Reynoldsgetal gedragen stromingen zich redelijk glad, we hebben dan te maken met een "laminaire stroming". Bij grote Reynoldsgetalen worden stromingen over het algemeen minder

glad, terwijl bij nog hogere Reynoldsgetallen het gedrag zelfs chaotisch kan worden (turbulentie). In een turbulente stroming zijn er heel veel kleinschalige bewegingen. Door het middelen van de Navier-Stokes vergelijkingen wordt het mogelijk om alleen de grootschalige bewegingen in een turbulente stroming te bestuderen. Het is hierbij echter wel noodzakelijk de invloed van de kleinschalige bewegingen op de grootschalige bewegingen te modelleren, we spreken dan wel over een turbulentiemodel. Om een goede beschrijving van de invloed van deze kleinschalige bewegingen te vinden kan de bestudering van (benaderende) turbulente oplossingen van de Navier-Stokes vergelijkingen zeker behulpzaam zijn. Helaas bestaan er weinig analytische oplossingen van de Navier-Stokes vergelijkingen. Voor de meeste stromingen (zeker als ze turbulent zijn) moet met behulp van numerieke methoden een benaderende oplossing worden gevonden. Door het met een numeriek algoritme rechtstreeks "oplossen" van de Navier-Stokes vergelijkingen (de Directe Numerieke Simulatie, kortweg: DNS) kan in principe een goed beeld worden gekregen van de eigenschappen van stromingen in bijvoorbeeld buizen en turbines en rond vliegtuigen, auto's en gebouwen. Een groot probleem wordt echter gevormd door de beperkte capaciteit van de hedendaagse computers. Het uitrekenen van de stroming rond een vliegtuig met een DNS van de volledige Navier-Stokes vergelijkingen (zonder toepassing van een turbulentiemodel) is gewoonweg onmogelijk op dit moment. Wel is het mogelijk om andere stromingen, die bijvoorbeeld een lager Reynoldsgetal en/of een eenvoudige geometrie hebben, geheel door te rekenen. Met behulp hiervan kunnen dan bijvoorbeeld turbulentiemodellen ontworpen en/of gevalideerd worden.

Om een numerieke methode toe te passen moet om te beginnen het rekindomein worden voorzien van een rekenrooster. Afhankelijk van de aard van de stroming zal dit rooster meer of minder dicht moeten zijn. Bij gladde laminaire stromingen kan met een vrij grof rooster worden volstaan. Bij hele grote Reynoldsgetallen waar de stroming turbulent wordt kunnen de kleinschalige bewegingen alleen maar beschreven worden met een DNS als het rekenrooster voldoende fijn is. Niet alleen is dit "voldoende fijn zijn van het rooster" afhankelijk van de van de onderliggende fysica maar ook van de gekozen numerieke benadering. Door een efficiënt numeriek algoritme te gebruiken is het mogelijk om met relatief weinig roosterpunten toch de gewenste nauwkeurigheid te bereiken.

Een efficiënt numeriek algoritme kan bijvoorbeeld gevonden worden door een vergelijkend onderzoek van numerieke methoden zoals beschreven in dit proefschrift. Hoewel we ons hierbij beperken tot het simuleren van onsamendrukbare stromingen, zijn de resultaten ook bruikbaar voor samendrukbare stromingen mits de daar optredende snelheden (veel) kleiner zijn dan de snelheid van het geluid. Omdat een DNS van een drie-dimensionaal stromingsprobleem veel te kostbaar is om als test te worden gebruikt, beperken we ons tot eenvoudiger één- en twee-dimensionale stro-

mingsproblemen. De beste numerieke methoden worden op deze manier geselecteerd en uiteindelijk gebruikt voor de DNS van complexere twee- en drie-dimensionale stromingsproblemen.

De ruimte en de tijd worden apart van elkaar gediscretiseerd. De numerieke methoden die worden gebruikt voor de discretisatie van de ruimte zijn mengvormen van zogenaamde eindige differentie methoden en eindige volume methoden. De wet van behoud van massa wordt steeds met een tweede orde centrale methode gediscretiseerd, net als de drukgradiënt in de wet van behoud van impuls. Voor de discretisatie van de convectie worden zowel centrale methoden gebruikt als scheve (de zgn. upwind-biased discretisaties). De diffusie wordt gediscretiseerd met behulp van centrale methoden. Voor de discretisatie van de tijd wordt het tweede orde nauwkeurige schema van Adams-Bashforth gebruikt.

Er zijn twee één-dimensionale test problemen. Het eerste is de DNS van een naar rechts lopende golf met golfgetal  $\kappa$  als oplossing van de convectie vergelijking. Met behulp van dit probleem wordt het dissipatief gedrag van upwind-biased methoden als functie van het golfgetal onderzocht. Het blijkt dat voor elk golfgetal geldt dat hoe hoger de orde van de gebruikte methode is, des te kleiner de hoeveelheid artificiële dissipatie.

Het tweede één-dimensionale test probleem is de DNS van burgulentie. Burgulentie is een speciale oplossing van de Burgers vergelijking waarin het verval van een dissipatielaag in de tijd wordt beschreven. De discretisaties zijn gedaan op gerekte roosters met verschillende aantallen roosterpunten. De grootte van de fout in de dissipatie wordt gebruikt als testcriterium. Het blijkt dat in alle onderzochte gevallen, de hogere orde methoden (zowel de centrale als de scheve) beter in staat zijn om een nauwkeurige oplossing te produceren dan de lagere orde methoden (die soms meer dan twee keer zoveel roosterpunten nodig hebben om dezelfde nauwkeurigheid te bereiken).

Het eerste twee-dimensionale test probleem is een transitioneel probleem. De groei van een instabiele mode in een twee-dimensionale kanaalstroming bij  $Re = 7500$  wordt gesimuleerd met behulp van verscheidene eindige differentie/eindige volume methoden. De fout in de groei van de kinetische energie, bevat in deze mode, wordt gebruikt als testcriterium. Het blijkt overduidelijk dat de hoge orde methoden veel beter in staat zijn de exponentiële groei van de instabiele mode te volgen dan de lagere orde methoden.

Het laatste twee-dimensionale test probleem is de simulatie van een 2D "turbulente" stroming bij  $Re = 22000$  in een "lid-driven cavity". De fout in de puntsgewijs gemiddelde kinetische energie wordt hierbij gebruikt als selectiecriterium. Hoewel twee-dimensionale turbulentie sterk verschilt van drie-dimensionale turbulentie hopen we dat numerieke methoden die goed presteren in de DNS van 2D turbulentie ook goed zullen presteren in de DNS van 3D turbulentie. Net als bij de andere test problemen blijkt dat alweer de hogere orde methoden nauwkeuriger resultaten geven dan

de lagere orde methoden. Uiteindelijk worden de vierde orde centrale en de zevende orde upwind-biased methoden geselecteerd voor de discretisatie van de convectie, terwijl voor de discretisatie van de diffusie gebruik wordt gemaakt van een centrale methode die minstens zesde orde nauwkeurig is.

De complexere twee- en drie-dimensionale stromingsproblemen zijn de 2D en 3D stromingen rond een vierkante cylinder en de drie-dimensionale lid-driven cavity stromingen. Beide 3D stromingen hebben periodieke randvoorwaarden in de  $z$ -richting. Vergelijken we deze 3D stromingen met hun 2D tegenhanger, dan blijkt dat in beide gevallen 3D effecten een belangrijke rol gaan spelen bij Reynoldsgetallen die (veel) kleiner zijn dan de Reynoldsgetallen waarbij voor het eerst 2D turbulentie optreedt. Desondanks zijn de structuren die optreden in 2D turbulentie zeer interessant. Door samenklontering van vorticeiteit in het turbulente zog van de cylinder vinden we daar monopolaire, dipolaire en zelfs tripolaire wervelstructuren. Bij de stroming rond een vierkante cylinder blijkt het bifurcatie gedrag (voor een gedeelte) afhankelijk van de hoek van inval van de stroming. Tussen  $Re = 40$  en  $Re = 50$  wordt er weliswaar telkens een Hopf-bifurcatie gevonden, maar de tweede bifurcatie (voor  $Re > 200$ ) blijkt bij een scheve aanstroming een periode-verdubbelingsbifurcatie te zijn, terwijl bij een loodrechte aanstroming de tweede bifurcate aanleiding geeft tot het quasi-periodiek worden van de stroming. In zowel de 3D lid-driven cavity stroming als in de 3D stroming rond een vierkante cylinder bestaan de eerste drie-dimensionale structuren waargenomen uit zogenaamde Taylor-Görtler vortices. Deze bij lage Reynolds getallen zeer scherp begrensde structuren worden voor hogere Reynolds getallen steeds minder sterk begrensd, terwijl ook hun aantal toeneemt.

### 3 Promoties

- LUW 31-1-1996: J.J.A. van Kooten,  
*Advective-Dispersive Contaminant Transport towards a Pumping Well*  
promotor: J. Grasman  
co-promotor: M. de Gee
- 
- TUD 18-12-1995: T. van Walsum,  
*Selective Visualization on Curvilinear Grids*  
promotoren: F.W. Jansen en P. Wesseling
- 
- 9-4-1996: M. Zijlema,  
*Computational Modeling of Turbulent Flow in General Domains*  
promotor: P. Wesseling
- 
- 15-4-1996: E. Brakkee,  
*Domain Decomposition for the Incompressible Navier-Stokes Equations*  
promotor: P. Wesseling
- 
- UT 29-9-1995: G. Rekers,  
*Numerical Simulation of Unsteady Viscoelastic Flow of Polymers*  
promotor: J. Huétink  
assistent-promotor: J.J.M. Slot
- 
- 17-11-1995: F.P.H. van Beckum,  
*Hamiltonian-Consistent Discretisation of Wave Equations*

promotor: E. van Groesen

---

UvA 10-1-1996: Th.J. Ripmeester,  
*Dimension of Spline Spaces*  
promotor: Th.J. Dekker  
co-promotor: P.R. Pfluger

---

UU 11-4-1996: D.R. Fokkema,  
*Subspace Methods for Linear, Non-Linear and Eigen  
Problems*  
promotor: H.A. van der Vorst  
co-promotor: G.L.G. Sleijpen

---

## 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 (OIO)  
                               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,  
 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 Dorselaer 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 Gewone Differentiaalvergelijkingen, Stabiliteit en Resolvente Condities*  
 periode: 1 september 1992 - 31 augustus 1996  
 projectleider: M.N. Spijker  
 medewerker: F.A.J. Straetemans  
 financiering: RUL
- 
- 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
- 
- TUD titel: *Invariante Discretiserings- en Oplosmethoden voor de Behoudswetten voor Incompressibele Stromingen*  
 periode: 1 september 1992 - 31 augustus 1996  
 projectleider: P. Wesseling  
 medewerker: M. Zijlema (OIO)  
 financiering: NWO
- 
- 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), S.L. de Snoo (OIO)  
 samenwerking: TUE-W, Philips Nat.Lab., TNO-TPD, Verenigde Nederlandse Glasfabrieken

- financiering: TUE/STW/Philips
- 
- 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: *Multibody systems*  
 periode: 1992 - 1996  
 projectleider: R.M.M. Mattheij  
 medewerker: P.J.E.M. Wijckmans (AIO/OIO)  
 samenwerking: TUE-W, TNO-wegtransport  
 financiering: TUE-W/TNO
- 
- 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: vacature (AIO/OIO), vacature (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
- 
- UvA titel: *Multivariate Approximation*  
 periode: 1 september 1971 -  
 projectleider: Th.J. Dekker  
 medewerkers: P.R. Pfluger en Th.J. Ripmeester  
 samenwerking: met R.M.J. van Damme (UT), B. Mulansky (Uni-  
 versity of Dresden), M. Neamtu (Vanderbilt Uni-  
 versity) 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, Fokker  
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)
- 
- titel:            *Algebraic Multilevel-Iteration Methods with Appli-  
                          cations*  
        plaats:          Universiteit Nijmegen  
        tijd:             13-15 juni 1996  
        inlichtingen:   B. Polman (polman@sci.kun.nl), M. Neytcheva  
                          (neytchev@sci.kun.nl)
- 
- Parijs    titel:            ECCOMAS 96: Second ECCOMAS Conference on  
                          Numerical Methods in Engineering and Third EC-  
                          COMAS Computational Fluid Dynamics Conference

- plaats: Parijs  
 tijd: 9-13 september 1996  
 inlichtingen: ECCOMAS 96, Université de Paris VI, Laboratoire d'Analyse Numérique, Tour 55-65, fifth floor, 4, Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France (+33.1.44274411, fax: +33.1.44272700, eccomas96@ann.jussieu.fr)
- 
- RUG titel: *Aspects of Scientific Computing*  
 spreker: Gene H. Golub (Stanford University, USA)  
 plaats: Aula Academiegebouw, Broerstraat 5, Groningen  
 tijd: 9 april 1996, 19.30  
 inlichtingen: E.F.F. Botta (050-3633974, E.F.F.Botta@math.rug.nl)
- 
- RUL titel: *(College) 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: locale (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); "upwind" discretisering.  
 3. Basisconcepten uit analyse en lineaire algebra: booglengte, 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.



- inlichtingen: M.N. Spijker (071-5277132,  
spijker@wi.leidenuniv.nl)
- 
- TUD titel: *Aspects of Scientific Computing*  
 spreker: Prof. Gene Golub (Stanford University)  
 plaats: TUD, Mekelweg 4, zaal D  
 tijd: 10 april, 15.00 u.  
 inlichtingen: P. Wesseling
- 
- titel: ERCOFTAC Course on High Performance Computing in Fluid Dynamics  
 plaats: TUD  
 tijd: 24-28 juni 1996  
 inlichtingen: Mw. M.C.H. Oppenoorth-Moonen  
 (015-2783216, bc@wbmt.tudelft.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)
- 
- Zeist titel: *Woudschoten-conferentie 1996*  
 lokatie: Conferentiecentrum Woudschoten, Zeist  
 tijd: 25 september - 27 september 1996  
 programma: De thema's van deze conferentie zijn:  
 1: iteratieve methoden voor lineaire stelsels met sterk niet-symmetrische matrix,  
 2: numerieke methoden voor transportvergelijkingen

inlichtingen: J. Kok (020-5924107, Jan.Kok@cwi.nl),  
per adres: secretaris van de Voorbereidingscommis-  
sie Woudschoten-conferentie, CWI

---

## 6 Buitenlands bezoek

### 6.1 Recente en komende buitenlandse bezoekers

CWI	gast:	P. Schuhmacher (GEO Partner AG, Zürich)
	gastheer:	P.M. de Zeeuw
	periode:	7 december 1995
<hr/>		
KUN	gast:	K. Georgiev (Bulgarian Academy of Sciences)
	gastheer:	A.O.H. Axelsson
	periode:	1 december 1995 - 1 februari 1996
<hr/>		
	gast:	I. Kaporin (Universiteit Moskou)
	gastheer:	A.O.H. Axelsson
	periode:	15 mei - 15 juni 1996
<hr/>		
	gast:	M. Larin (Computing Centre Novosibirsk)
	gastheer:	A.O.H. Axelsson
	periode:	1 maart - 1 april 1996
<hr/>		
RUG	gast:	Gene H. Golub (Stanford University, USA)
	gastheer:	E.F.F. Botta
	periode:	9 - 10 april 1996
<hr/>		
TUD	gast:	M. Rosenfeld (Tel Aviv University, Israel)
	gastheer:	P. Wesseling
	periode:	5 - 9 februari 1996
<hr/>		
UT	gast:	Chaoyang Liu (Zhengzhou Univ., P.R. China)
	gastheren:	C.R.Traas, R.M.J.van Damme

periode: 15 november 1995 - 1 juni 1996

---

gast: L. Alboul (Moscow University 'RUDN')  
 gastheren: C.R. Traas, R.M.J. van Damme  
 periode: 1 december 1995 - 1 december 1996

---

UU gast: C.C. Paige (McGill University)  
 gastheer: H.A. van der Vorst  
 periode: half april - eind mei 1996

---

## 6.2 Recente en komende buitenlandse verblijven

Bonn gast: E. de Sturler (SCSC-ETH Zürich)  
 gastheer: dr. C.W. Oosterlee, prof.dr. U. Trottenberg (GMD)  
 periode: 3 maart 1995

---

Cagliari gast: E. de Sturler (SCSC-ETH Zürich)  
 gastvrouw: Cinzia Rossi (CRS4, Italië)  
 periode: 16 - 20 april 1996

---

Delft gast: E. de Sturler (SCSC-ETH Zürich)  
 gastheer: dr. H.X. Lin (TU Delft)  
 periode: 18 - 19 april 1995

---

Kiel gast: A. Reusken (TUE)  
 gastheer: prof.dr. W. Hackbusch (CAU)  
 periode: 10 - 14 december 1995

---

	gast:	R. Stevenson (KUN)
	gastheer:	prof.dr. W. Hackbusch (CAU)
	periode:	17 - 23 december 1995
	<hr/>	
New York	gast:	C.W. Oosterlee (13)
	gastheren:	prof. O. Widlund and prof. U. Trottenberg, Courant Institute, USA
	periode:	1 maart - 22 mei 1996
	<hr/>	
Rehovot	gast:	C.H. Venner (29)
	gastheer:	prof. A. Brandt, Weizmann Institute, Israel
	periode:	1 december - 31 december 1995 1 maart - 31 december 1996
	<hr/>	
St. Augustin	gast:	R. Stevenson (KUN)
	gastheer:	prof.dr. P. Oswald (GMD)
	periode:	4 - 6 maart 1996
	<hr/>	
Tokyo	gast:	A.W. Vreman (UT)
	gastheer:	dr. Y. Matsuo, National Aerospace Laboratory, Japan
	periode:	29 januari - 29 maart 1996
	<hr/>	
Tübingen	gast:	K.J. in 't Hout (RUL)
	gastheer:	prof.dr. Ch. Lubich, Universität Tübingen
	periode:	12 februari - 18 mei 1996
	<hr/>	

## 7 Ledeninformatie

### 7.1 Mutaties

Nieuw:	CWI	prof.dr.ir. H. van Duyn	<hr/>
	KUN	drs. L. Vijfvinkel	<hr/>
	LUW	dr. J. van Opheusden	<hr/>
	NLR(b)	dr.ir. J.J.W. van der Vegt	<hr/>
	TUD	J. Frank, M.Sc.	<hr/>
	TUE	dr. R.R. van Hassel	<hr/>
	UT	ir. R. van Buuren ir. C.H. Driesen	<hr/>
	UU	dr. K. Meerbergen	<hr/>
	(25)	drs.ir. S. Goossens	<hr/>
	(29)	ir. H.C. Stoker	<hr/>
	(33)	prof.dr. P. Van Dooren	<hr/>
	(34)	dr.ir. G. Rekers	<hr/>

<b>Met pensioen:</b>	LUW	drs. B.R. Damsté
		<hr/>
<b>Uit dienst:</b>	IMAU	ir. J. Kranenborg
		<hr/>
	KSEPL	ir. F.J. Jacobs
		<hr/>
	KSLA	ir. J. Piepers
		<hr/>
	TUE	dr.ir. G.A.L. van de Vorst
		<hr/>
	UT	ir. G.J.F.M.N. Delmulle
		<hr/>
	UvA	dr. Th.J. Ripmeester
		<hr/>
<b>Verhuisd:</b>	van TUD naar CWI	dr. J. Molenaar
		<hr/>
	van TUD naar UU	drs. M.N. Kooper
		<hr/>
	van TUD naar (13)	ir. E. Brakkee
		<hr/>
	van TUE naar (9)	dr. A.C. Berkenbosch
		<hr/>
	van UU naar (32)	dr. J.H. Brandts
		<hr/>
	van UU naar (35)	drs. D.R. Fokkema
		<hr/>
	van KSEPL naar (27)	dr. R.M. van der Weiden

Overleden: CWI dr. J.G.L. Booten

---

KNMI ir. F.H. Walsteijn

---

## 7.2 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.	IMAU	030-2533168	beets@ruunfs.fys.ruu.nl
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@cw.nl
Boender, drs. H.	CWI/RUL	020-5924102	henkb@cw.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(b)	0527-242922	mart.borsboom@widelft.nl
Botta, dr. E.F.F.	RUG	050-3633974	E.F.F.Botta@math.rug.nl
Brakkee, ir. E.	(13)	+49 2241142118	erik.brakkee@gmd.de
Brand, dr. M.G.E.	HP-Convex	030-2888368	brand@nl.convex.com
Brandts, dr. J.H.	(32)		J.H.Brandts@bristol.ac.uk
Broeze, dr.ir. J.	UT	053-4893416	broeze@math.utwente.nl
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
Dekker, dr. K.	TUD	015-2787291	K.Dekker@math.tudelft.nl
Dekker, prof.dr. Th.J.	UvA	0251-51092 (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(b)	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	030-2531529	dorssela@math.ruu.nl
Driessen, 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@cwil.nl
Eekhof, dr. H.R.	UT-RC	053-4892306	
Eggels, dr.ir. J.G.M.	KSLA		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	020-5924113	ever@cwil.nl
Eijkere, 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(b)	0527-242922	cor.flokstra@wldelft.nl
Fokkema, drs. 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
Gerritsen, dr.ir. H.	WL(a)	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(a)	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@dutcv5.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(b)	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
Heijstek, dr. J.J.	NLR(a)	0527-248463	heystek@nlr.nl
Heinsbroek, dr.ir. A.G.T.J.	WL(a)	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
Hogeweg, drs. M.	WL(b)	0527-242922	marten.hogeweg@wldelft.nl
Hogewei, 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	
Houtman, ir. E.M.	(24)	015-2785903	E.M.Houtman@LR.TUDeft.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
Hundsorfer, 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(a)	015-2569353	jan.vankester@wldelft.nl
Klopman, ir. G.	WL(b)	0527-242922	gert.klopman@wldelft.nl
Kok, drs. J.	CWI	020-5924107	jankok@cwil.nl
Kok, dr. J.M. de	RWS/RIKZ	070-3114310	dekok@rikz.rws.minvenw.nl
Kooper, drs. M.N.	UU	030-2532303	kooper@math.ruu.nl
Koren, dr.ir. B.	CWI	020-5924114	barry@cwil.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.	KSLA	020-6302108	kramer6@ksla.nl
Kruisbrink, ir. A.C.H.	WL(a)	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@cwil.nl
Loon, ir. M. van	CWI	020-5924105	vanloon@cwil.nl
Loon, dr. P.M. van	(22)	040-2744659	
Lu, dr. H.	KUN	024-3652489	haolu@sci.kun.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(a)	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, ir. D.G.	WL(b)	0527-242922	douwe.meijer@wldelft.nl
Meijer, dr.ir. K.L.	WL(b)	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@cwil.nl

Molenaar, dr. J.	TUE-IWDE	040-2474757	jaapm@win.tue.nl
Mooiman, ir. J.	WL(a)	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	mulderw@ksepl.nl
Mur, dr.ir. G.	TUD-EL	015-2786294	mur@et.tudelft.nl
Mynett, dr.ir. A.E.	WL(a)	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@cwil.nl
Noot, ir. M.J.	TUE	040-2474578	wsanmn@win.tue.nl
Nooyen, dr. R.R.P. van	TUD	015-2787291	witaron@dutita4.twi.tudelft.nl
Noordmans, ir. J.	CWI	020-5924122	jaapn@cwil.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
Otta, dr. A.K.	WL(b)	0527-242922	ashwini.otta@wldelft.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(b)	0527-242922	henri.petit@wldelft.nl
Pflugger, dr. P.	UvA	020-5255204	pia@fwi.uva.nl
Ploeg, dr.ir. A. van der	RUG	050-3633996	ploeg@math.rug.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(a)	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, 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.	KSLA	020-6303400	romate1@ksla.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
Snoo, ir. S.L. de	TUE	040-2475019	wsansl@win.tue.nl

Sommeijer, dr. B.P.	CWI	020-5924192	bsom@cw.nl
Sonneveld, ir. P.	TUD	015-2783732	P.Sonneveld@math.tudelft.nl
Spee, drs. E.J.	CWI	020-5924105	edwins@cw.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	
Steen, drs. A. van der	ACCU		
Stevenson, dr. R.P.	KUN	080-3652296	stevenson@sci.kun.nl
Stelling, prof.dr.ir. G.S.	WL(a)	015-2569353	guus.stelling@wdelft.nl
Stijn, dr.ir. Th.L. van	RWS/RIKZ		stijn@rikz.rws.r.invenw.nl
Stoker, dr.ir. H.C.	(29)	053-4894014	H.C.Stoker@wb.utwente.nl
Stortelder, ir. W.J.H.	CWI	020-5924122	walterst@cw.nl
Straetemans, drs. F.A.J.	RUL	071-5277119	francstr@wi.leidenuniv.nl
Streng, dr.ir. M.	UT	053-4893430	twmartin@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@cw.nl
Talman, dr. A.J.J.	KUB		
Tan, dr. K.H.	WL(b)	0527-242922	Kian.Tan@wdelft.nl
Temme, dr. N.M.	CWI	020-5924240	nicot@cw.nl
Thije Boonkkamp, 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.	(18)	015-2782997	L.Timmermans@wbmt.tudelft.nl
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
Vatvani, ir. D.K.	WL(a)	015-2569353	deepak.vatvani@wdelft.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@cw.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
Venner, dr.ir. C.H.	(29)	053-4892488	c.h.venner@wb.utwente.nl
Verboom, dr.ir. G.K.	WL(b)	0527-242922	gerrit.verboom@wdelft.nl
Verheggen, dr.ir. T.M.M.	KSLA		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@cw.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
Vorst, prof.dr. H.A. van der	UU	030-2533732	vorst@math.ruu.nl
Vos, dr. R.J.	WL(a)	015-2569353	robert.vos@wdelft.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. 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(b)	0527-242922	anne.wijbenga@wldelft.nl
Wijckmans, ir. P.M.E.J.	TUE	040-2472112	patrickw@win.tue.nl
Wilders, dr. P.	TUD	015-2785535	p.wilders@math.tudelft.nl
Winter, D.T.	CWI	020-5924098	dik@cwil.nl
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	020-5924113	pauldz@cwil.nl
Zegeling, dr. P.A.	UU	030-2533720	zegeling@math.ruu.nl
Zijlema, 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 Arnhem. Postbus 60, 6800 AB Arnhem. Tel.: 026-3664433.
- CWI      Centrum voor Wiskunde en Informatica, Kruislaan 413, 1098 SJ Amsterdam. Postbus 94079, 1090 GB Amsterdam. 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., Europalaan 514, 3526 KS Utrecht. Tel.: 030-2888368, Fax: 030-2892942.
- IMAU      Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht, Buys-Ballot Laboratorium, Princetonplein 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 & Productie Laboratorium, Volmerlaan 6, 2288 GD Rijswijk. Postbus 60, 2280 AB Rijswijk. Tel.: 070-3113911 of 311 en doorkiesnummer.
- KSLA Koninklijke/Shell Laboratorium, 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,
(a)	Rotterdamseweg 185, 2629 HD Delft. Postbus 177, 2600 MH Delft. Tel.: 015-2569353. Fax: 015-2619674.
(b)	Voorsterweg 28, 8316 PT Marknesse. Postbus 152, 8300 AD Emmeloord. Tel.: 0527-242922. Fax.: 0527-243573.

## 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, Veldzigt 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. Bristol University, School of Mathematics, University Walk, Bristol BS8 1TW, Engeland.
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. TNC-Bouw, Numerieke Mechanica, Postbus 49, 2600 AA Delft.