

nr.30, maart 1994

Het Nummer

**Nieuwsbrief van de
Werkgemeenschap Numerieke Wiskunde**

Het Nummer

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

Redactie:	B. Koren P. Wesseling	CWI TUD
Redaktiesecretariaat en ledenadministratie:	Mw. S. Panka - van der Wolff tel: 020-5924189 fax: 020-5924199 e-mail: simone@cw.nl	CWI
Correspondenten:	R.H. Bisseling M.J.A. Borsboom E.F.F. Botta R. de Bruin J.C.M. Dijkzeul J.C.H. van Eykeren M. de Gee R.H.J. Gmelig Meyling J.A. van de Griend W. Hoffmann R. van der Hout J.K.M. Jansen A. Kattenberg H.T.M. van der Maarel P. 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 P. Wesseling L. Wuytack	UU WL(b) RUG RUG-RC ICIM RIVM LUW KSEPL RUL UvA AKZO TUE KNMI MARIN CONVEX TUE-IWDE TUD-EL ECN KUB KUN PhNL+PhMS NLR(a) UU-ACCU EUR RWS/DGW UT VUA KSLA CWI TUD UIA

Werkgemeenschapscommissie:	P. Wesseling (voorzitter)	TUD
	B. Koren (secretaris)	CWI
	A.O.H. Axelsson	KUN
	J.W. Boerstoe	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

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.

De redactie.

Inhoud

1	Nieuws uit de Werkgemeenschap	5
1.1	Notulen van de Werkgemeenschapscommissie-vergadering, gehouden op 27 september 1993, Conferentiecentrum Woudschoten	5
1.1.1	Opening	5
1.1.2	Samenstelling Werkgemeenschapscommissie	5
1.1.3	Bespreking continueringsaanvragen 1994	5
1.1.4	Uit de Wetenschapscommissie van de SMC	5
1.1.5	Rondvraag	7
1.1.6	Sluiting	7
1.2	Verslag van de 18 ^e Conferentie Numerieke Wiskunde, gehouden in het conferentiecentrum 'Woudschoten' te Zeist op 27, 28 en 29 september 1993	7
1.2.1	Doel van de conferentie	7
1.2.2	Organisatie	7
1.2.3	Spreekers, met de titels van hun voordrachten	8
1.2.4	Overzicht van het aantal deelnemers en hun herkomst (exclusief gastsprekers)	9
1.3	Notulen van de Woudschoten-vergadering, Werkgemeenschapscommissie Numerieke Wiskunde, gehouden te Zeist, 27 september 1993	9
1.3.1	Opening	9
1.3.2	Overdracht voorzitterschap	9
1.3.3	Onderwerpen 1994	10
1.3.4	Conferentie 1994	10
1.3.5	Rondvraag	11
1.3.6	Sluiting	11
1.4	Verder nieuws uit de Werkgemeenschap	11
1.4.1	Werkgemeenschapscolloquia	11
1.4.2	Eéndags-symposium te Leiden	11
1.4.3	Colloquium te Eindhoven	12
2	Publikaties	13
3	Promoties	27
3.1	Recente en komende promoties	27
3.2	Samenvattingen proefschriften	28
3.2.1	Preconditioning for Sparse Matrices with Applications (A. van der Ploeg)	28
3.2.2	Robust Multigrid Methods for the Steady and Unsteady Incompressible Navier-Stokes Equations in General Coordinates (C.W. Oosterlee)	30
3.2.3	Direct and Large Eddy Simulation of Turbulent Flow in a Cylindrical Pipe Geometry (J.G.M. Eggels)	31

3.2.4	Iterative Solution Methods for Linear Equations in Finite Element Computations (M.B. van Gijzen)	34
3.2.5	Modelling and Numerical Simulation of Viscous Sintering (G.A.L. van de Vorst)	36
3.2.6	A Local Grid Refinement Method for the Euler Equations (H.T.M. van der Maarel)	38
3.2.7	Local Uniform Grid Refinement Method for Time-Dependent Partial Differential Equations (R.A. Trompert)	40
3.2.8	Parallel Runge-Kutta-Nyström Methods (Nguyen huu Cong)	41
3.2.9	Numerical Techniques for Transonic Flow Calculations (J.W. van der Burg)	43
4	Onderzoeksprojecten	46
5	Werkbijeekomsten	50
6	Op bezoek	53
6.1	Recente en komende buitenlandse bezoekers	53
6.2	Recente en komende buitenlandse verblijven	55
7	Ledeninformatie	56
7.1	Mutaties	56
7.2	Ledenlijst	57
8	Adressen	62
8.1	Instituten en bedrijven	62
8.2	Overigen	65

1 Nieuws uit de Werkgemeenschap

1.1 Notulen van de Werkgemeenschapscommissie-vergadering, gehouden op 27 september 1993, 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, A. van der Sluis, M.N. Spijker, C.R. Traas, M. van Veldhuizen, H.A. van der Vorst, P. Wesseling (voorzitter).

Bericht van verhindering: M.H.C. Paardekooper, A.E.P. Veldman.

1.1.1 Opening

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

1.1.2 Samenstelling Werkgemeenschapscommissie

De voorzitter deelt mee dat aftredend als lid van de Werkgemeenschapscommissie zijn: Veldman, Van der Vorst, Wesseling en Axelsson. Van der Vorst, Wesseling en Axelsson stellen zich weer beschikbaar als lid, Wesseling weer als voorzitter. (Daags na de vergadering stelt ook Veldman zich weer beschikbaar als lid.) Voorgesteld wordt om Wesseling voor een periode van vier jaar als voorzitter te herbenoemen. Alle vier aftredende leden van de Werkgemeenschapscommissie worden in hun oude functie herkozen. (Hun herverkiezing is goedgekeurd in de op 28 september gehouden Algemene Ledenvergadering van de Werkgemeenschap.)

1.1.3 Bespreking continueringaanvragen 1994

De commissie is unaniem van mening dat de vier NWO-projecten¹ waarvoor continueringaanvragen voor 1994 zijn ontvangen, naar behoren verlopen en normaal gecontinueerd dienen te worden.

1.1.4 Uit de Wetenschapscommissie van de SMC

De voorzitter meldt dat de Wetenschapscommissie wordt opgeheven, en dat daarvoor in de plaats een Wetenschappelijke Raad zal komen (zie ook ²). Deze

¹nr. 611-302-012. Foutenanalyse van numerieke methoden voor het oplossen van beginwaardeproblemen (Spijker).

nr. 611-302-C21. Reken- en communicatiecomplexiteit voor preconditioneringsmethoden (Axelsson).

nr. 611-302-024. Invariante discretiserings- en oplosmethoden voor de behoudswetten voor incompressibele stromingen (Wesseling).

nr. 611-302-025. Globale tijd-ruimte discretisatiemethoden (Axelsson).

²*Mededelingen van het Wiskundig Genootschap*, **6**, 297-299 (1993).

verandering is een reactie van de SMC op de NWO-operatie "NWO op maat". De SMC wil geen onbelangrijke stichting worden, nu de Werkgemeenschappen hun beoordelende functie (beoordeling van subsidieaanvragen) kwijt zijn. (Verwacht wordt dat er ter beoordeling van subsidieaanvragen jury's zullen komen waarvan de leden individueel gevraagd zullen worden.) De Werkgemeenschappen behouden alleen hun forumfunctie, de prioreringsfunctie gaat waarschijnlijk naar de Wetenschappelijke Raad. De gedachte achter deze reorganisatie is dat het Gebiedsbestuur Exacte Wetenschappen tegenstander is van 'verdelende rechtvaardigheid' bij de toewijzing van onderzoeksgeld. Aanvankelijk wilde het Gebiedsbestuur de SMC ook haar geldgevende functie ontnemen. De SMC heeft zich hiertegen met succes verzet; zij krijgt in de toekomst ongeoormerkt geld en mag dit zelf verdelen (over het CWI en landelijke projecten). Verwacht wordt dat vooral de grotere projecten gehonoreerd zullen gaan worden. NWO wenst een verschuiving van OIO- naar post-doc-projecten; NWO wil vooral het toponderzoek stimuleren en denkt met post-doc-projecten meer te kunnen toevoegen naast de AIO-projecten van de universiteiten, dan met OIO-projecten. Eén van de leden van de Werkgemeenschapscommissie vraagt zich af of de huidige post-doc-posities vaak geen veredelde parkeerposities zijn, bedoeld voor de opvang van veelbelovende jonge onderzoekers die elders geen onderzoekersbaan kunnen vinden vanwege de huidige slechte arbeidsmarkt. Het commissielid denkt dat deze parkeerposities voor post-docs sterk ten nadele kunnen werken van het aantal OIO-posities (gezien de veel hogere arbeidskosten van een post-doc). Een ander commissielid merkt op dat het zijns inziens een goede zaak is om jonge onderzoekers die momenteel elders geen onderzoekersbaan kunnen vinden toch een perspectief te bieden. Deze parkeermotivatie wordt door NWO overigens niet onder stoelen of banken gestoken. In de toekomst blijft er geld beschikbaar voor individuele projectaanvragen, maar het lijkt raadzaam om bij grote, collectieve (bij voorkeur multidisciplinaire) aanvragen aan te sluiten, bijv. bij aanvragen voor prioriteitenprogramma's. Wat nu veel kans maakt als prioriteitenprogramma is High Performance Computing. Voor een overzicht over subsidiemogelijkheden, dienen geraadpleegd te worden: het inlichtingenboekje van de SMC, en NWO- en KNAW-documenten. Op de vraag of de WNW een interessegebied moet claimen, wordt geantwoord dat het nu het moment is om op HPC in te gaan en dat hiertoe ook al een commissie actief is, bestaande uit Ten Hagen (CWI), Nieuwstadt (TUD), Van Oortmerssen (CWI), Van der Vorst en Wesseling. Deze commissie bereidt een prioriteitenprogramma HPC voor vanuit SMC-geld. Los van de WNW, SMC en NWO is er ook nog de "Commissie Zandbergen" die een HPCN-programma voorbereidt. Mocht de "Commissie Zandbergen" slagen, dan zullen de Nederlandse numerici daar ook van profiteren. De Werkgemeenschapscommissie concludeert dat er geld boven de markt hangt en dat het als Werkgemeenschap goed is om voorbereid te zijn op het doen van een aanvraag.

Voor wat de toekomst van de WNW betreft ziet de Werkgemeenschapscommissie nog een duidelijk nut in het uitoefenen van haar forumfunctie. Voorgesteld wordt om twee keer per jaar een vergadering van de Werkgemeenschapscommissie

sie te houden: tijdens de Woudschotenconferentie en tijdens het Mathematisch Congres.

1.1.5 Rondvraag

Op de vraag naar promovendi die een voordracht zouden kunnen houden tijdens een in december te houden WNW-Colloquium, worden een drietal namen genoemd, een voldoende aantal.

1.1.6 Sluiting

± 21.30 u. De voorzitter sluit de vergadering.

1.2 Verslag van de 18^e Conferentie Numerieke Wiskunde, gehouden in het conferentiecentrum 'Woudschoten' te Zeist op 27, 28 en 29 september 1993

1.2.1 Doel van de conferentie

De Conferentie Numerieke Wiskunde wordt eenmaal per jaar gehouden onder auspiciën van de Werkgemeenschap Numerieke Wiskunde. Het doel van de conferentie is kennis te nemen van recente ontwikkelingen binnen de numerieke wiskunde. Hiertoe worden jaarlijks twee thema's vastgesteld. Enkele (buitenlandse) deskundigen worden uitgenodigd over deze thema's lezingen te houden. In 1993 waren de thema's:

A: Convergentieversnellings technieken: extrapolatie- en continueringsmethoden,

B: Inverse problemen in differentiaalvergelijkingen.

1.2.2 Organisatie

De organisatie was in handen van de voorbereidingscommissie bestaande uit: P.W. Hemker (voorzitter), R.M.M. Mattheij, A.O.H. Axelsson, M.H.C. Paardekooper en B.P. Sommeijer (secretaris). Organisatorische medewerking is verleend door het CWI. Financiële ondersteuning is gegeven door NWO via de Vertrouwenscommissie van het Wiskundig Genootschap. Tevens is er een financiële bijdrage geschonken door Computing & Systems Consultants bv (Eindhoven).

1.2.3 Sprekers, met de titels van hun voordrachten

- Thema A: C. Brezinski (Université de Lille, France),
 (i) *An introduction to extrapolation methods,*
 (ii) *A new extrapolation procedure for solving linear systems.*
- K. Georg (Colorado State University, USA),
 (i) *Numerical continuation methods,*
 (ii) *Numerical integration of implicitly defined surfaces.*
- A. Sidi (Israel Institute of Technology, Israel),
 (i) *A survey of recent developments in vector extrapolation methods,*
 (ii) *Application of vector extrapolation methods to large sparse linear systems; new error bounds in the presence of initial iterations.*
- Thema B: G. Chavent (INRIA, France),
 (i) *Mathematical tools for the analysis of nonlinear least squares arising in inverse problems,*
 (ii) *On the advantage of state-space regularization for nonlinear least squares problems.*
- K. Kunisch (Technische Universität Graz, Austria),
 (i) *Augmented Lagrangian - sequential quadratic programming techniques for nonlinear least squares problems,*
 (ii) *Illposedness and regularization of inverse problems associated with partial differential equations.*
- M.A. Viergever (University of Utrecht, The Netherlands),
 (i) *Iterative methods for image reconstruction from projections,*
 (ii) *Mathematical topics in medical image processing.*

Tevens werden korte voordrachten gegeven door: A.J. Weisenborn, KSLA (Thema A) en M. van Veldhuizen, VUA (Thema B).
 Informatie omtrent NAG software-producten werd verzorgd door Computing & Systems Consultants bv (Eindhoven).

1.2.4 Overzicht van het aantal deelnemers en hun herkomst (exclusief gastsprekers)

<i>herkomst</i>	1993	1992	1991	1990	1989
Nederlandse wetensch. instellingen	49	56	46	43	53
Nederlandse bedrijven	6	6	4	7	17
Overigen / Buitenland	3	6	9	4	2
totaal	58	68	59	54	72

1.3 Notulen van de Woudschoten-vergadering, Werkge-meenschapscommissie Numerieke Wiskunde, gehouden te Zeist, 27 september 1993

Aanwezig: A.O.H. Axelsson, J.W. Boerstoel, Th.J. Dekker, J. de Groot, P.W. Hemker, P.J. van der Houwen, R.M.M. Mattheij, A. van der Sluis, B.P. Sommeijer, M.N. Spijker, C.R. Traas, M. van Veldhuizen, H.A. van der Vorst, P. Wesseling.

Vorbereidingscommissie 1993: Hemker (voorzitter), Mattheij, Axelsson, Paardekooper, Sommeijer (secretaris).

1.3.1 Opening

De voorzitter opent de vergadering en doet verslag van de gang van zaken omtrent de organisatie van de conferentie 1993. Mede dankzij de adviezen van de toegevoegde leden Axelsson en Paardekooper is men er dit jaar opnieuw in geslaagd een groep van interessante sprekers bijeen te krijgen. De secretaris doet verslag van de financiële situatie. Van de Vertrouwenscommissie is een bedrag van fl. 8000,- ontvangen. Tevens is er een sponsorbedrag van fl. 500,- ontvangen van Computing & Systems Consultants bv. Op grond van deze bedragen en conform de afspraken gemaakt tijdens de vorige vergadering, is elke spreker in de eerste uitnodigingsbrief een bedrag toegezegd voor reiskosten, zodanig dat de begroting sluitend kon worden gemaakt. In de toekomst kan wellicht ook een beroep worden gedaan op de pot voor de landelijke activiteiten (beheerd door de SMC). Aangezien de Vertrouwenscommissie waarschijnlijk ophoudt te bestaan, althans lijkt te worden ingebed in de SMC, zal het volgende verzoek om subsidie welhaast zeker bij de SMC worden ingediend.

1.3.2 Overdracht voorzitterschap

Hemker draagt het voorzitterschap over aan (de vice-voorzitter) Mattheij. Deze bedankt de afgetreden voorzitter en de overige commissieleden (die bereid werden gevonden de 1993 Woudschoten Conferentie voor te bereiden) voor gedane werkzaamheden. De vergadering gaat akkoord met het voorstel van Mattheij

om De Groot te benoemen als vice-voorzitter van de voorbereidingscommissie voor de 1994-conferentie.

1.3.3 Onderwerpen 1994

De voorzitter (Mattheij) noemt de volgende onderwerpen: boundary element methoden, chaotisch gedrag in weersvoorspelling, turbulentie-modellering. Tevens worden voorgesteld: HPC(N), massaal parallel rekenen, waveform relaxatie, niet-generieke software, visualisatie, DAEs. Na enige discussie en afweging (sommige onderwerpen worden te efemeer geacht), formuleert de voorzitter de volgende thema's:

- Thema A: High Performance Computing, met speciale aandacht voor:
- (i) schaalbare algoritmen,
 - (ii) parallel multigrid,
 - (iii) grote (lineaire) stelsels,
 - (iv) domeindecompositie,
 - (v) waveform relaxatie.
- Thema B: DAEs.

De vergadering stemt hiermee in en besluit - gezien de zwaarte van thema A - daarvoor vier sprekers uit te nodigen en twee sprekers voor thema B. Voor deze onderwerpen worden respectievelijk Van der Vorst en Van Veldhuizen als adviserende leden aan de voorbereidingscommissie toegevoegd. De volgende kandidaatsprekers worden genoemd:

- | | |
|----------------------------|--|
| Schaalbare algoritmen: | Wijshof/Peters (Leiden), Tuminaro (Toulouse), di Brosolo (IBM Sardinië), Hansen (Kopenhagen), Gentsch (München). |
| Parallel multigrid: | Stüben (Bonn), Vanderwalle (Los Angeles). |
| Grote (lineaire) stelsels: | Simon (USA), Duff (Oxford). |
| Domeindecompositie: | Chan (Los Angeles), Keyes (San Fransisco). |
| Waveform relaxatie: | Pohl (Zürich), Vanderwalle (Los Angeles). |
| DAEs: | März (Berlijn),
Lubich (Würzburg), Leimkühler, Führer, Petzold (Minneapolis), Rentrop (München), Hairer (Genève). |

1.3.4 Conferentie 1994

Besloten wordt de volgende conferentie te organiseren op 26, 27 en 28 september 1994, wederom te Woudschoten.

1.3.5 Rondvraag

De voorbereidingscommissie 1994 wordt nog geadviseerd de sprekers duidelijk te laten weten dat de eerste voordracht inleidend van karakter dient te zijn en dat de expliciet in het programma vermelde discussietijd gehandhaafd dient te worden.

1.3.6 Sluiting

Niets meer aan de orde zijnde, sluit de voorzitter de vergadering.

1.4 Verder nieuws uit de Werkgemeenschap

1.4.1 Werkgemeenschapscolloquia

Het 27^e en 28^e Werkgemeenschapscolloquium vonden plaats bij het CWI, op 12 februari, resp. 22 december 1993. Hier spraken:

12 februari: J.W. van der Burg, *Roe's scheme and a MUSCL technique applied to the ISNaS compressible Navier-Stokes solver*

C.W. Oosterlee, *Robust multigrid schemes for steady and unsteady incompressible Navier-Stokes equations in general coordinates*

H.T.M. van der Maarel, *Local grid refinement and multigrid for inviscid flow computations*

22 december: J.L.M. Dorsselaer, *Stability of fully discrete spectral-collocation methods in the numerical solution of convection-diffusion problems*

M.B. van Gijzen, *Iterative solution methods for linear equations in finite element computations*

R.A. Trompert, *Local uniform grid refinement for time-dependent partial differential equations*

1.4.2 Eéndags-symposium te Leiden

De Sectie Numerieke Wiskunde aan de Rijksuniversiteit Leiden organiseerde op 7 december 1993, in samenwerking met de Werkgemeenschap Numerieke Wiskunde, een ééndags-symposium. Thema was: theoretische en praktische aspecten van numerieke oplossingsmethoden voor beginwaardeproblemen bij gewone en partiële differentiaalvergelijkingen. Hier spraken:

's morgens: Ch. Lubich (Universität Würzburg), *Runge-Kutta approximation of quasilinear parabolic equations*

K.J. in 't Hout (CWI), *Convergence of waveform relaxation methods for nonlinear differential equations*

J.G. Verwer (CWI), *Towards a fast solver for stiff ODE problems from atmospheric air pollution modelling*

's middags: W.H. Hundsdorfer (CWI), *Time integration aspects for linear advection equations*

J.H.M. ten Thije Boonkamp (TUE), *Numerical methods for the reactive Euler equations*

G.S. Stelling (WL(a)), *Numerical techniques for three dimensional simulation of estuaria*

1.4.3 Colloquium te Eindhoven

De vakgroep Analyse van de TUE organiseerde in samenwerking met de Werkgemeenschap Numerieke Wiskunde een colloquium op 25 november 1993. Het thema was: Applications of Multigrid Methods. Het programma was als volgt:

J. Janssen (KU Leuven), *Multigrid waveform relaxation: an overview,*

W. Mulder (KSEPL), *Computing unstable two-phase flow problems using multigrid,*

P. de Zeeuw (CWI), *Some black-box solvers for sparse linear systems,*

G. Wittum (Universität Heidelberg), *Multi-grid methods - fast solvers for flow problems.*

2 Publikaties

1. G.T. ANTHONY, H.M. ANTHONY, B. BITTNER, B.P. BUTLER, M.G. COX, R. DRIESCHNER, R. ELLIGSEN, A.B. FORBES, H. GROSS, S.A. HANNABY, P.M. HARRIS AND J. KOK, *Chebyshev best-fit geometric elements*, CWI-Report NM-R9317, 1993 (also appeared as: NPL Report DITC 221/93, National Physical Laboratory, Teddington, UK).
2. G.T. ANTHONY, B. BITTNER, B.P. BUTLER, M.G. COX, R. DRIESCHNER, R. ELLIGSEN, A.B. FORBES, S.A. HANNABY, P.M. HARRIS AND J. KOK, *Chebyshev reference software for the evaluation of coordinate measuring machine data*, Report EUR 15304 EN, Commission of the European Communities, Directorate General XII, Science, Research and Development, Brussels - Luxembourg, 1993.
3. O. AXELSSON, *On mesh independence and Newton-type methods*, Proceedings ISNA 92, Prague, 1992, Applications of Mathematics 38, 249-265, 1993.
4. O. AXELSSON AND W. LAYTON, *A two-level method for the discretization of nonlinear boundary value problems*, Report 9314, Department of Mathematics, Catholic University of Nijmegen, 1993.
5. O. AXELSSON, H. LU AND B. POLMAN, *On the numerical radius of matrices and its application to iterative solution methods*, Report 9308, Department of Mathematics, Catholic University of Nijmegen, 1993 (to appear in Linear and Multilinear Algebra).
6. O. AXELSSON AND M. NEYTCHEVA, *Finding eigenvalues in an interval using parallelizable algorithms*, Report 9302, Department of Mathematics, Catholic University of Nijmegen, 1993.
7. O. AXELSSON, M. NEYTCHEVA AND B. POLMAN, *An Application of the bordering method for solving nearly singular systems*, Seminar "Numerical Mathematics in Theory and Practice", Plzen, Czech Republic, January 25-26, 1993, 28-54, University of Bohemia, Dep. of Mathematics, 1993.
8. O. AXELSSON, M. NEYTCHEVA AND B. POLMAN, *The bordering method as a preconditioning method*, Report 9348, Department of Mathematics, Catholic University of Nijmegen, 1993 (to appear in proceedings of seminar, organized by the Institute of Mathematics and Cybernetics, Moscow State University, March 20-27, Moscow, 1993).
9. R. BARRETT, M. BERRY, T. CHAN, J. DEMMEL, J. DONATO, J. DONGARRA, V. EIJKHOUT, R. POZO, C. ROMINE AND H. VAN DER VORST, *Templates for the Solution of Linear Systems: Building Blocks for Iterative Methods*, SIAM, Philadelphia, 1994.

10. P.C.W. VAN BEEK AND P. WESSELING, *Finite volume discretization of the incompressible Navier-Stokes equations in non-smooth boundary-fitted coordinates in two dimensions*, Report 93-57, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, 1993.
11. A.C. BERKENBOSCH, E.F. KAASSCHIETER AND J.H.M. TEN THIJE BOONKKAMP, *A characteristic method for one-dimensional scalar hyperbolic conservation laws with stiff source terms*, Report 93-05 of the Department of Mathematics and Computing Science, Eindhoven University of Technology, 1993.
12. R.H. BISSELING, *Parallel iterative solution of sparse linear systems on a transputer network*, in: Proc. IMA Conf. on Parallel Computing, Oxford 1991, (A.E. Fincham and B. Ford, eds.), 253-273, Oxford University Press, Oxford, 1993.
13. R.H. BISSELING, T.M. DOUP AND L.D.J.C. LOYENS, *A parallel interior point algorithm for linear programming on a network of transputers*, Annals of Operations Research, 43, 51-86, 1993.
14. R.H. BISSELING AND W.F. MCCOLL, *Scientific computing on bulk synchronous parallel architectures*, Preprint 836, Dept. of Mathematics, Utrecht University, 1993.
15. J.G. BLOM AND J.G. VERWER, *VLUGR2: A vectorized local uniform grid refinement code for PDEs in 2D*, CWI Report NM-R9306, 1993.
16. J.G. BLOM AND J.G. VERWER, *A 3D adaptive-grid code for time-dependent partial differential equations*, CWI-Report NM-R9319, 1993.
17. J.G. BLOM, J.G. VERWER AND R.A. TROMPERT, *A comparison between direct and iterative methods to solve the linear systems arising from a time-dependent 2D groundwater flow model*, Comp. Fluid Dynamics, 1, 95-113, 1993.
18. E.F.F. BOTTA AND F.W. WUBS, *The convergence behaviour of iterative methods on severely stretched grids*, Int. J. Num. Meth. Eng., 36, 3333-3350, 1993.
19. M.R. CRISCI, P.J. VAN DER HOUWEN, E. RUSSO AND A. VECCHIO, *Stability of parallel Volterra-Runge-Kutta methods*. J. Comput. Appl. Math., 45, 168-180, 1993.
20. H. DECONINCK, P.W. HEMKER AND B. KOREN, *New trends in the solution of the Navier-Stokes equations for compressible flows*, in: Proceedings of the Aerodays 93, 2nd European Communities Aeronautics RTD Conference, Naples, 1993, 109-116 (H.J. Allgeier, ed.), Commission of the European Communities, DG XIII, Telecommunications, Information Market and Exploitation of Research, Luxembourg, 1993.

21. T.J. DEKKER, W. HOFFMANN AND K. POTMA, *Stability of Gauss-Huard elimination for solving linear systems*, Technical report CS-93-08, Dept. of Comp. Sys, Univ. of Amsterdam, 1993.
22. J. DEMMEL, M. HEATH AND H. VAN DER VORST, *Parallel Linear Algebra*, Acta Numerica 1993, Cambridge University Press, 111-198, Cambridge, 1993.
23. J.J. DONGARRA AND H.A. VAN DER VORST, *Performance of various computers using standard sparse linear equations solving techniques*, in: J.J. Dongarra and W. Gentzsch (eds), Computer Benchmarks, Advances in Parallel Computing, Volume 8, 177-188, North-Holland, Amsterdam, 1993. (also in Supercomputer, 9, 17-29, 1992.)
24. J.L.M. VAN DORSSELAER AND W.H. HUNSDORFER, *A stability estimate based on numerical ranges with application to a spectral discretization of a convection-diffusion equation*, RUL Report TW-93-12, 1993.
25. J.L.M. VAN DORSSELAER, J.F.B.M. KRAAIJEVANGER AND M.N. SPIJKER, *Linear stability analysis in the numerical solution of initial value problems*, in: Acta Numerica 1993, ed. A. Iserles, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
26. J.L.M. VAN DORSSELAER, J.F.B.M. KRAAIJEVANGER AND M.N. SPIJKER, *About stability estimates and resolvent conditions*, in: Numerical Analysis and Mathematical Modelling, Banach Center Publications, Vol. 29, Inst. Math., Pol. Ac. Sc., Warszawa (1993).
27. M.B. VAN GIJZEN, *An analysis of element-by-element preconditioners for nonsymmetric problems*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 105, 23-40, 1993.
28. M.B. VAN GIJZEN, *A polynomial preconditioner for the GMRES algorithm*, TNO-report 93-NM-R0536, 1993.
29. M.B. VAN GIJZEN, *A practical comparison of some GMRES-like methods on a CRAY Y-MP*, TNO-report 93-NM-R0854, 1993.
30. J. GROENEWEG, *On the error committed by stopping the Newton iteration in Runge-Kutta methods and linear multistep methods*, RUL report TW-93-13, 1993.
31. J. GROENEWEG AND M.N. SPIJKER, *On the error due to the stopping of the Newton iteration in implicit linear multistep methods*, RUL report TW-93-05, 1993.
32. M. HANKE, R.M.M. MATTHEIJ AND R. MÄRZ, *On the stability behaviour of systems obtained by index-reduction*, Preprint Nr 92-27, Fachbereich Mathematik, Humboldt U. Berlin, 1992.

33. D.R. HEATH-BROWN, W.M. LIOEN AND H.J.J. TE RIELE, *On solving the Diophantine equation $x^3 + y^3 + z^3 = k$ on a vector computer*, Math. Comput., 61, 235-244, 1993.
34. P.W. HEMKER AND J.-A. DÉSIDÉRI, *Convergence behaviour of defect correction for hyperbolic problems*, J. Comput. Appl. Math., 45, 357-365, 1993.
35. P.W. HEMKER AND J. KOK, *A project on parameter identification in reaction kinetics*, CWI-Report NM-R9301, 1993.
36. P.W. HEMKER, T.H. KOORNWINDER AND N.M. TEMME, *Wavelets: mathematical preliminaries*, in: Wavelets: An Elementary Treatment of Theory and Applications, 13-26 (T.H. Koornwinder, ed.), World Scientific Publishing, 1993.
37. P.W. HEMKER AND F. PLANTEVIN, *Wavelet bases adapted to inhomogeneous cases*, in: Wavelets: An Elementary Treatment of Theory and Applications, 107-128 (T.H. Koornwinder, ed.), World Scientific Publishing, 1993.
38. P.W. HEMKER AND P.M. DE ZEEUW, *BASIS3: A data structure for 3-dimensional sparse grids*, CWI-Report NM-R9321, 1993.
39. W. HOFFMAN, K. POTMA AND Z.W. ZHANG, *Solving dense linear systems efficiently on the Parsytec GCel* Technical report CS-93-16, Dept. of Comp. Sys, Univ. of Amsterdam, 1993.
40. K.J. IN 'T HOUT, *A new interpolation procedure for adapting Runge-Kutta methods to delay differential equations*, BIT 32, 634-649, 1992.
41. K.J. IN 'T HOUT, *The stability of θ -methods for systems of delay differential equations*, Report, Dept. Math. and Stat., Univ. of Auckland, New Zealand, 1993.
42. K.J. IN 'T HOUT, *A note on unconditional maximum norm contractivity of waveform relaxation Runge-Kutta methods*, Report, Dept. Math. and Stat., Univ. of Auckland, New Zealand, 1993.
43. P.J. VAN DER HOUWEN, *Parallel step-by-step methods*, Appl. Numer. Math., 11, 69-81, 1993.
44. P.J. VAN DER HOUWEN, *Preconditioning in implicit initial value problem methods on parallel computers*, Advances in Computational Mathematics, 1, 39-60, 1993.
45. P.J. VAN DER HOUWEN AND NGUYEN HUU CONG, *Parallel Block Predictor-Corrector Methods of Runge-Kutta Type*. Appl. Numer. Math., 13, 109-124, 1993.

46. P.J. VAN DER HOUWEN AND B.P. SOMMEIJER, *Analysis of parallel diagonally implicit iteration of Runge-Kutta methods*, Appl. Numer. Math., 11, 169-188, 1993.
47. P.J. VAN DER HOUWEN AND B.P. SOMMEIJER, *Parallel Jacobi iteration in implicit step-by-step methods*, World Scientific Publishing Company, World Scientific Series in Applicable Analysis, Vol. 2, 225-238, 1993.
48. P.J. VAN DER HOUWEN AND B.P. SOMMEIJER, *Butcher-Kuntzmann methods for nonstiff problems on parallel computers*, CWI Report NM-R9305, 1993.
49. P.J. VAN DER HOUWEN AND B.P. SOMMEIJER, *Preconditioning in parallel Runge-Kutta methods for stiff initial value problems*, CWI-Report NM-R9310, 1993.
50. P.J. VAN DER HOUWEN, B.P. SOMMEIJER AND W.A. VAN DER VEEN, *Parallel iteration across the steps of high order Runge-Kutta methods for nonstiff initial value problems*, CWI Report NM-R9313, 1993.
51. P.J. VAN DER HOUWEN, B.P. SOMMEIJER AND W.A. VAN DER VEEN, *Parallelism across the steps in iterated Runge-Kutta methods for stiff initial value problems*, CWI Report NM-R9322, 1993.
52. W.H. HUNSDORFER, B. KOREN, M. VAN LOON AND J.G. VERWER, *A positive finite-difference advection scheme applied on locally refined grids*, CWI-Report NM-R9309, 1993 (submitted to J. Comput. Phys.).
53. W.H. HUNSDORFER AND R.A. TROMPERT, *Method of lines and direct discretization: a comparison for linear advection*, CWI-Report NM-R9314, 1993.
54. J.K.M. JANSSEN, R.M.M. MATTHEIJ, M.T.M. PENDERS AND W.H.A. SCHILDERS, *Stability and efficiency of waveform relaxation methods*, RANA 93-11, TUE, 1993.
55. L.V. KALACHEV AND R.M.M. MATTHEIJ, *On optimally scaled systems of second scalar singularly perturbed problems*, RANA 93-14 TUE, 1993.
56. M.N. KOOPER, H.A. VAN DER VORST, S. POEDTS AND J.P. GOEDBLOED, *Application of the implicitly updated Arnoldi method with a complex shift and invert strategy in MHD*, PP 93/061, FOM, Nieuwegein, 1993.
57. B. KOREN, *A robust upwind discretization method for advection, diffusion and source terms*, in: Numerical Methods for Advection-Diffusion Problems, Notes on Numerical Fluid Mechanics, 45, 117-138 (C.B. Vreugdenhil and B. Koren, eds.), Vieweg Verlag, Braunschweig, 1993.

58. B. KOREN AND M.-H. LALLEMAND, *Iterative defect correction and multigrid accelerated explicit time stepping for the steady Euler equations*, in: Proceedings of the Fourth ICFD Conference on Numerical Methods in Fluid Dynamics, Reading, 1992, Numerical Methods for Fluid Dynamics, 4, 207-220 (M.J. Baines and K.W. Morton, eds.), Clarendon Press, Oxford, 1993.
59. B. KOREN AND H.T.M. VAN DER MAAREL, *On steady, inviscid shock waves at continuously curved convex surfaces*, Theor. and Comput. Fluid Dyn., 4, 177-195, 1993.
60. B. KOREN AND H.T.M. VAN DER MAAREL, *Monotone higher-order accurate, multi-dimensional upwinding*, in: Proceedings of the 13th International Conference on Numerical Methods in Fluid Dynamics, Rome, 1992, Lecture Notes in Physics, 414, 110-114 (M. Napolitano and F. Sabetta, eds.), Springer Verlag, Berlin, 1993.
61. B. KOREN AND C.B. VREUGDENHIL, *Evaluation of the numerical results*, in: Numerical Methods for Advection-Diffusion Problems, Notes on Numerical Fluid Mechanics, 45, 353-370 (C.B. Vreugdenhil and B. Koren, eds.), Vieweg Verlag, Braunschweig, 1993.
62. M.E. KRAMER AND R.M.M. MATTHEIJ, *Application of global methods in parallel shooting*, SINUM, 30, 1723-1739, 1993.
63. M.E. KRAMER AND R.M.M. MATTHEIJ, *Solving non-linear equations by preconditioned time stepping using an implicit integration method*, in: Contributions in Numerical Mathematics (R.P. Agarwal, ed.), World-Scientific, Singapore, 239-253, 1993.
64. C.-H. LAI, *Comparing quasi-Newton methods for solving sparse interface problems*, CWI-Report NM-R9303, 1993.
65. C.-H. LAI AND H.J.J. TE RIELE, *Solving some 1-D semiconductor device problems on a matrix coprocessor using a domain decomposition method*, Supercomputer, 53, 24-32, 1993.
66. C.-H. LAI AND H.J.J. TE RIELE, *Some experiences of solving 1-D semiconductor device equations on a matrix coprocessor by a domain decomposition method*, CWI-Report NM-R9304, 1993.
67. C.-H. LAI, H.J.J. TE RIELE AND A. UALIT, *Parallel experiments with simple linear algebra operations on a Cray S-MP System 500 matrix coprocessor*, CWI-Note NM-N9301, 1993.
68. M.-H. LALLEMAND AND B. KOREN, *Iterative defect correction and multigrid accelerated explicit time stepping schemes for the steady Euler equations*, SIAM J. Sci. Comput., 14, 953-970, 1993.

69. W. LAYTON, H.W.J. LENFERINK AND J.S. PETERSON, *A two-level Newton, finite element algorithm for approximating electrically conducting, incompressible fluid flows*, Report 9350, Department of Mathematics, Catholic University of Nijmegen, 1993.
70. W. LAYTON AND B. POLMAN, *Oscillation absorption finite element methods for convection-diffusion problems*, Report 9349, Department of Mathematics, Catholic University of Nijmegen, 1993.
71. H.W.J. LENFERINK, *Coarse mesh reduction in preconditioning symmetric indefinite finite element matrices*, Report 9405, Department of Mathematics, Catholic University of Nijmegen, 1994.
72. W.J. LENFERINK AND J.M.L. MAUBACH, *Global parameter-space state-space finite element methods for strongly monotone continuation problems*, Report 9401, Department of Mathematics, Catholic University of Nijmegen, 1994.
73. H.W.J. LENFERINK AND J.M.L. MAUBACH, *Two-level global parameter-space state-space finite element methods for branches of nonsingular solutions*. Report 9402, Department of Mathematics, Catholic University of Nijmegen, 1994. W.M. LIOEN AND M. LOUWER-NOOL, *EUVEL: An EULER Vector Extension Library*, CWI-Report NM-R9318, 1993.
74. M. VAN LOON, *Testing interpolation and filtering techniques in connection with a semi-Lagrangian method*, Atmospheric Environment, 27A, 2351-2364, 1993.
75. H. LU, *Fast solution of confluent Vandermonde linear systems*, Report 9303, Department of Mathematics, Catholic University of Nijmegen, 1993 (to appear in SIAM J. Matrix Anal. Appl.).
76. H.T.M. VAN DER MAAREL, *A Local Grid Refinement Method for the Euler Equations*, proefschrift, UvA, 1993.
77. H.T.M. VAN DER MAAREL, P.W. HEMKER, B. KOREN AND J.A. MICHELSEN, *Application of a solution-adaptive multigrid method to the Euler equations*, CWI Quarterly, 6, 49-75, 1993.
78. R.M.M. MATTHEIJ, *Direct solution of certain sparse linear systems*, in: Computational ODE's (S.O. Fatunla, ed.), 181-202, University Press PLC, Ibadan, 1992.
79. R.M.M. MATTHEIJ, *Decoupling of bidiagonal systems involving singular blocks*, IMA J. Num. Anal., 12, 301-317, 1992.
80. R.M.M. MATTHEIJ AND G.W.M. STAARINK, *BOUNDPACK, numerical software for linear BVP*, EUT-Report 92-WSK-01, 1992.

81. R.M.M. MATTHEIJ AND G.A.L. VAN DE VORST, *Numerical modelling of viscous sintering*, in: ISIAM 92 (R.S. Gupta ed.), 67-72, Roorkee University Press.
82. R.M.M. MATTHEIJ AND S.J. WRIGHT, *Parallel stabilized compactification for ODE's with parameters*, Preprint MCS-P323-0992, Argonne Nat'l Lab, 1992.
83. R.M.M. MATTHEIJ AND S.J. WRIGHT, *Parallel stable compactification for ODEs with parameters and multipoint conditions*, Appl. Num. Math., 13, 305-333, 1993.
84. M. NEYTCHIEVA, *Implementing the AMLI algorithm on the connection machine*, Report 93-15, Lyngby, 1993.
85. R.R.P. VAN NOOYEN, *An improved accuracy version of the mixed finite element method for a second order elliptic equation*, J. Comp. and Appl. Math, 47, 11-33, 1993.
86. NGUYEN HUU CONG, *Note on the performance of direct and indirect Runge-Kutta-Nyström methods*. J. Comput. Appl. Math., 45, 347-355, 1993.
87. NGUYEN HUU CONG, *A-stable diagonally implicit Runge-Kutta-Nyström methods for parallel computers*, Numerical Algorithms, 4, 263-281, 1993.
88. NGUYEN HUU CONG, *Parallel iteration of symmetric Runge-Kutta methods for nonstiff initial value problems*, CWI-Report NM-R9320, 1993.
89. C.W. OOSTERLEE, *Robust Multigrid Methods for the Steady and Unsteady Incompressible Navier-Stokes Equations in General Coordinates*, proefschrift, TUD, 1993.
90. C.W. OOSTERLEE AND P. WESSELING, *On the robustness of a multiple semi-coarsened grid method*, Report 93-51, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, 1993.
91. C.W. OOSTERLEE AND P. WESSELING, *A robust multigrid method for a discretization of the incompressible Navier-Stokes equations in general coordinates*, Impact of Comp. in Science and Eng., 5, 128-151 1993.
92. C.W. OOSTERLEE AND P. WESSELING, *Multigrid schemes for time-dependent incompressible Navier-Stokes equations*, Impact of Comp. in Science and Eng., 5, 153-175, 1993.
93. C.W. OOSTERLEE, P. WESSELING, A. SEGAL AND E. BRAKKEE, *Benchmark solutions for the incompressible Navier-Stokes equations in general coordinates on staggered grids*, Int. J. for Num. Methods in Fluids, 17, 301-321, 1993.

94. C.C. PAIGE, B.N. PARLETT AND H.A. VAN DER VORST, *Approximate solutions and eigenvalue bounds from Krylov subspaces*, Report PAM-579, Center for pure and applied mathematics, University of California, Berkeley, February 23, 1993 (to appear in NLA with A).
95. P.R. PFLUGER AND M. NEAMTU, *On degenerate surface patches*, Numerical Algorithms, 5, 569-575, 1993.
96. A. VAN DER PLOEG AND F.W. WUBS, *The use of sparse matrix techniques for solving the incompressible Navier-Stokes equations*, in: Incomplete Decompositions - Algorithms, Theory and Applications, 113-121 (W. Hackbusch and G. Wittum, eds.), Notes on Numerical Fluid Mechanics, 41, Vieweg Verlag, Braunschweig, 1993.
97. A. REUSKEN, *Multigrid with matrix-dependent transfer operators for a singular perturbation problem*, Computing 50, 199-211, 1993.
98. A. REUSKEN, *Multigrid with matrix-dependent transfer operators for convection-diffusion problems*, RANA 93-10, 1993 (to appear in proceedings of the Fourth European Multigrid Conference).
99. H.J.J. TE RIELE, *On the history of the function $M(x)/\sqrt{x}$ since Stieltjes*, pp. 69 - 79 in: Thomas Jan Stieltjes, Oeuvres complètes - Collected papers, Volume I (of two volumes), Edited by Gerrit van Dijk, Springer-Verlag, Berlin etc., 1993.
100. TH.J. RIPMEESTER, *On the dimension of spaces of bivariate polynomial splines*, Technical report CS 93-18, Dept. of Comp. Sys, Univ. of Amsterdam, 1993.
101. A. SEGAL, C. VUIK AND C.G.M. KASSELS, *On the implementation of symmetric and antisymmetric periodic boundary conditions for incompressible flow*, TUD-Report 93-61, 1993.
102. A. SEGAL, C. VUIK, W. KUPPEN AND M. ZIJLEMA, *ISNaS-incompressible flow solver*, Mathematical manual, TUD-Report 93-96, 1993.
103. G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *Optimal iteration methods for large linear systems of equations*, in: Numerical Methods for Advection-Diffusion Problems, 291-320 (C.B. Vreugdenhil and B. Koren, eds.), Notes on Numerical Fluid Mechanics, Vol. 45. Vieweg, Braunschweig, 1993.
104. G.L.G. SLEIJPEN AND D.R. FOKKEMA, *BiCGstab(ell) for linear equations involving unsymmetric matrices with complex spectrum*, ETNA, 1, 11-32, 1993.
105. G.L.G. SLEIJPEN AND H.A. VAN DER VORST, *Krylov subspace methods for large linear systems of equations*, Preprint 803, Department of Mathematics, University of Utrecht, 1993.

106. G.L.G. SLEIJPEN, H.A. VAN DER VORST AND D.R. FOKKEMA, *BiCGstab(ell) and other Hybrid Bi-CG Methods*, Preprint 831, Department of Mathematics, University of Utrecht, 1993.
107. B.P. SOMMEIJER, *Explicit, high-order Runge-Kutta-Nyström methods for parallel computers*, Appl. Numer. Math., 13, 221-240, 1993.
108. B.P. SOMMEIJER, *Parallel-iterated Runge-Kutta Methods for stiff ordinary differential equations*, J. Comput. Appl. Math., 45, 151-168, 1993.
109. B.P. SOMMEIJER, P.J. VAN DER HOUWEN AND J. KOK, *Time integration of three-dimensional numerical transport models*, CWI-Report NM-R9316, 1993.
110. M.N. SPIJKER, *Numerical ranges and stability estimates*, Appl. Numer. Mathem., 13, p. 241-249, 1993.
111. M.N. SPIJKER, *On the error committed by stopping the Newton iteration in implicit Runge-Kutta methods*, RUL report TW-93-02, 1993.
112. M.N. SPIJKER AND F.A.J. STRAETEMANS, *Stability estimates for families of matrices of nonuniformly bounded order*, RUL report TW-93-14, 1993.
113. A.F. VAN DER STAPPEN, R.H. BISSELING AND J.G.G. VAN DE VORST, *Parallel sparse LU decomposition on a mesh network of transputers*, SIAM J. on Matrix Analysis and Applications, 14, 853-879, 1993.
114. R.P. STEVENSON, *Robustness of multi-grid applied to anisotropic equations on convex domains and on domains with re-entrant corners*, Numer. Math., 66, 373-398, 1993.
115. R.P. STEVENSON, *Introduction to multi-grid*, in: Numerical Methods for Advection-Diffusion Problems, 321-334 (C.B. Vreugdenhil and B. Koren, eds.), Notes on Numerical Fluid Mechanics, 45, Vieweg, Braunschweig, 1993.
116. R.J. STROEKER, *Improvement of Nakamura's upper bound for the absolute discriminant of a sextic number field with two real conjugates*, Math. Comput., 59, 203-211, 1992.
117. R.J. STROEKER AND J. TOP, *On the equation $Y^2 = (X + p)(X^2 + p^2)$* , EUR-Report 9335/B, 1993 (to appear in Rocky Mountain J. of Math.).
118. R.J. STROEKER AND N. TZANAKIS, *Solving elliptic diophantine equations by estimating linear forms in elliptic logarithms*, EUR-Report 9361/B, 1993 (to appear in Acta Arithmetica).
119. R.J. STROEKER AND B.M.M. DE WEGER, *On a quartic diophantine equation*, EUR-Report 9371/B, 1993.

120. 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*, Preprint 832, Department of Mathematics, University of Utrecht, 1993.
121. K.H. TAN AND M.J.A. BORSBOOM, *Problem-dependent optimization of flexible couplings in domain decomposition methods, with an application to advection-dominated problems*, Preprint 830, Department of Mathematics, University of Utrecht, 1993 (has also appeared as preprint of Delft Hydraulics).
122. J.H.M. TEN THIJE BOONKAMP AND W.H.A. SCHILDERS, *An exponential fitting scheme for the electrothermal device equations specifically for the simulation of avalanche generation*, COMPEL, 12, 95-111, 1993.
123. J.H.M. TEN THIJE BOONKAMP, *The conservation equations for reacting gas flow*, EUT Report 93-WSK-01, Eindhoven University of Technology, 1993.
124. C.R. TRAAS, *Construction of monotone extensions to boundary functions*, Methods of Approximation Theory, 9, 347-357, 1992.
125. R.A. TROMPERT, *Local uniform mesh refinement and brine transport in porous media*, in: Proceedings ICFD Conference 'Numerical Methods for Fluid Dynamics', Reading, U.K., April 7-10, 1992, eds. M.J. Baines, K.W. Morton, Clarendon Press, pp. 275-284, 1993.
126. R.A. TROMPERT, *Local uniform grid refinement and systems of coupled partial differential equations*, Appl. Numer. Math., 12, 331-356, 1993.
127. R.A. TROMPERT, *A note on singularities caused by the hydrodynamic dispersion tensor*, CWI-Report NM-R9302, 1993.
128. R.A. TROMPERT, *Local Uniform Grid Refinement for Time-dependent Partial Differential Equations*, proefschrift, UvA, 1994.
129. R.A. TROMPERT AND J.G. VERWER, *Analysis of the implicit Euler local uniform grid refinement method*, SIAM J. Sci. Comput., 14, 259-278, 1993.
130. R.A. TROMPERT AND J.G. VERWER, *Runge-Kutta methods and local uniform grid refinement*, Math. Comp., 60, 591-616, 1993.
131. R.A. TROMPERT, J.G. VERWER AND J.G. BLOM, *Computing brine-transport in porous media with an adaptive-grid method*, Int. J. for Numer. Methods in Fluids, 16, 43-63, 1993.
132. A.E.P. VELDMAN, *Vloeiende getallen - stromingsmodellen*, Natuur en Techniek, 61, 994-1003, 1993.

133. A.E.P. VELDMAN AND E.F.F. BOTTA, *Grid quality - an interplay of grid and solver*, in: Numerical Methods for Fluid Dynamics 4, 329-335 (M.J. Baines and K.W. Morton, eds.), Oxford University Press, 1993.
134. R.W.C.P. VERSTAPPEN, J.G. WISSINK AND A.E.P. VELDMAN, *Direct numerical simulations of driven cavity flows*, Appl. Sci. Res., 51, 377-381, 1993.
135. J.G. VERWER, *Gauss-Seidel iteration for stiff ODEs from chemical kinetics*, CWI-Report NM-R9315, 1993.
136. J.G. VERWER AND M. VAN LOON, *An evaluation of explicit pseudo-steady state approximation schemes for stiff ODEs from chemical kinetics*, CWI Report NM-R9312, 1993.
137. J.G. VERWER AND R.A. TROMPERT, *Analysis of local uniform grid refinement*, Appl. Numer. Math., 13, 251-270, 1993.
138. A.I. VAN DE VOOREN, *The connection between Ekman and Stewartson for a rotating disk*, Journal of Engineering Mathematics, 27, 189-207, 1993.
139. G.A.L. VAN DE VORST, *A BEM solution for the simulation of axisymmetric viscous sintering*, in: Proc. Conf. on Computational Modelling of Free and Moving Boundary Problems II, edited by L.C. Wrobel and C.A. Brebbia, Computational Mechanics Publications, Southampton, U.K., 123-130, 1993.
140. G.A.L. VAN DE VORST, *Integral method for a two-dimensional Stokes flow with shrinking holes applied to viscous sintering*, J. Fluid Mech., 251, 667-689, 1993.
141. G.A.L. VAN DE VORST, *Modelling and Numerical Simulation of Viscous Sintering*, proefschrift, TUE, 1994.
142. H.A. VAN DER VORST, *Minimum residual modifications to Bi-CG and preconditioners*, in: Recent advances in iterative methods, 217-225, (G. Golub, A. Greenbaum and M. Luskin, eds), IMA Volumes in Mathematics and its Applications, Volume 60, Springer Verlag, Berlin etc, 1993.
143. H.A. VAN DER VORST, *Parallel aspects of iterative methods*, in: Proc. IMA Conf. on Parallel Computing, 175-186, (A.E. Fincham and B. Ford, eds.), Oxford University Press, Oxford, 1993.
144. H.A. VAN DER VORST, D.R. FOKKEMA AND G.L.G. SLEIJPEN, *Further improvements in nonsymmetric hybrid iterative methods*, in: Simulation of Semiconductor Devices and Processes, Vol 5, 89-92, (S. Selberherr, H. Stippel and E. Strasser, eds.), Springer Verlag, Wien, 1993.

145. H.A. VAN DER VORST AND G.G.L. SLEIJPEN, *The effect of incomplete decomposition preconditioning on the convergence of Conjugate Gradients*, in: *Incomplete Decompositions (ILU) - Algorithms, Theory, and Applications*, Proceedings of the Eighth GAMM-Seminar, Kiel, January 24-26, 1992, 179-187 (W. Hackbusch and G. Wittum, eds.), Notes on Numerical Fluid Mechanics, Volume 41, Vieweg, Braunschweig, 1993 (also as IMA Preprint Series #944, April 1992).
146. H.A. VAN DER VORST AND C. VUIK, *The superlinear convergence behaviour of GMRES*, Journal of Comp. and Appl. Math., 48, 327-341, 1993.
147. C. VUIK, *Some historical notes about the Stefan problem*, Nieuw Archief voor Wiskunde, 11, 157-167, 1993.
148. C. VUIK, *Solution of the discretized incompressible Navier-Stokes equations with the GMRES method*, Int. J. for Num. Methods in Fluids, 16, 507-523, 1993.
149. C. VUIK, *Further experiences with GMRESR*, Supercomputer, 55, 13-27, 1993.
150. C. VUIK, *The solution of a one-dimensional Stefan problem*, International colloquium "Free Boundary Problems: Theory and Applications", Montreal, Canada, 1990, in: *Free Boundary Problems Involving Solids*, 149-155, editors: J.M. Chadam & H. Rasmussen, Longman Scientific & Technical, Harlow, 1993.
151. C. VUIK, *The solution of the discretized incompressible Navier-Stokes equations with iterative methods*, in: *Proceedings of the 26th International Symposium on Automotive Technology and Automation*, 69-76, Aachen, Germany, 1993, editors: R. Himeno & R. Maly, Automotive Automation Limited, Croydon, 1993.
152. C. VUIK, *The Solution of a One-Dimensional Stefan Problem*, CWI-Tracts, 90, Stichting Mathematisch Centrum, Amsterdam, 1993.
153. C. VUIK, *New insights in GMRES-like methods with variable preconditioners*, TUD-Report 93-10, 1993.
154. C. VUIK, *The solution of the discretized incompressible Navier-Stokes equations with iterative methods*, TUD-Report 93-54, 1993.
155. C. VUIK, *Fast iterative solvers for the discretized incompressible Navier-Stokes equations*, TUD-Report 93-98, 1993.
156. C.B. VREUGDENHIL AND B. KOREN (EDS.), *Numerical Methods for Advection-Diffusion Problems*, Notes on Numerical Fluid Mechanics, 45, Vieweg Verlag, Braunschweig, 1993.

157. P. WESSELING, *The role of incomplete LU-factorization in multigrid methods*, in: W. Hackbusch and G. Wittum (eds.): *Incomplete Decompositions (ILU) - Algorithms, Theory, and Applications*. Proc. Eighth GAMM-Seminar, Kiel, 1992. *Notes on Numerical Fluid Mechanics* 41, pp. 202 - 214. Vieweg, Braunschweig, 1993.
158. P. WESSELING, *Computation of incompressible flow in complicated geometries*, ERCOFTAC Bulletin 17, 13-18, 1993. European Research Community on Flow, Turbulence and Combustion, EPFL, Lausanne.
159. P.M. DE ZEEUW, *Incomplete Line-LU as smoother and as preconditioner*, in: *Notes on Numerical Fluid Mechanics*, 41, 215-224 (W. Hackbusch and G. Wittum, eds.), Vieweg Verlag, Braunschweig, 1993.
160. P.M. DE ZEEUW, *Multigrid and Advection*, in: *Notes on Numerical Fluid Mechanics*, 45, 335-351 (C.B. Vreugdenhil and B. Koren, eds.), Vieweg Verlag, Braunschweig, 1993.
161. S. ZENG, C. VUIK AND P. WESSELING, *Solution of the incompressible Navier-Stokes equations in general coordinates by Krylov subspace and multigrid methods*, Report 93-64, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, 1993.
162. S. ZENG, C. VUIK AND P. WESSELING, *Further investigation on the solution of the incompressible Navier-Stokes equations by Krylov subspace and multigrid methods*, Report 93-93, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, 1993.
163. S. ZENG AND P. WESSELING, *Numerical study of a multigrid method with four smoothing methods for the incompressible Navier-Stokes equations in general coordinates*, in: N. Duane Melson, T.A. Manteuffel and S.F. McCormick (eds): *Sixth Copper Mountain Conference on Multigrid Methods*. NASA Conference Publication 3224, pp. 691-708, NASA, Hampton VA., 1993.
164. Z.W. ZHANG AND W. HOFFMANN, *Some basic performance tests on the Parsytec GCel*, Technical report CS-93-13, Dept. of Comp. Sys, Univ. of Amsterdam, 1993.
165. Z.W. ZHANG, W. HOFFMANN AND K. POTMA, *Large linear systems and matrix multiplication on the Parsytec GCel*, Technical report CS-93-17, Dept. of Comp. Sys, Univ. of Amsterdam, 1993.

3 Promoties

3.1 Recente en komende promoties

- RUG 4-2-1994: A. van der Ploeg,
Preconditioning for Sparse Matrices with Applications.
promotor: A.E.P. Veldman.
referenten: E.F.F. Botta en F.W. Wubs.
- TUD 14-9-1993: C.W. Oosterlee,
Robust Multigrid Methods for the Steady and Unsteady Incompressible Navier-Stokes Equations in General Coordinates.
promotor: P. Wesseling.
- 10-2-1994: J.G.M. Eggels,
Direct and Large Eddy Simulation of Turbulent Flow in a Cylindrical Pipe Geometry.
promotoren: F.T.M. Nieuwstadt (TUD) en P. Wesseling.
- 28-3-1994: M.B. van Gijzer,
Iterative Solution Methods for Linear Equations in Finite Element Computations.
promotor: H.A. van der Vorst.
- TUE 21-1-1994: G.A.L. van de Vorst,
Modelling and Numerical Simulation of Viscous Sintering.
promotoren: R.M.M. Mattheij en H.K. Kuiken (University of Leeds).
- UvA 23-2-1993: H.T.M. van der Maarel,
A Local Grid Refinement Method for the Euler Equations.
promotor: P.W. Hemker.

- 26-1-1994: R.A. Trompert,
Local Uniform Grid Refinement Method for Time-Dependent Partial Differential Equations.
 promotor: P.J. van der Houwen.
 co-promotor: J.G. Verwer.
- 29-3-1994: Nguyen huu Cong,
Parallel Runge-Kutta-Nyström Methods.
 promotor: P.J. van der Houwen.
 co-promotor: B.P. Sommeijer.
- UT 26-2-1993: J.W. van der Burg,
Numerical Techniques for Transonic Flow Calculations.
 promotor: P.J. Zandbergen.
 assistent-promotor: J.G.M. Kuerten.

3.2 Samenvattingen proefschriften

3.2.1 Preconditioning for Sparse Matrices with Applications (A. van der Ploeg)

In dit proefschrift beschouwen we stelsels lineaire vergelijkingen $Ax = b$, zoals die optreden bij het numeriek oplossen van wiskundige modellen die een bepaald fysisch fenomeen beschrijven. Men kan hier bijvoorbeeld denken aan stroming van lucht of water, massa- of temperatuursverdelingen, concentraties van giftige stoffen, interacties ten gevolge van electriciteit, magnetisme of zwaartekracht, enzovoort. Omdat fysische experimenten vaak duur, gecompliceerd of gevaarlijk zijn, wordt steeds vaker het experiment vervangen door een simulatie via een wiskundig model. In het algemeen betreft dit het oplossen van een partiële differentiaalvergelijking en is dit slechts mogelijk via numerieke methoden en met behulp van computers. Om realistische simulaties te verkrijgen is het hierbij noodzakelijk om zeer grote stelsels vergelijkingen op te lossen. De nauwkeurigheid van de simulatie wordt daarom meestal begrensd door wat in dit opzicht met de beschikbare rekenkracht, geheugenomvang en numerieke methoden haalbaar is. De afgelopen jaren zijn deze mogelijkheden sterk toegenomen en met de huidige generatie supercomputers en methoden zoals in dit proefschrift beschreven, kunnen stelsels met 1-100 miljoen onbekenden worden opgelost. Gelukkig zijn deze stelsels vaak zeer ijl, dat wil zeggen dat slechts een zeer klein gedeelte van de matrixelementen van A niet gelijk is aan nul. Om hier goed van te profiteren, wordt voor het oplossen gebruik gemaakt van iteratieve methoden zoals de geconjugeerde gradiënten (CG) methode. De convergentiesnelheid van veel iteratieve methoden hangt sterk af van de eigenwaardenverdeling van A . Om deze te verbeteren wordt vaak een precon-

ditioneringstechniek toegepast. Hierbij wordt de iteratieve methode toegepast op $C^{-1}Ax = C^{-1}b$, in plaats van op het oorspronkelijke stelsel $Ax = b$. De matrix C moet een benadering zijn voor A , en bovendien moet, voor een gegeven vector d , het stelsel $Cy = d$ veel gemakkelijker zijn op te lossen dan $Ay = d$. In dit proefschrift wordt een aantal preconditioneringstechnieken beschreven, met name incomplete LU-ontbindingen. Hierbij wordt A benaderd met het produkt van een benedendriehoeksmatrix L en een bovendriehoeksmatrix U , waarbij de ijtheid van de factoren L en U wordt bewaard door een bepaald ijheidspatroon van $L + U$ voor te schrijven, en alle fill-in die hier buiten optreedt te verwaarlozen. Vervolgens kan voor C het product van L en U worden gekozen.

In hoofdstuk 1 wordt een aantal iteratieve methoden voor het oplossen van $Ax = b$ met elkaar vergeleken. Bovendien wordt een aantal preconditioneringstechnieken beschreven die vooral geschikt zijn voor matrices met een zeer regelmatig ijheidspatroon. In veel fysische problemen komen echter gecompliceerde geometrieën voor, hetgeen in het algemeen aanleiding geeft tot stelsels lineaire vergelijkingen waarbij de matrix juist een onregelmatige ijheidsstructuur heeft. In hoofdstuk 2 wordt daarom beschreven hoe we een LU-ontbinding kunnen maken van een matrix met een willekeurig ijheidspatroon. Er wordt een keuze voor de ijheidsstructuur van de incomplete LU-ontbinding beschreven, gebaseerd op een wegwerp-parameter ε . In deze techniek, die wordt aangegeven met $ILU(\varepsilon)$ -preconditioning, wordt een splitsing $(LU, -R)$ van A gemaakt zodanig dat alle elementen van de matrix $R = A - LU$ in absolute waarde kleiner zijn dan ε . Het derde hoofdstuk geeft een voorbeeld van een fysisch probleem waarin bovenstaande technieken worden toegepast. Er wordt een numerieke simulatie beschreven van de temperatuursverdeling in een blok uithardend beton met koelbuizen. De $ILU(\varepsilon)$ -preconditioning blijkt betere resultaten te geven dan diverse andere preconditioneringstechnieken.

Het is niet alleen van belang om het aantal iteratieslagen te minimaliseren, maar het is ook erg belangrijk dat de preconditioneringstechniek zich leent voor een efficiënte implementatie op supercomputers. Incomplete LU-ontbindingen hebben als nadeel dat herhaaldelijk beneden- en bovendriehoeksstelsels moeten worden opgelost. Vaak vormt dit de bottle-neck voor vectorisatie en parallelisatie. In hoofdstuk 4 worden daarom diverse mogelijkheden beschouwd om deze stelsels toch efficiënt op te lossen. Er wordt tevens een vergelijking gemaakt met enkele preconditioneringstechnieken die geschikt zijn voor implementatie op supercomputers. De stelsels lineaire vergelijkingen die optreden in een numeriek model voor de berekening van golven in ondiep water, bijvoorbeeld in havens of dicht bij de kust, worden hierbij als test gebruikt. Er worden diverse numerieke experimenten uitgevoerd op drie computers met verschillende architectuur.

In hoofdstuk 5 beschouwen we de stelsels vergelijkingen die optreden bij het berekenen van stromingen. We beperken ons hierbij tot de stelsels die optreden na discretisatie van de incompressibele Navier-Stokes vergelijkingen. Deze vergelijkingen beschrijven de Newtonse stroming in een niet-samendrukbaar

medium in de vorm van behoudswetten voor massa en impuls. Het numeriek oplossen van deze stelsels is verre van eenvoudig. Ten eerste omdat ze niet-lineair zijn, en ten tweede omdat, na linearisatie, herhaaldelijk stelsels lineaire vergelijkingen moeten worden opgelost waarbij de hoofddiagonaal van de matrix nullen bevat. Omdat een rechtstreekse incomplete LU-ontbinding te veel geheugenruimte vraagt, gebruiken we een pre-preconditioneringsmatrix Q . Na voor-vermenigvuldiging met Q kan weer op de in hoofdstuk 2 beschreven manier een incomplete LU-ontbinding worden gemaakt. De hierboven beschreven preconditioneringstechniek wordt gedemonstreerd aan de hand van diverse problemen die in de literatuur zijn beschreven, en aan de hand van de stroming in een afval-verbrandingsoven.

Vrijwel alle iteratieve methoden hebben als nadeel dat bij roosterverfijning de convergentiesnelheid afneemt, zodat naarmate iteratieslagen duurder worden er ook meer nodig zijn. Voor de multiroostermethode kan echter voor een ruime klasse van problemen rooster-onafhankelijke convergentie worden aangetoond, dat wil zeggen dat het aantal iteratieslagen niet toeneemt bij roosterverfijning. Deze methode is echter veel moeilijker te implementeren dan de meeste CG-achtige methoden. In hoofdstuk 6 wordt een preconditioneringstechniek beschreven waarmee, in combinatie met diverse CG-achtige methoden, voor een groot aantal gevallen ook roosteronafhankelijke convergentie wordt bereikt. Dit leidt tot een bijzonder efficiënte methode die bovendien veel gemakkelijker te implementeren is dan de multiroostermethode: de nieuwe preconditioneringstechniek heeft alleen een henummering van de onbekenden nodig, een juiste keuze van de wegwerp-parameter, en de constructie van een incomplete LU-ontbinding zoals deze in hoofdstuk 2 is beschreven. De henummering is gebaseerd op het basisidee achter de multiroostermethode, en maakt het mogelijk om de wegwerp-parameter zodanig te kiezen dat een preconditionering wordt verkregen waarmee zowel hoge als lage frequenties in de iteratiefout effectief kunnen worden gereduceerd. Een groot aantal numerieke experimenten laat zien dat deze techniek uitstekend werkt, zelfs wanneer de maaswijdte sterk varieert, of wanneer de coëfficiënten in de partiële differentiaalvergelijking sterk discontinu zijn.

3.2.2 Robust Multigrid Methods for the Steady and Unsteady Incompressible Navier-Stokes Equations in General Coordinates (C.W. Oosterlee)

Voor het oplossen van stromingsleerproblemen is de numerieke stromingsleer naast het uitvoeren van schaalexperimenten een belangrijke manier om resultaten te verkrijgen. De meest algemene partiële differentiaalvergelijkingen die stromingsfenomenen beschrijven zijn de Navier-Stokes vergelijkingen, opgesteld in de negentiende eeuw. In dit proefschrift worden de Navier-Stokes vergelijkingen voor niet-samendrukbare Newtonse stromingen beschouwd: de incompressibele Navier-Stokes vergelijkingen. Teneinde problemen in willekeurige domeinen op te lossen zijn de stationaire en instationaire incompressibele

Navier-Stokes vergelijkingen in algemene coördinaten beschouwd. Er wordt gewerkt met een coördinaat-invariante tensorformulering van de vergelijkingen. De gebruikte tensorformules worden gepresenteerd in hoofdstuk 2. Een vereiste voor het numeriek oplossen van fysische problemen is naast nauwkeurige fysische modellering, numerieke nauwkeurigheid. De incompressibele Navier-Stokes vergelijkingen in algemene coördinaten worden gediscrètiseerd met een eindige volume methode op een gestaggered rooster. Het verkrijgen van nauwkeurige stromingsresultaten uit deze gediscrètiseerde vergelijkingen is verre van triviaal. In dit proefschrift worden verschillende eisen, bijvoorbeeld aan de keuze van onbekenden, opgesteld ten einde nauwkeurige resultaten te verkrijgen. Hoewel stromingen die in de natuur en in de industrie voorkomen vaak zeer complex zijn, zijn de hier behandelde één-fase, laminaire vergelijkingen toch bijzonder interessant. Deze vergelijkingen representeren een basis, waarop door middel van extra aannames en extra vergelijkingen meer complexe stromingsfenomenen gesuperponeerd kunnen worden. Het is interessant om de mogelijkheden en de beperkingen van onderliggende basisvergelijkingen opgesteld in algemene coördinaten te bestuderen. De incompressibele Navier-Stokes vergelijkingen worden geïntroduceerd en gediscrètiseerd in hoofdstuk 3. Verder worden er in dit hoofdstuk 3 referentieproblemen opgesteld en opgelost voor discretisaties voor algemene domeinen.

In het tweede gedeelte van het proefschrift wordt onderzoek gedaan naar snelle robuuste methoden om de resulterende grote stelsels gediscrètiseerde vergelijkingen op te lossen. Gekozen is voor de multiroostermethode, omdat met deze methode, mits de diverse onderdelen goed worden gekozen, goede convergentiefactoren onafhankelijk van het aantal roosterpunten verkregen kunnen worden. De stationaire incompressibele Navier-Stokes vergelijkingen worden met het niet-lineaire multirooster algoritme opgelost en verschillende smoothers zijn onderzocht op robuustheid. De Symmetric Coupled Alternating Lines smoother, een Vanka-achtige alternerende zebra lijn Gauss-Seidel smoother is robuust: voor vele problemen met bijvoorbeeld lang-gerekte cellen is de convergentie snel. Vervolgens zijn drie robuuste multiroostermethoden voor tijdsafhankelijke vergelijkingen onderzocht: de standaard time-stepping methode met multigrid als ruimtelijke oplosmethode, het parabolische multirooster algoritme en het multigrid waveform algoritme. De drie methoden hebben ongeveer dezelfde sequentiële complexiteit, terwijl ze verschillen in parallelle complexiteit. De drie methoden zijn onderzocht voor verschillende testproblemen in hoofdstuk 5.

3.2.3 Direct and Large Eddy Simulation of Turbulent Flow in a Cylindrical Pipe Geometry (J.G.M. Eggels)

Turbulente stromingen zijn niet alleen van groot praktisch belang maar bovendien vanuit fundamenteel oogpunt interessant, omdat turbulentie nog steeds niet volledig begrepen wordt. In dit proefschrift worden toepassingen van numerieke simulaties beschreven met als doel turbulente stromingen in een cilindervormige geometrie (pijp) te bestuderen.

In een Direkte Numerieke Simulatie (DNS), worden de Navier-Stokes vergelijkingen direkt opgelost op een fijnmazig netwerk in ruimte en tijd. Alle schalen van de turbulente fluctuaties worden expliciet meegenomen in de simulatie met als gevolg dat geen enkele vorm van turbulentiemodellering nodig is. De range van deze schalen groeit echter snel met toenemend Reynolds-getal waardoor een enorme computercapaciteit nodig is voor simulaties van stromingen bij een hoog Reynolds-getal. Door beperkingen aan de computercapaciteit is DNS alleen toepasbaar voor lage Reynolds-getallen en voor stromingen in relatief eenvoudige geometrieën. In een Large-Eddy Simulatie (LES), worden de Navier-Stokes vergelijkingen eerst ruimtelijk gefilterd om de kleinschalige turbulente bewegingen te verwijderen. De gefilterde vergelijkingen beschrijven enkel de evolutie van de grootschalige bewegingen of 'wervelingen' (vandaar de naam "Large-Eddy" Simulatie). De invloed van de weggefilterde kleinschalige turbulente bewegingen op de grotere schalen moet nu in rekening worden gebracht met behulp van een zogenaamd SubGrid-Scale (SGS) model. Voor de meeste simulaties beschreven in dit proefschrift is het Smagorinsky-model gebruikt als SGS model. Dit is een vrij eenvoudig model, maar toepassingen in eerdere simulaties hebben aangetoond dat dit model desalniettemin naar tevredenheid functioneert. In de nabijheid van een wand is wel een wand-dempingsfunctie nodig om het juiste gedrag van de kleinschalige bewegingen te verkrijgen. In dit proefschrift is een kleine wijziging van het standaard Smagorinsky-model voorgesteld, waardoor het gebruik van de wand-dempingsfunctie overbodig wordt. Dit gewijzigde model werkt redelijk goed, maar behoeft wel nog verbetering nabij de wand.

De differentiaalvergelijkingen (in een gefilterde vorm in het geval van LES) zijn geformuleerd in cylindercoördinaten en ruimtelijk gediscrètiseerd met behulp van de eindige-volume-methode. Deze methode heeft de prettige eigenschap dat de singulariteit van de vergelijkingen op de as van het coördinatensysteem automatisch verdwijnt. Als gevolg van het gebruik van cylindercoördinaten wordt de roosterafstand in omtreksrichting nabij de as erg klein. Dit heeft een belangrijke consequentie voor de te verwachten rekentijd van de simulatie. Omdat we veelal gebruik maken van zogenaamde expliciete discretisatieschema's, is de toelaatbare tijdstap beperkt om het rekenproces stabiel te houden. Aangezien deze tijdstap afhangt van de roosterafstand, wordt de toelaatbare tijdstap zeer klein als gevolg van de kleine roosterafstand nabij de as. Dit probleem is opgelost door gedeeltelijk gebruik te maken van impliciete discretisatieschema's die onvoorwaardelijk stabiel zijn. De toelaatbare tijdstap kan hierdoor, bij een fijne ruimtelijke resolutie, minstens een orde van grootte groter zijn dan bij gebruik van uitsluitend expliciete discretisatieschema's.

Allereerst zijn DNS en LES berekeningen uitgevoerd voor volledig ontwikkelde turbulente stromingen door een rechte pijp. Het Reynolds-getal in deze simulaties, gebaseerd op de gemiddelde snelheid op de as van de pijp en de pijpdiameter, bedraagt 7000 voor de DNS en 50000 voor de LES. Het doel van deze simulaties is tweeledig: a) bepaling van de geschiktheid van de numerieke technieken toegepast in de code (d.m.v. DNS) en van de SGS modellering

(d.m.v. LES) door het uitvoeren van simulaties van standaard pijpstromingen, en **b)** productie van gedetailleerde datasets ter ondersteuning van algemeen turbulentieonderzoek. De DNS resultaten vertonen een uitstekende overeenkomst met experimentele data, hetgeen aantoont dat de toegepaste numerieke technieken geschikt zijn voor dit soort simulaties. De overeenkomst tussen LES en experimenten is goed, ofschoon er enkele afwijkingen zijn nabij de wand. Deze afwijkingen zijn het gevolg van een niet geheel juiste SGS modellering nabij de wand (b.v. de wand-dempingsfunctie geeft onvoldoende reductie van de SGS schuifspanning waardoor het gemiddelde snelheidsprofiel wordt beïnvloed). Voor LES berekeningen van turbulente wandstromingen waarin de turbulentie door afschuiving wordt gegenereerd (alleen dit type stromingen worden in dit proefschrift beschouwd), blijkt een fijne ruimtelijke resolutie van groot belang. In dit proefschrift wordt deze kwalitatieve uitspraak gequantificeerd d.m.v. de parameter l/l_f . Deze parameter geeft de verhouding weer tussen de karakteristieke lengteschaal l van de grootschalige turbulente bewegingen en die van de kleinschalige bewegingen, l_f . De verhouding l/l_f moet voldoende groot zijn (typisch, $l/l_f > 2$) om realistische resultaten te verkrijgen uit een LES berekening (een simulatie met $l/l_f \approx 1.1$, bleek niet in staat juiste resultaten te produceren).

Omdat de DNS en LES datasets 3-dimensionale, tijdsafhankelijke, snelheid- en drukvelden bevatten, zijn deze data uitermate geschikt voor velerlei turbulentieonderzoek. Verschillende van zulke toepassingen zijn beschreven in dit proefschrift. In één hiervan zijn de DNS en LES data gebruikt om de radiële verdeling van de coëfficiënten in de 'pressure-strain' sluitingsrelaties van Reynolds-spanning turbulentiemodellen te bepalen. De coëfficiënt C_1 in de Rotta-hypothese blijkt niet constant voor alle r , maar af te nemen naar de wand toe. De coëfficiënten in de 'rapid' bijdrage van het 'pressure-strain' model, blijken daarentegen redelijk constant in radiële richting, maar wel te variëren met het Reynolds-getal. (b.v. voor de coëfficiënt C_2^{QT} werd de waarde 0.56 gevonden bij het lage Reynolds-getal tegen 0.33 voor het hogere Reynolds-getal).

Na de simulaties van de standaard pijpstroming is een LES berekening uitgevoerd van de turbulente stroming in een axiaal roterende pijp. De stroming in deze configuratie kan worden gekarakteriseerd als een eenvoudige roterende stroming, waarin sommige effecten als gevolg van rotatie reeds aanwezig zijn. De rotatie van de pijpwand heeft een stabiliserende invloed op de turbulente fluctuaties in radiële en axiale richtingen. Hierdoor wordt de turbulente schuifspanning verminderd, hetgeen aanleiding geeft tot een verandering van het gemiddelde axiale snelheidsprofiel. De verhouding van bulk-snelheid (dit is de gemiddelde snelheid evenredig met de volumestroom door de pijp) en wandschuifnelheid neemt toe, waardoor de wrijvingscoëfficiënt afneemt. De gemiddelde snelheid in omtreksrichting blijkt nagenoeg parabolisch te zijn, behalve in de nabijheid van de wand. De resultaten van de LES berekening komen goed overeen met de verschillende experimentele waarnemingen. De gradiënthypothese, waarop het Smagorinsky-model is gebaseerd,

blijkt echter niet geheel meer te voldoen voor de roterende stroming. Deze gradiënthypothese schrijft voor dat de SGS schuifspanningen altijd georiënteerd zijn in de richting van gradiënttransport, terwijl in de roterende stroming ook transport tegen de gradiënt in optreedt.

Net als voor de standaard pijpstroming zijn de LES data van de roterende stroming gebruikt om de coëfficiënten in de 'pressure-strain' sluitingsrelaties te bepalen. De coëfficiënt C_1 in de Rotta-hypothese blijkt negatief te zijn voor de gehele doorsnede van de pijp. Er bestaat de indruk dat dit resultaat te maken heeft met het feit dat de Rotta-hypothese niet de belangrijkste bijdrage in de sluitingsrelatie is. Deze rol moet worden toebedeeld aan de 'rapid' bijdrage in het 'pressure-strain' model. De coëfficiënten in deze 'rapid' bijdrage blijken nog steeds redelijk constant in radiële richting, maar wel aanzienlijk te verschillen van de waarden gevonden voor de niet-roterende stroming. Hieruit blijkt dat de waarden van de coëfficiënten in Reynolds-spanning turbulentiemodellen niet universeel zijn maar zeer waarschijnlijk afhangen van het stromingsprobleem (en het Reynolds-getal) dat wordt beschouwd.

3.2.4 Iterative Solution Methods for Linear Equations in Finite Element Computations (M.B. van Gijzen)

Bij het discretiseren met de eindige-elementenmethode ontstaan ijle lineaire stelsels vergelijkingen. In deze dissertatie wordt een onderzoek beschreven naar iteratieve methoden voor het bepalen van de oplossing van deze stelsels. Bij het onderzoek heeft de nadruk gelegen op elementsgewijze technieken. De stijfheidsmatrix wordt bij deze aanpak niet geassembleerd. De globale matrix-vectorvermenigvuldiging wordt uitgevoerd door te vermenigvuldigen met de afzonderlijke element-stijfheidsmatrices. De preconditioneringsmatrix wordt zodanig geconstrueerd dat ook de preconditioneringsoperatie elementsgewijs kan worden uitgevoerd. De elementsgewijze aanpak is zeer geschikt voor vector- en parallelle computers.

In het eerste hoofdstuk wordt beschreven hoe een geschikte elementsgewijze preconditioneringsmatrix kan worden geconstrueerd uit een product van element-preconditioneringsmatrices. De element-preconditioneringsmatrices zijn geschaalde en verschoven element-stijfheidsmatrices. Een natuurlijke keuze voor de schalingsmatrix is de hoofddiagonaal van de stijfheidsmatrix. De elementsgewijze preconditioneringsmatrix kan worden verbeterd door groepen van elementmatrices te assembleren. Een geschikte strategie is het assembleren van elementmatrices die corresponderen met samenhangende delen in het model.

In het tweede hoofdstuk wordt onderzocht welke factoren van invloed zijn op het effect van de elementsgewijze preconditionering. Hiertoe is een bovengrens voor het conditiegetal van de gepreconditioneerde stijfheidsmatrix bepaald. Uit deze analyse zijn als mogelijk belangrijke factoren naar voren gekomen: het aantal aangrenzende elementen, de grootte in norm van de geschaalde en verschoven element-stijfheidsmatrices en de grootte in norm van de inverse element-preconditioneringsmatrices. Behalve deze drie factoren is de conditie van de

originele matrix natuurlijk van cruciaal belang. Het aantal aangrenzende elementen is terug te brengen door geschikt gekozen groepen elementmatrices te assembleren. Numerieke experimenten laten echter geen belangrijke reductie van het conditiegetal zien. De normen van de elementmatrices zijn te reduceren door ze te schalen met een geschikt gekozen diagonaalmatrix. Schalen met de hoofddiagonaal van de stijfheidsmatrix geeft slechte resultaten indien de stijfheidsmatrix niet diagonaaldominant is. De diagonaalmatrix die is geassembleerd uit de 1-norm van de rijen van de elementmatrices is in zo'n geval veel beter.

Vaak ontstaan bij het modelleren van buiging van dunne constructies zeer slecht geconditioneerde stelsels vergelijkingen. Deze stelsels zijn erg gevoelig voor verstoringen, zoals die bijvoorbeeld kunnen optreden door accumulatie van afrondfouten ten gevolge van het rekenen in eindige precisie. Slechte geconditioneerdheid van de stijfheidsmatrix heeft bovendien tot gevolg dat de convergentie van iteratieve methoden zeer traag kan zijn. In het derde hoofdstuk wordt beschreven hoe de gemengde eindige-elementendiscretisatie van de biharmonische vergelijking, een modelprobleem voor meer algemene buigingsproblemen, op een stabiele en efficiënte wijze kan worden opgelost. Hiertoe is een algoritme geformuleerd dat wiskundig equivalent is met het geconjugeerde gradiënten algoritme, maar dat veel betere eigenschappen heeft wat betreft het doorwerken van afrondfouten. Het voorgestelde algoritme kan ook worden gebruikt voor het oplossen van minimalisatieproblemen met lineaire nevencondities.

GMRES is een aantrekkelijke methode voor het oplossen van niet-symmetrische lineaire stelsels vergelijkingen. De methode is zeer robuust, en de norm van het residu wordt iedere iteratie geminimaliseerd. Een nadeel van de methode is dat een orthonormale basis van de doorzochte ruimte moet worden berekend en bewaard. Dit betekent dat het geheugengebruik en de hoeveelheid bewerkingen per iteratie toenemen. Indien veel iteraties moeten worden uitgevoerd om tot een voldoende nauwkeurige benaderende oplossing te komen, kan het algoritme hierdoor praktisch onbruikbaar worden. Een mogelijke oplossing is het algoritme na een vast aantal iteraties te herstarten. Dit kan echter rampzalige gevolgen hebben voor de convergentiesnelheid. In het vierde hoofdstuk wordt beschreven hoe dit probleem kan worden ondervangen door het toepassen van een polynoom-preconditionering. Een geschikte polynoom-preconditionering kan het aantal iteraties sterk reduceren, en daardoor ook het aantal basisvectorer dat moet worden bepaald en opgeslagen. De coëfficiënten van het preconditionerings-polynoom kunnen worden bepaald door een residueel polynoom te minimaliseren op een contour die het spectrum omsluit. Een indruk van het spectrum kan verkregen worden door de Ritzwaarden na een aantal iteraties te bepalen. Numerieke experimenten laten zien dat door de combinatie van GMRES met een polynoom-preconditionering de benodigde CPU-tijd en het benodigde geheugen sterk kan reduceren. Bovendien blijkt uit experimenten dat ook indien GMRES herstart wordt, de CPU-tijd sterk kan worden gereduceerd.

GCR is een methode die wiskundig equivalent is met GMRES. GCR vereist

ongeveer twee keer zo veel geheugenruimte als GMRES. Ook het aantal bewerkingen per iteratie is iets groter. Hierdoor is GMRES veel populairder dan GCR. Toch heeft GCR twee grote voordelen. De methode kan namelijk afgekapt worden, terwijl GMRES herstart moet worden. Afkappen heeft vaak een veel minder drastisch effect op de convergentiesnelheid dan herstarten. Een ander voordeel is dat de preconditioneringsmatrix van iteratie tot iteratie mag variëren. Deze laatste eigenschap heeft geleid tot GMRESR, een methode waarbij GMRES als polynoom-preconditioning voor GCR wordt gebruikt. Door deze aanpak kan het aantal GCR iteraties aanzienlijk worden beperkt, hetgeen zowel de benodigde CPU-tijd als het geheugengebruik kan reduceren. In hoofdstuk vijf wordt een vergelijking gemaakt tussen GCR, GMRESR en GMRES, waarbij alle drie de methoden worden gecombineerd met polynoom-preconditioning. Indien GMRES niet hoeft te worden herstart is de methode zeer efficiënt, mogelijk efficiënter dan GMRESR en zeker efficiënter dan GCR. Herstarten maakt GMRES echter vaak veel minder efficiënt dan GMRESR en GCR.

3.2.5 Modelling and Numerical Simulation of Viscous Sintering (G.A.L. van de Vorst)

Het doel van dit proefschrift is de ontwikkeling van betrouwbare methoden die de vervorming van een vloeistofgebied, onder invloed van de oppervlaktespanning, kunnen voorspellen. Dit onderzoek komt voort uit de wens het viskeus sinterproces theoretisch beter te begrijpen. Sinteren is een techniek waarbij een poedercompact (dat kan bestaan uit zowel metaal-, zout- of glas-deeltjes) tot een zo hoge temperatuur verhit wordt dat de deeltjes aan elkaar smelten. Als gevolg hiervan zal de cohesie van zo'n deeltjescompact toenemen. De drijvende kracht achter dit proces is de oppervlakte-energie die een poedercompact in overmaat bezit t.o.v. een vast lichaam. Er zijn een aantal fysische processen die verantwoordelijk kunnen zijn voor het sinterverschijnsel. In dit proefschrift zal alleen het geval worden beschouwd waarbij het sinterproces gemodelleerd kan worden als een viskeuze volumestroming. Dit laatste geldt in het bijzonder voor amorfe materialen zoals glas. Men spreekt dan ook wel van *viskeus sinteren* en dit proces komt o.a. voor tijdens de productie van hoogwaardige glazen die met behulp van de zogenaamde sol-gel techniek worden vervaardigd. Een precieze beschrijving van de microscopische vloeistofstroming in zo'n gel tijdens het sinteren is erg moeilijk door de stochastische structuur van de gel. Daarom hebben onderzoekers op het gebied van sinteren zich lang geïnteresseerd in het gedrag van zeer simpele systemen; hierbij kan worden gedacht aan het samensmelten van twee bollen of een bol op een plaat. Dit soort onderzoek verschaft inzicht in de fenomenologische theorie voor macroscopische systemen.

In dit proefschrift wordt eerst het mathematisch model voor het viskeus sinteren afgeleid. Het proces blijkt te kunnen worden beschreven door de Stokes vergelijkingen waarbij de spanning op de rand evenredig is met de kromming in de richting loodrecht op het oppervlak. De beweging van de rand is ge-

modelleerd door gebruik te maken van de Lagrangiaanse beschrijving van het randsnelheidsveld. Dit houdt in dat de baan van de randpunten wordt gevolgd door deze punten op te vatten als materieële deeltjes. Enige aandacht wordt verder geschonken aan enkele recentelijk gevonden analytische oplossingen voor bepaalde eenheidsproblemen, t.w. het samensmelten van twee cilinders en van een cilinder op een plaat. Van deze nogal ingewikkelde oplossingen zijn simpele benaderingen afgeleid voor zowel de samensmeltingssnelheid als de evolutie van de randkromming ter plaatse van het samensmeltingsoppervlak. Verder kunnen de analytische oplossingen of hun benaderingen worden gebruikt om experimenteel de oppervlaktetenspanning van glas bij niet al te hoge temperaturen te bepalen.

Het grootste gedeelte van dit proefschrift beschrijft echter de numerieke oplossing van het viskeus sinterproces en wel voor zowel 2-dimensionale als axisymmetrische gebieden. Deze numerieke methodiek bestaat allereerst uit het oplossen van de Stokes vergelijkingen voor een vast gebied met behulp van een randelementen methode (BEM). Hiervoor dient het probleem geformuleerd te worden als een stelsel van integraalvergelijkingen. Speciale aandacht wordt geschonken aan het eenduidig maken van deze formulering. Verder dienen deze vergelijkingen aangepast te worden om het krimpen van holten in het vloeistofgebied te kunnen beschrijven, ten einde ook meervoudig samenhangende gebieden te kunnen oplossen. De BEM-methodiek resulteert in een stelsel lineaire algebraïsche vergelijkingen dat het snelheidsveld van de rand geeft op een vast tijdstip. Om de geometrie op een volgend tijdstip te bepalen wordt de Lagrangiaanse representatie van het snelheidsveld in dit algebraïsche stelsel gesubstitueerd. Hierdoor wordt een stelsel niet-lineaire gewone differentiaalvergelijkingen verkregen. Afhankelijk van de geometrische vorm van het vloeistofgebied blijkt dit stelsel *stijf* te zijn. Daarom wordt dit stelsel gewone differentiaalvergelijkingen opgelost met een variabele stap/variabele orde, terugwaartse differentie methode (BDF), t.w. een impliciete meerstapsmethode. Daarna wordt aangetoond dat dit bewegende randenprobleem slecht geconditioneerd is als de kromming van het oppervlak op bepaalde gebieden zeer groot is; dit is in het bijzonder het geval bij scherpe hoeken. Een numeriek gevolg van dit slecht geconditioneerd zijn is dat de distributie en herdistributie van discretisatiepunten met grote zorgvuldigheid dient te geschieden voor dit soort randen omdat er anders numerieke oscillaties in het te berekenen snelheidsveld zouden kunnen optreden. Daarom is er een speciaal algoritme ontworpen om een goede puntendistributie te verkrijgen. Dit algoritme is gebaseerd op het equidistribueren van de kromming over de randelementen. Naast het op een speciale manier behandelen van gebieden met grote kromming zodat deze kromming lokaal kwalitatief behouden blijft, heeft dit algoritme nog een tweede doel: het aantal discretisatiepunten en hun positie wordt zo optimaal mogelijk gekozen, dit om de rekenkosten per tijdstap te minimaliseren.

Tenslotte is de numerieke oplosmethode uitgebreid tot axisymmetrische gebieden, d.w.z. gebieden die verkregen worden door een 2-dimensionaal vlak te roteren rond een gegeven as. Gebruikmakende van deze axiale symmetrie kan zo'n

3-dimensionaal sinterprobleem worden vereenvoudigd tot een 2-dimensionaal probleem. Aldus kunnen het ontwikkelde puntendistributie-algoritme en de tijdsintegratiemethode ook eenvoudig voor dit type probleem worden gebruikt. De hierboven beschreven methodieken zijn geïmplementeerd in Fortran en deze worden gedemonstreerd voor een aantal enkel- en meervoudig samenhangende gebieden. De verkregen simulatieresultaten zijn vergeleken met enkele, exact analytisch oplosbare problemen en tonen een uitstekende overeenkomst. Verder zijn een paar analytische verdichtingsmodellen vergeleken met de resultaten verkregen door het simuleren van gebieden met interne holten. Van deze resultaten wordt kwantitatief inzicht verkregen met betrekking tot de toepasbaarheid van deze verdichtingsmodellen. Het blijkt dat deze modellen een forse afwijking te zien geven wanneer een gebied met niet-uniform grote holten wordt beschouwd: de simulaties laten dan zien dat de relatief grotere holten sneller krimpen in vergelijking tot de kleinere holten. Daarnaast wordt het sinteren van enkele cilindrische pakkingen beschouwd. Deze simulaties geven een rechtvaardiging voor het gebruik van eenheidsproblemen in de sintertheorie om het gedrag te beschrijven van regelmatig en gelijkvormige deeltjespakkingen. Eén van de resultaten verkregen m.b.v. de axisymmetrische implementatie is dat het samensmelten van twee bollen redelijk goed overeenkomt met het samensmelten van twee cilindres van dezelfde straal.

3.2.6 A Local Grid Refinement Method for the Euler Equations (H.T.M. van der Maarel)

Tegenwoordig worden in tal van takken van de industrie numerieke stromingssimulaties toegepast. Een belangrijke toepassingsgebied vormt de vliegtuigbouw. Om te fungeren als gereedschap in een ontwerpproces, dient een numerieke simulatie nauwkeurig, maar ook goedkoop te zijn. Enerzijds maakt een goedkope en nauwkeurige methode simulaties mogelijk van complexere problemen. Anderzijds stelt het de industrie in staat eer in economisch opzicht concurrerend produkt te ontwerpen in een aanvaardbare tijdspanne.

Multiroostermethoden behoren tot de meest efficiënte methoden om een stelsel discrete vergelijkingen op te lossen. Om een efficiënte numerieke simulatiemethode te maken, is het interessant om niet alleen gebruik te maken van een multiroostertechniek, maar ook om het aantal onbekenden in het numeriek-wiskundige probleem, dat ten grondslag ligt aan de simulatie, te beperken. Met dit doel wordt in dit proefschrift een multiroostermethode gepresenteerd, die gebruik maakt van automatische, oplossingsafhankelijke aanpassingen van het rekenrooster. In deze methode wordt een gegeven rooster alleen lokaal verfijnd, waar dat voor de gewenste nauwkeurigheid noodzakelijk is. Deze methode kan worden toegepast op fysische modellen die worden beschreven met behulp van behoudswetten. Er wordt in het bijzonder een lokale roosterverfijningsmethode beschouwd voor een speciaal stelsel niet-lineaire behoudswetten, n.l. de stationaire Euler-vergelijkingen in twee ruimtedimensies. Dit stelsel van vier partiële differentiaalvergelijkingen beschrijft de twee-dimensionale stroming van

een compressibel, ideaal gas. De Euler-vergelijkingen worden als wiskundig model vaak gebruikt in de vliegtuigbouw.

De discretisatie van het stelsel differentiaalvergelijkingen zoals gebruikt in dit proefschrift, is een eindige volume, upwind-discretisatie van de stationaire Euler-vergelijkingen in behoudsvorm. Het rekenrooster is een discretisatie van het definitiegebied van de differentiaalvergelijkingen. Een lokaal verfijnd rooster wordt in dit proefschrift opgevat als een samenstelling van (delen van) roosters met verschillende verfijningsgraad. Ieder verfijningsniveau heeft een rooster dat het definitiegebied geheel of gedeeltelijk overdekt. Het rooster op een eerstvolgend niveau van verfijning ontstaat door een aantal cellen van een rooster te verdelen in vier kleinere cellen van ongeveer gelijke grootte. Het rooster dat uiteindelijk de numerieke benadering van de oplossing bepaalt, is de verzameling van alle niet-verfijnde cellen.

De methode om het stelsel discrete (eerste-orde nauwkeurige) vergelijkingen op te lossen, is een niet-lineaire multiroostermethode. Een tweede-orde nauwkeurig stelsel vergelijkingen wordt opgelost met behulp van defect correctie iteratie, waarbinnen de multiroostermethode voor de eerste-orde vergelijkingen gebruikt wordt.

Zowel deze discretisatie van de vergelijkingen als de multiroostermethode en de defect correctie methode is in de jaren 1984–1989 ontwikkeld en geïmplementeerd op het CWI, door Hemker, Spekrijse en Koren. Het werk beschreven in dit proefschrift is een directe uitbreiding van het werk van deze auteurs.

Een belangrijk resultaat van deze uitbreiding is een numerieke methode die – door de automatisch adaptieve roosterverfijning – afhankelijk van het beschouwde probleem en de gebruikte discretisatie, voor de twee-dimensionale Euler-vergelijkingen een factor vier tot tien aan efficiëntie wint.

In hoofdstuk 2 van dit proefschrift wordt de geometrische structuur en de discretisatie voor stationaire behoudswetten beschreven. De geometrische structuur maakt het mogelijk een stelsel van discrete vergelijkingen te definiëren, dat het continue probleem benadert. In dit hoofdstuk wordt ook de lokale discretisatiefout bestudeerd en worden eisen geformuleerd waaraan de discrete vergelijkingen moeten voldoen om een –in een bepaalde zin– eerste- of tweede-orde consistente discretisatie te leveren. De aandacht is speciaal gericht op de randen die de overgang vormen tussen een lokale verfijning en het aansluitende grove rooster.

In hoofdstuk 3 worden resultaten gepresenteerd van numerieke experimenten, verkregen met de methode beschreven in hoofdstuk 2. De beschouwde problemen zijn gekozen om een idee te krijgen van de nauwkeurigheid, de efficiëntie en de flexibiliteit van de methode (d.w.z. in hoeverre de methode de mogelijkheid biedt om effectief gebruikt te worden in bijzondere situaties).

Hoofdstuk 4 gaat over een a-posteriori schatting van de lokale discretisatiefout, met het doel deze te gebruiken in een criterium voor de verfijning van het rooster. De lokale en globale discretisatiefouten voor een één-dimensionaal modelprobleem worden in detail bestudeerd. Vervolgens wordt een methode geïntroduceerd en bestudeerd, die het mogelijk maakt de lokale discretisatie-

fout te schatten. Uiteindelijk wordt deze methode uitgebreid naar twee ruimte-dimensies en wordt deze gebruikt als roosterverfijningscriterium voor een niet-lineair modelprobleem.

3.2.7 Local Uniform Grid Refinement Method for Time-Dependent Partial Differential Equations (R.A. Trompert)

Veel processen in de natuur worden beschreven door partiële differentiaalvergelijkingen (PDV's). Deze processen kunnen gesimuleerd worden door de bijbehorende PDV's op te lossen. De complexiteit van deze PDV's vereist echter dat deze vergelijkingen numeriek worden opgelost. Om voor een PDV een numerieke oplossing te krijgen wordt de PDV benaderd (gediscretiseerd) op een verzameling discrete punten (rooster) wat resulteert in een stelsel algebraïsche vergelijkingen. Door dit stelsel op te lossen wordt een numerieke oplossing berekend die een benadering is van de oplossing van de PDV. Als een tijdsafhankelijk probleem wordt opgelost dan wordt, beginnende bij de bekende oplossing op het begintijdstip, het stelsel algebraïsche vergelijkingen opgelost om een numerieke oplossing te berekenen op een iets later tijdstip. Dit proces, wat ook wel tijdstappen wordt genoemd, wordt herhaald totdat het eindtijdstip is bereikt.

Veel PDV's hebben oplossingen die snel variëren in ruimte en tijd. Ruwweg kan men zeggen dat de variatie in de oplossing van roosterpunt tot roosterpunt de nauwkeurigheid bepaalt waarmee de numerieke oplossing, de oplossing van de PDV benadert. Hoe groter de variatie in de oplossing in ruimte en tijd is, des te fijner moet het rooster zijn om een nauwkeurige oplossing te krijgen. In veel gevallen is de variatie in de oplossing niet over het hele domein groot, maar alleen lokaal. Om in dit soort gevallen de bijbehorende PDV's nauwkeurig en op een efficiënte manier op te lossen zou het rooster fijn moeten zijn waar de variatie groot is en grover waar de variatie minder groot is. Adaptieve rooster-methoden zijn methoden die dit proberen te verwezenlijken.

Het onderwerp van dit proefschrift is een adaptieve roostermethode genaamd de *lokale uniforme roosterverfijningsmethode*. Het voornaamste kenmerk van lokale uniforme roosterverfijning is dat de PDV's opgelost worden op een aantal in toenemende mate fijnere lokale sub-roosters die gegenereerd worden in gebieden waar de variatie in de oplossing groot is. Op elk sub-rooster afzonderlijk worden in de volgorde van grof naar fijn de PDV's opgelost voor één tijdstap. De lokatie en vorm van deze sub-roosters wordt op discrete tijdstippen aangepast om de beweging van de gebieden met grote variaties te kunnen volgen. De generatie van de sub-roosters wordt gestuurd door een verfijningsstrategie die gebaseerd kan zijn op een schatting van de fout die gemaakt wordt, of op de waarde van een foutmonitor. Zo'n foutmonitor kan bijvoorbeeld afhankelijk zijn van de helling of de kromming van de oplossing. Een verfijningsstrategie gebaseerd op een foutmonitor vergt minder rekentijd dan een strategie gebaseerd op foutschattingen. Niettemin geeft een verfijningsstrategie gebaseerd op foutschattingen vaak nauwkeuriger resultaten dan de foutmonitorstrategie.

Dit komt omdat er geen relatie bestaat tussen een foutmonitor en de fout die gemaakt wordt. Om deze reden zal een foutschattingstrategie vaak betere sub-roosters creëren dan een foutmonitorstrategie. De lokale uniforme roosterverfijningsmethode zoals beschreven in dit proefschrift richt zich op het in de ruimte verfijnen van het rooster waardoor de ruimtelijke component van de fout kan worden beheerst.

Dit proefschrift bevat een vijftal tijdschriftartikelen. Op hoofdstuk 1 na bevat elk hoofdstuk een artikel. De hoofdstukken 2 en 6 zijn toegepast van aard terwijl de hoofdstukken 3,4 en 5 wat fundamenteeler zijn. Deze laatstgenoemde hoofdstukken vormen de basis van dit proefschrift. In deze hoofdstukken worden verfijningsstrategieën gebaseerd op foutschattingen ontwikkeld uit foutanalyses. Deze analyses hebben betrekking op verschillende tijdstap-schema's en verschillende typen PDV's. Een verfijningsstrategie gebaseerd op een foutmonitor is gebruikt in de hoofdstukken 2 en 6. In hoofdstuk 6 wordt de toepassing besproken van de lokale uniforme roosterverfijningsmethode op de simulatie van transport door heterogene poreuze media. Het werk dat aan dit artikel ten grondslag ligt is uitgevoerd in opdracht van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM). In het kader van dit project is de lokale uniforme roosterverfijningsmethode geïmplementeerd in een code genaamd MOORKOP. Deze code is ontwikkeld voor een vrij brede klasse van partiële differentiaalvergelijkingen waaronder ook transportproblemen in heterogene poreuze media vallen.

3.2.8 Parallel Runge-Kutta-Nyström Methods (Nguyen huu Cong)

Dit proefschrift beschrijft de constructie en de analyse van parallele, numerieke methoden voor de integratie van begirwaardeproblemen voor tweede-orde, gewone differentiaalvergelijkingen. In deze methoden beschouwen we het zogenaamde *parallèllisme over de methode*, hetgeen betekent dat de methode zelf inherent *parallèllisme* bezit zodat de effectiviteit onafhankelijk is van de dimensie van het stelsel differentiaalvergelijkingen. Bovendien kan *parallèllisme over het probleem* benut worden om de efficiëntie voor grote stelsels te verhogen. Aangezien de toepassing van deze tweede aanpak tamelijk voor de hand liggend is, beperken we ons tot *parallèllisme over de methode*.

De methoden die in dit proefschrift worden besproken, zijn gebaseerd op het iteratief oplossen van een impliciete Runge-Kutta-Nyström (RKN) methode, die de corrector zal worden genoemd. Met betrekking tot de keus van de corrector onderscheiden we twee gevallen:

Ten eerste is er de zogenaamde *indirecte* aanpak, waarmee we bedoelen dat de impliciete RKN corrector verkregen wordt door het toepassen van een klassieke Runge-Kutta (RK) methode op de differentiaalvergelijking, geschreven in eerste-orde vorm. Op deze manier kunnen RKN correctors verkregen worden die soortgelijke eigenschappen bezitten als RK methoden (zoals s -stage methoden waarvan de orde en de stage-orde respectievelijk de waarden $2s$ en s kunnen aannemen in combinatie met onvoorwaardelijke stabiliteit).

Voorts, en dit is het onderwerp van Hoofdstuk I, kunnen we impliciete RKN correctors construeren die gebaseerd zijn op de *directe* aanpak, waarmee we beoelzen dat de methode direct afgestemd is op de speciale vorm van de tweede-orde differentiaalvergelijking. Het blijkt dat directe, op het collocatieprincipe gebaseerde RKN methoden geconstrueerd kunnen worden die een stage-orde bezitten die één hoger is dan bij de indirecte aanpak mogelijk is. Echter, zulke directe methoden verliezen hun onvoorwaardelijke-stabiliteitseigenschap; deze eigenschap is nuttig voor de integratie van *stijve* differentiaalvergelijkingen. Zulke problemen worden bestudeerd in de Hoofdstukken II en III.

In Hoofdstuk II introduceren we de parallelle, diagonaal-impliciete iteratiemethode om de aan het proces ten grondslag liggende corrector op te lossen. De resulterende methode kan worden beschouwd als een diagonaal-impliciete RKN (DIRKN) methode die, *effectief*, slechts één LU-ontbinding per stap vergt, alsmede het oplossen van m (niet-)lineaire relaties per stap (m is het aantal iteraties). Echter, dankzij de speciale vorm van het iteratieproces, hebben we in het lineaire-algebra deel te maken met stelsels die een dimensie hebben gelijk aan die van de differentiaalvergelijking. In de Hoofdstukken II en III bestuderen we diverse strategieën om de vrije parameters in het iteratieproces te kiezen. In Hoofdstuk II worden deze parameters gebruikt om een snelle convergentie naar de corrector-oplossing te bewerkstelligen (d.w.z., de spectraalstraal van de iteratiematrix wordt geminimaliseerd), terwijl het iteratieproces in Hoofdstuk III het (kleinste) aantal iteraties kiest dat nodig is om de orde van de corrector te bereiken; vervolgens worden de vrije parameters gebruikt om de methode onvoorwaardelijk stabiel te maken. Numerieke resultaten in beide hoofdstukken tonen aan dat de efficiëntie aanzienlijk is toegenomen, vergeleken met standaard (sequentiële) DIRKN methoden uit de literatuur.

De resterende drie hoofdstukken handelen over *niet-stijve* problemen. Opnieuw is een volledig impliciete corrector het uitgangspunt, maar nu gebruiken we fixed-point iteratie, hetgeen in hoge mate parallel is; als gevolg hiervan is de resulterende methode *expliciet*. In Hoofdstuk IV wordt de convergentie van dit iteratieproces voor indirecte en directe collocatie-RKN correctors vergeleken. Het blijkt dat de "directe correctors" te verkiezen zijn aangezien deze aanleiding geven tot kleinere convergentiefactoren dan de "indirecte correctors". De stabiliteitsgebieden van beide families blijken voldoende groot te zijn voor de integratie van niet-stijve problemen. Bovendien is de methode, om de efficiëntie te vergroten, uitgerust met een dynamische iteratiestrategie (d.w.z., "stop met itereren zodra de corrector is opgelost").

In de laatste twee hoofdstukken van dit proefschrift bespreken we een paar ideeën die uitgewerkt zijn voor *eerste-orde* differentiaalvergelijkingen (opgemerkt zij, dat de ideeën zoals beschreven in deze hoofdstukken uitgebreid kunnen worden zowel voor tweede-orde differentiaalvergelijkingen als voor stijve problemen). Behalve uitsluitend benaderingen in de "step-points" te berekenen, kan het fixed-point (op RK-gebaseerde) iteratieproces tevens gebruikt worden om (parallel) oplossingswaarden in de tussenpunten te berekenen. Het voordeel van deze aanpak is dat een heel blok van benaderingen verkregen

wordt, waarmee een nauwkeurige voorspelling voor de oplossing in de volgende stap gemaakt kan worden. Het gevolg hiervan is dat het aantal iteraties daalt; echter, het vereiste aantal processoren is veel groter, aangezien de "hoeveelheid" parallelisme is toegenomen. Een aantal experimenten in Hoofdstuk V toont aan dat de efficiëntie, vergeleken met de beste sequentiële methoden, is toegenomen met een factor variërend van 2 tot 11.

Tenslotte concentreren we ons, in Hoofdstuk VI, op de asymptotische convergentiefactor van het fixed-point iteratieproces (om de RK corrector op te lossen). Door de eigenschap van superconvergentie op te offeren, construeren we symmetrische, op collocatie gebaseerde RK correctors waarin de vrije collocatiepunten gebruikt worden om optimale convergentiefactoren te verkrijgen. Vergeleken met fixed-point iteratie van traditionele RK methoden (zoals de Gauss-Legendre methoden), moet het aantal processoren verdubbeld worden om dezelfde orde te bereiken. Dit wordt echter ruimschoots gecompenseerd door de vergrote efficiëntie.

3.2.9 Numerical Techniques for Transonic Flow Calculations (J.W. van der Burg)

In het ontwerp van commerciële vliegtuigen neemt de toepassing van numerieke technieken een steeds belangrijker plaats in. Deze technieken worden gebruikt om stromingsberekeningen rond vliegtuigconfiguraties uit te voeren. Het is bekend, dat de efficiëntie van een commercieel vliegtuig optimaal is in transsone luchtstromingen. De volledige Navier-Stokes vergelijkingen vormen het meest geschikte fysische model om transsone luchtstromingen te beschrijven, maar deze kunnen nog niet voor algemene toepassingen worden opgelost, vanwege de beperkingen van de huidige computers. Daarom worden eenvoudiger fysische modellen gebruikt, zoals de Euler vergelijkingen en de Reynolds-gemiddelde Navier-Stokes vergelijkingen.

In dit proefschrift worden numerieke technieken voor transsone stromingsberekeningen beschouwd. De discretisatie van een fysisch model resulteert in een numeriek schema, dat met behulp van een computer iteratief kan worden opgelost. De nauwkeurigheid van zo'n numeriek schema is nauw verbonden met de benodigde hoeveelheid artificiële dissipatie; een overschot aan artificiële dissipatie verstoort de fysische dissipatie, terwijl een tekort aan artificiële dissipatie leidt tot instabiliteiten of een fysisch incorrecte numerieke oplossing. De constructie van de artificiële dissipatie in een numeriek schema vormt het hoofdonderwerp van dit proefschrift.

Op het moment dat dit onderzoeksproject startte werd het numerieke schema van Jameson door veel aërodynamici gebruikt. Daarom was het een voor de hand liggende keuze om zijn schema als uitgangspunt voor verbeteringen te nemen.

Het doel van het onderzoeksproject was het ontwikkelen van een redelijke manier om artificiële dissipatie toe te voegen aan de Euler en Navier-Stokes vergelijkingen. De term redelijk duidt op het feit, dat de artificiële dissipatie in een

numeriek schema zodanig moet worden geconstrueerd, dat het resulterende numerieke algoritme een nauwkeuriger oplossing geeft dan het numerieke schema van Jameson zonder een grote toename van de rekentijd.

Om een aantal alternatieve numerieke schema's te kunnen onderzoeken zijn de volgende fysische modellen, toenemend in complexiteit, beschouwd: de niet-viskeuze Burgers vergelijking, de eendimensionale Euler vergelijkingen, een tweedimensionale scalaire behoudswet, de tweedimensionale Euler vergelijkingen en de tweedimensionale Reynolds-gemiddelde Navier-Stokes vergelijkingen. Zowel eerste-orde als hogere-orde numerieke schema's zijn bestudeerd.

In de categorie van eerste-orde schema's zijn Lax-Friedrichs' schema en Roe's schema beschouwd. Voor de tweedimensionale scalaire behoudswet is Roe's schema gebaseerd op een cell-vertex controle volume onderzocht. In het algemeen kan gesteld worden, dat eerste-orde schema's te dissipatief zijn voor viskeuze stromingsberekeningen.

Daarom zijn er naast Jameson's schema een aantal hogere-orde nauwkeurige schema's onderzocht. Voor de tweedimensionale Euler vergelijkingen en Navier-Stokes vergelijkingen is het schema gebaseerd op de verbeterde schok kwaliteit beschouwd. Voor scalaire modellen reduceert dit schema tot Jameson's schema. Daarnaast zijn een aantal hogere-orde uitbreidingen van Roe's schema behandeld door de toepassing van de MUSCL en ENO interpolatietechnieken.

Om de rekentijd te reduceren is een aantal convergentieversnellende technieken toegepast. Deze technieken zijn: de lokale-tijdstap techniek, de techniek waarbij de dissipatie wordt bevroren gedurende een Runge-Kutta-stap, residual-averaging, de multigrid techniek en de defect-correctie techniek.

De nauwkeurigheid van een numeriek schema voor een gegeven fysisch model kan op twee manieren worden vastgesteld, namelijk door de verkregen numerieke oplossing te vergelijken met de analytische oplossing, of door de hoeveelheid artificiële dissipatie in een numeriek schema te meten. Verder is de invloed van de hoeveelheid artificiële dissipatie op de stabiliteit van het numerieke algoritme onderzocht, enerzijds door een lineaire stabiliteitsanalyse uit te voeren en anderzijds door convergentiesnelheden voor verschillende schema's met elkaar te vergelijken.

Voor de niet-viskeuze Burgers vergelijking en voor de eendimensionale Euler vergelijkingen is aangetoond, dat fysisch incorrecte verschijnselen, zoals een expansieschok, in een numerieke oplossing kunnen worden voorkomen door een discrete entropieongelijkheid op te leggen.

Daarbij is voor de eendimensionale Euler vergelijkingen bewezen, dat de hoeveelheid artificiële dissipatie in een numeriek schema gemeten kan worden door middel van dezelfde discrete entropie-ongelijkheid. Numerieke experimenten tonen aan, dat eerste-orde schema's een grotere hoeveelheid artificiële dissipatie bevatten dan hogere-orde schema's.

In het geval van de tweedimensionale Euler vergelijkingen vormt de totale druk een goede maat voor de hoeveelheid artificiële dissipatie. Voor de Navier-Stokes vergelijkingen is de wrijvingsweerstand een goede maat.

Verder is aangetoond, dat de hoeveelheid artificiële dissipatie gerelateerd is aan

de convergentiesnelheid van het numerieke algoritme. In het algemeen convergeert het multigrid proces sneller naarmate een numeriek schema een grotere hoeveelheid artificiële dissipatie bevat.

Voor de tweedimensionale scalaire behoudswet, de tweedimensionale Euler vergelijkingen en de tweedimensionale Navier-Stokes vergelijkingen resulteert het MUSCL schema in een nauwkeuriger oplossing dan voor het schema van Jameson, omdat het MUSCL schema minder artificiële dissipatie bevat dan Jameson's schema. Door deze kleine hoeveelheid artificiële dissipatie in het MUSCL schema kan in het resulterende numerieke algoritme niet voldoende demping worden bereikt. In dit geval is de defect-correctie techniek noodzakelijk om een geconvergeerde oplossing te bereiken.

Voor de tweedimensionale Reynolds-gemiddelde Navier-Stokes vergelijkingen is aangetoond, dat Jameson's schema en het MUSCL schema ongeveer dezelfde efficiëntie hebben om een stationaire oplossing met engineering nauwkeurigheid te verkrijgen. Dit betekent, dat het MUSCL schema een aantrekkelijk alternatief voor Jameson's schema is voor de simulatie van tweedimensionale turbulente compressibele stromingen.

4 Onderzoeksprojecten

CWI titel: *Parallel IVP Algorithms*
 periode: 1990 - 1997
 projectleider: P.J. van der Houwen
 medewerkers: B.P. Sommeijer, W.M. Lioen, K.J. in 't Hout (post-
 doc), Nguyen huu Cong (OIO), 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: *Solution-adaptive Navier-Stokes Solvers Using Multi-dimensional Upwind Schemes and Multigrid Acceleration*
 periode: 1 januari 1993 - 31 december 1995
 projectleider: P.W. Hemker
 medewerkers: B. Koren en P.M. de Zeeuw
 samenwerking: met Von Karman Institute for Fluid Dynamics, Vrije Universiteit Brussel, Politecnico di Bari, Technical University of Denmark
 gebruikers: Aerospatiale, British Aerospace, Dassault, Dornier, Fokker
 financiering: Europese Gemeenschap (BRITE-EURAM Aeronautics Programme)

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. Stortelder
 gebruikers: Gist Brocades N.V., IPL-TNO, DSM Research, KSLA, Akzo Research, TUD en Nederlands Kankerinstituut
 financiering: STW

KUN titel: *Arithmetic and Communication Complexity for Pre-conditioning Methods*
 periode: 1 oktober 1991 - 1 oktober 1995
 projectleider: O. Axelsson
 medewerkers: M.G. Neytcheva (OIO)
 financiering: NWO

titel: *Global Space Time Discretization Methods*
 periode: 1 november 1992 - 1 november 1995
 projectleider: O. Axelsson
 medewerkers: H. Lu (OIO)
 financiering: NWO

RUL titel: *Foutenanalyse van Numerieke Methoden voor het
Oplossen van Beginwaardeproblemen*
 periode: 1 september 1990 - 31 augustus 1994
 projectleider: prof.dr. M.N. Spijker
 medewerker: drs. J.L.M. van Dorsselaer
 financiering: NWO

titel: *Numerieke Oplossing van Gewone Differentiaalver-
gelijkingen, Stabiliteit en Resolvente Condities*
 periode: 1 september 1992 - 31 augustus 1996
 projectleider: prof.dr. M.N. Spijker
 medewerker: drs. F.A.J. Straetemans
 financiering: RUL

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 (GIO)
 financiering: NWO

titel: *High Performance Computing in Fluid Dynamics:
Methods and Applications*

periode: 1 december 1993 - 30 november 1995
projectleider: P. Wesseling
medewerker: R.R.P. van Nooyen (post-doc)
financiering: NWO en TUD

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 (University of Dresden), M. Neamtu (Vanderbilt University) en C.R. Traas (UT)
gebruikers: algemeen
financiering: eerste geldstroom

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

5 Werkbijeenkomsten

CWI titel: *NW-Werkbesprekingen*
 zaal: M279
 frequentie: tweewekelijks, op woensdag, van 16.00 - 17.00 u.
 programma: 16 maart: J.G.L. Booten, *Parallel algorithm for interior eigenvalues.*
 13 april: B.P. Sommeijer, *3D numerical transport modeling.*
 4 mei: P.M. de Zeeuw, *Development of finite volume multi-level methods on sparse grids.*
 18 mei: W.H. Hundsdorfer, *Splitting for advection on the globe.*
 1 juni: B. Koren. *1. Conditioning of the Euler equations, 2. Limiting and large eddy simulation.*
 inlichtingen: W.H. Hundsdorfer (020-5924096, willem@cwi.nl)

titel: *Topics in Environmental Mathematics*
 frequentie: Symposia, twee tot driemaal per jaar
 inlichtingen: J.G. Verwer (020-5924095, janv@cwi.nl)

titel: *Werkgroep Grootchalig Rekenen*
 frequentie: twee- tot driewekelijks, op woensdag- of vrijdagochtend.
 inlichtingen: H.J.J. te Riele (020-5924106, herman@cwi.nl)

titel: *Stieltjes Workshop Factorisatie- en Priemtest-methoden*
 zaal: M279 of M280

frequentie: tweewekelijks, op vrijdagochtend
 start: vrijdag 28 januari
 inlichtingen: R. Tijdeman (070-277138) en H.J.J. te Riele (020-5924106, herman@cwi.nl)

TUD titel: *J.M. Burgerscenter Summerschool*
 periode: 31 mei - 3 juni
 samenwerking: met CWI-UU colloquia *Massively Parallel Computing and Applications*.
 inlichtingen: Mw. M.C.H. Moonen (015-783216)

titel: *Numerieke Stromingsleer III*, tweede fase cursus van J.M. Burgerscentrum
 periode: 13 - 17 juni
 inlichtingen: Mw. M.C.H. Moonen (015-783216)

TUE titel: *Colloquium en Werkseminarium Numerieke Analyse*
 thema: in voorjaar 1994: Iteratieve methoden voor lineaire stelsels
 plaats: Hoofdgebouw, zaal 6.96
 frequentie: wekelijks, op woensdag, van 11.30 - 12.30 u. (colloquium en werkseminarium beurtelings)
 inlichtingen: Colloquium: A.A. Reusken (040-474358), Werkseminarium: E.F. Kaasschieter (040-472804)

UU titel: *Optimal Krylov Subspace Methods* (Master Class college)
 plaats: Wiskunde Gebouw, K 611
 periode: januari - maart 1994

frequentie: wekelijks, dinsdag van 11.00 - 15.30 u.
inlichtingen: G.L.G. Sleijpen (030-531732)

6 Op bezoek

6.1 Recente en komende buitenlandse bezoekers

- CWI gast: prof.dr. G.I. Shishkin (Institute for Mathematics and Mechanics, Ekaterinburg, Rusland)
- gastheer: P.W. Hemker
- periode: 22 oktober - 14 november 1993
-
- gast: prof.dr. K.G. Powell (University of Michigan, Department of Aerospace Engineering, Ann Arbor, USA)
- gastheer: B. Koren
- periode: 28 februari - 24 maart 1994
-
- gast: prof.dr. H.C. Williams (Department of Computer Science, University of Manitoba, Winnipeg, Canada) (in het kader van de Beegerlezing, op 7 april uit te spreken tijdens het 30e Nederlands Mathematisch Congres te Leiden)
- gastheer: H.J.J. te Riele
- periode: 31 maart - 13 april 1994
-
- RUL/CWI gast: prof.dr. P.L. Montgomery (Department of Mathematics, Oregon State University, Corvallis, USA) (in het kader van het Stimulansproject van het Thomas Stieltjes Instituut van de RUL)
- gastheren: H.J.J. te Riele / R. Tijdeman
- periode: 5 oktober 1993 - 13 december 1993, en 17 januari 1994 - 15 augustus 1994

- TUD gast: dr. Zeng Shi (Tsinghua University, Beijing)
gastheer: P. Wesseling
periode: 1 januari 1993 - 15 november 1993
-
- gast: dr. J. Fort (Institute of Technology, Prague)
gastheer: P. Wesseling
periode: 1 februari 1993 - 1 augustus 1993
-
- gast: dr. S. Koshizuka (University of Tokyo)
gastheer: P. Wilders
periode: 26 en 27 april 1993
-
- TUE gast: prof.dr. G. Wittum (Universität Heidelberg)
gastheer: A.A. Reusken
periode: 25 en 26 november 1993
-
- UT gaste: dr. L.S. Netchitailova-Alboul (Moscow University
"RUDN")
gastheren: R. van Damme en C.R. Traas
periode: 1 januari - 1 april 1994
-

6.2 Recente en komende buitenlandse verblijven

Kiel gast: R.P. Stevenson (TUE)
gastheer: prof.dr. W. Hackbusch
periode: 11 april 1994 - 11 juni 1994

7 Ledeninformatie

7.1 Mutaties

Nieuw:	CWI	dr. J.G.L. Booten drs. E.J. Spee drs. J.J.B. de Swart ir. J. Westland
	NLR(a)	dr. H. van der Ven
	NLR(b)	ir. G. Tiesinga
	RUG	drs.ir. R.S. Heeg
	TUE	ir. M.J. Noot
	UU	ir. P.W.C. Vosbeek ir. A.C.N. van Duin drs. D.R. Fokkema drs. K.H. Tan drs. G.C. Crone
(15)		
<hr/>		
Overleden:	UT	prof.dr.W.W.E. Wetterling
<hr/>		
Dienst verlaten:	CWI KUN	dr.ir. R.A. Trompert dr. H.W.J. Lenferink
<hr/>		
Verhuisd:	van KSLA naar UU van UT naar NLR(b) van TUD naar UU van Auckland naar CWI van TUD naar (13) van TUD naar (12)	dr. R.H. Bisseling dr.ir. J.W. van der Burg ir. M.B. van Gijzen dr. K.J. in 't Hout dr.ir. C.W. Oosterlee ir. E. de Sturler
<hr/>		

7.2 Ledenlijst

Naam	Adres	Tel.	E-mail
Aarden, drs. J.	KUN	080-652489	
Alkemade, dr.ir. J.A.H.	KSEPL	070-3112561	
Axelsson, prof.dr. A.O.H.	KUN	080-653231	axelsson@sci.kun.nl
Bakker, dr. M.	CWI	020-5924172	miente@cw.nl
Bakker, dr. P.M.	KSEPL	070-3113141	
Beckum, drs. F.P.H. van	UT	053-893414	frits@math.utwente.nl
Beek, ir. F.A. van	(7)	020-6056893	
Berg, drs. J.I. van den	NLR(b)	020-5113446	jiberg@nlr.nl
Berkenbosch, drs. A.C.	TUE	040-472702	arco@win.tue.nl
Bisseling, dr. R.H.	UU	030-531481	bisseling@math.ruu.nl
Blom, drs. J.G.	CWI	020-5924101	gollum@cw.nl
Boender, drs. H.	CWI/RUL	020-5924102	henkb@cw.nl
Boerstool, prof.dr.ir. J.W.	NLR(b)/TUD	020-5113417	via Van den Berg
Boonstra, ir. B.H.	(10)	02518-55307	
Booten, dr. J.G.L.	CWI	020-5924093	booten@cw.nl
Borsboom, dr.ir. M.J.A.	WL(b)	05274-2922	mart.borsboom@wldelft.nl
Botta, cr. E.F.F.	RUG	050-633974	E.F.F.Botta@math.rug.nl
Brakkee, ir. E.	TUD	015-787290	e.brakkee@math.tudelft.nl
Brandts, drs. J.H.	UU	030-531733	brandts@math.ruu.nl
Bruin, crs. R. de	RUG-RC	050-633370/633440	
Brummelhuis, ir. P.G.J. ten	UT	053-893416	
Burg, dr.ir. J.W. van der	NLR(b)	020-5113696	vdburg@nlr.nl
Burgers, drs. A.R.	ECN	02246-4105	
Couwenberg, ir. M.J.H.	NLR(b)	020-5113418	couwenb@nlr.nl
Crone, drs. G.C.	(15)	030-537716	crone@fys.ruu.nl
Cuppen, dr.ir. J.J.M.	PhMS	040-762150	
Dam, drs. A.A. ten	NLR(b)	020-5113447	tendam@nlr.nl
Damme, dr. R.M.J. van	UT	053-893417	
Damsté, drs. B.R.	LUW	08370-83562	
Dekker, dr. K.	TUD	015-787291	K.Dekker@math.tudelft.nl
Dekker, prof.dr. Th.J.	UvA		dirk@fwi.uva.nl
Dijkstra, dr. D.	UT	053-893395	dijkstradouw@math.utwente.nl
Dijkstra, dr.ir. H.A.	UU	030-533394	
Dijkzeul, ir. J.C.M.	ICIM	070-906628	
Dingemans, ir. M.W.	WL(b)	05274-2922	
Dorsselaer, drs. J.L.M.	RUL	071-277119	dorssela@wi.leidenuniv.nl
Driessen, drs. M.M.A.	PhNL	040-742008	mdries@prl.philips.nl
Duin, ir. A.C.N. van	UU	030-531457	vduin@math.ruu.nl
Eekhof, dr. H.R.	UT-RC	053-892306	
Emde Boas, dr. P. van	UvA	020-5256065	
Engelen, ir. T.J.	PhNL	040-744842	engelen@prl.philips.nl
Everaars, drs. C.T.H.	CWI	020-5924113	ever@cw.nl
Eykeren, drs. J.C.H. van	RIVM	030-742164	cwmeyk@rivm.nl
Ferket, ir. P.J.J.	TUE	040-472702	peterf@win.tue.nl
Flokstra, ir. C.	WL(b)	05274-2922	
Fokkema, drs. D.R.	UU	030-531457	fokkema@math.ruu.nl

Frankena, dr. J.F.	UT	053-894030	frankena@math.utwente.nl
Gee, dr. M. de	LUW	08370-84592	ztw@hwalhw50.bitnet
Gerritsen, dr.ir. H.	WL(a)	015-569353	
Gerritsma, ir. M.I.	RUG	050-633996	
Gerwen, ir. J.C.H. van	PhNL	040-744771	gerwenvj@prl.philips.nl
Geurts, drs. A.J.	TUE	040-474582	wstanw3@heitue5.bitnet
Gijzen, ir. M.B. van	UU	030-531437	vangyzen@math.ruu.nl
Gilding, dr. B.H.	UT	053-893372	gilding@math.utwente.nl
Ginneken, ir. C.J.J.M. van	TUE		
Gmelig Meyling, dr.ir. R.H.J.	KSEPL	070-3112512	
Goede, dr. E.D. de	WL(a)	015-569353	erik.degoede@wldelft.nl
Gragert, dr. P.K.H.	UT	053-893401	gragert@math.utwente.nl
Griend, dr. J.A. van de	RUL	071-277142	vdgriend@wi.leidenuniv.nl
Groen, prof.dr. P.P.N. de	(2)	+32.26413307	pieter@vub.ac.be
Groeneweg, drs. J.	RUL	071-277119	groen@wi.leidenuniv.nl
Groot, ir. J. de	(5)	040-743139	degroot@prl.philips.nl
Haan, ir. B.J. de	RIVM	030-743080	cwmhaan@rivm.nl
Haas, ir. P. de	WL(b)	05274-2922	paul.dehaas@wldelft.nl
Hagebeuk, dr. H.J.L.	TUE		
Heeg, drs.ir. R.S.	RUG		R.S.Heeg@math.rug.nl
Heijstek, dr. J.J.	NLR(a)	05274-8463	heystek@nlr.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	015-783825	
Hoffmann, dr. W.	UvA	020-5257538	walter@fwi.uva.nl
Hogewij, G.M.D.	(1)	03402-31224	
Hoop, prof.dr.ir. A.T. de	TUD-EL	015-785203	de_hoop@et.tudelft.nl
Hout, dr. K.J. in 't	CWI	020-5924120	hout@cwil.nl
Hout, dr. R. van der	AKZO	085-664553	
Houwen, prof.dr. P.J. van der	CWI/UvA	020-5924083	senna@cwil.nl
Huizing, drs. R.M.	CWI	020-5924102	marije@cwil.nl
Hulsen, ir. L.J.M.	WL(a)	015-569353	
Hundsorfer, dr. W.H.	CWI	020-5924096	willem@cwil.nl
Jacobs, ir. F.J.	KSEPL	070-3113237	
Jansen, dr.ir. J.K.M.	TUE	040-474599	wstanw@win.tue.nl
Jong, dr.ir. J.L. de	TUE		
Jong, dr. L.S. de	PhNL	040-744124	djong@prl.philips.nl
Kaasschieter, dr. E.F.	TUE	040-472804	wsanrk@win.tue.nl
Kan, ir. J.J.I.M. van	TUD		
Kats, drs. J.M. van	CONVEX	030-888368	vankats@convex.nl
Kattenberg, dr. A.	KNMI	030-206642	
Kester, ir. J.A.Th.M. van	WL(a)	015-569353	
Klopman, ir. G.	WL(b)	05274-2922	gert.klopman@wldelft.nl
Kok, drs. J.	CWI	020-5924107	jankok@cwil.nl
Koren, dr.ir. B.	CWI	020-5924114	barry@cwil.nl
Kraaijevanger, dr. J.F.B.M.	KSEPL	070-3112318	kraaijevangerj@ksepl.nl
Kuerten, dr. J.G.M.	UT		
Laan, drs. C.G. van der	(11)		
Laan-de Klerk, ir. P.	UT	053-893411	
Leendertse, ir. G.P.	ECN	02246-4105	
Leer, prof.dr. B. van	(14)		bram@caen.engin.umich.edu

Linde, dr. H.J. van	RUG-RC		
Loen, drs. W.M.	CWI	020-5924101	walter@cw.nl
Loon, ir. M. van	CWI	020-5924105	vanloon@cw.nl
Loon, dr. P.M. van	TUE	040-474528	
Louter-Nool, drs. M.	CWI	020-5924101	greta@cw.nl
Lu, drs. H.	KUN	080-652489	haolu@sci.kun.nl
Maarel, dr.ir. H.T.M. van der	MARIN	08370-93479	maarel@marin.nl
Maten, dr. E.J.W. ter	PhNL	040-742709	maten@prl.philips.nl
Mattheij, prof.dr. R.M.M.	TUE	040-472080	wstanw10@win.tue.nl
Meijer, dr.ir. K.L.	WL(b)	05274-2922	karel.meijer@wldelft.nl
Meijerink, drs. J.A.	KSEPL	070-3113059	
Melissen, drs. J.B.M.	PhNL	040-743656	melissen@prl.philips.nl
Michielse, dr.ir. P.H.	CONVEX	030-888368	michiels@convex.nl
Mol, ir. W.J.A.	RIVM	030-742378	wimm@rivm.nl
Molenaar, dr. J.	TUD	015-787240	hansmo@twi.tudelft.nl
Molenaar, dr. J.	TUE-IWDE	040-474760	
Mooiman, ir. J.	WL(a)	015-569353	jan.mooiman@wldelft.nl
Morsche, dr. H.G. ter	TUE	040-474241	
Mulder, dr. W.A.	KSEPL	070-3112905	mulder@ksepl.nl
Mur, dr.ir. G.	TUD-EL	015-786294	mur@et.tudelft.nl
Mynett, dr.ir. A.E.	WL(a)	015-569353	arthur.mynett@wldelft.nl
Neytcheva, dra. M.G.	KUN	080-652485	neytchev@sci.kun.nl
Noot, ir. M.J.	TUE	040-474578	wsanmn@win.tue.nl
Nooyen, dr. R.R.P. van	TUD	015-787291	witaron@dutita4.twi.tudelft.nl
Oosterlee, dr.ir. C.W.	(13)	+49.2241142118	Kees.Oosterlee@gmd.de
Ouden, ir. A.C.B. den	ECN	02246-4099	
Paardekooper, prof.dr. M.H.C.	KUB	013-662061	paardeko@htikub5.bitnet
Pas, drs. R.J. van der	CONVEX	030-888368	vdpas@convex.nl
Peerdeman, drs. A.P.W.	(4)	074-482851	
Peters, ir. J.M.F.	PhNL	040-742102	jpeters@prl.philips.nl
Petit, ir. H.A.H.	WL(b)	05274-2922	
Pflugger, dr. P.	UvA	020-5255204	pia@fwi.uva.nl
Piepers, ir. J.	KSLA		
Ploeg, ir. A. van der	RUG	050-633996	ploeg@math.rug.nl
Polak, drs. S.J.	PhMS	040-762160	spolak@mswe.decnnet.philips.nl
Polman, dr. B.J.W.	KUN	080-652862	polman@sci.kun.nl
Postma, ir. L.	WL(a)	015-569353	
Potma, drs. K.	UvA	020-5257539	potma@fwi.uva.nl
Praagman, dr. N.	(6)	010-671361	
Quak, ir. D.	TUD-EL	015-786913	quak@et.tudelft.nl
Reusken, dr. A.A.	TUE	040-474358	wsanar@win.tue.nl
Riele, dr.ir. H.J.J. te	CWI	020-5924106	herman@cw.nl
Ripmeester, drs. Th.J.	UvA	020-5257540	dirk-jan@fwi.uva.nl
Romate, ir. J.E.	KSLA		
Rusch, drs. J.J.	PhNL	040-742832	rusch@prl.philips.nl
Sauter, ir. F.J.	RIVM	030-743155	cwmferd@rivm.nl
Schilders, W.H.A., Ph.D.	PhNL	040-742102	schildr@prl.philips.nl
Schippers, dr.ir. H.	NLR(a)	05274-8446	hschippers@nlr.nl
Scholten, ir. D.J.	UT	053-893419	
Schulkes, dr. R.M.S.M.	(9)		
Schuppen, drs. R.T. van	UU-ACCU		

Schurer, dr.ir. F.	TUE		
Segal, ir. A.	TUD	015-785535	
Sleijpen, dr. G.L.G.	UU	030-531732	sleijpen@math.ruu.nl
Sluis, prof.dr. A. van der	UU	030-512159	vdsluis@math.ruu.nl
Sommeijer, dr. B.P.	CWI	020-5924192	bsom@cwi.nl
Sonneveld, ir. P.	TUD		
Spee, drs. E.J.	CWI	020-5924105	edwins@cwi.nl
Spekreijse, dr.ir. S.P.	NLR(a)	05274-8361	spekreijse@nlr.nl
Spijker, prof.dr. M.N.	RUL	071-277132	spijker@rulcri.leidenuniv.nl
Stam, J.H.	TUD-EL		hans@hdetud53.bitnet
Steen, drs. A. van der	UU-ACCU		
Stevenson, dr. R.P.	TUE	040-472909	stevens@win.tue.nl
Stelling, prof.dr.ir. G.S.	WL(a)	015-569353	
Stijn, dr.ir. Th.L. van	RWS/DGW		
Straetemans, drs. F.A.J.	RUL	071-277119	francstr@wi.leidenuniv.nl
Stortelder, ir. W.J.H.	CWI	020-5924122	walterst@cwi.nl
Stroeker, dr. R.J.	EUR	010-4081260	stroeker@wis.few.eur.nl
Sturler, ir. E. de	(12)	+41.91508265	sturler@serd.cscs.ch
Swart, drs. J.J.B. de	CWI	020-5924093	jacques@cwi.nl
Talman, dr. A.J.J.	KUB		
Tan, drs. K.H.	UU/WL(b)	030-531457	tan@math.ruu.nl
Temme, dr. N.M.	CWI	020-5924240	nicot@cwi.nl
Thije Boonkamp, dr.ir. J.H.M. ten	TUE	040-474123	tenthije@win.tue.nl
Tiesinga, ir. G.	RUG		G.Tiesinga@math.rug.nl
Traas, prof.dr. C.R.	UT	053-893408	traas@math.utwente.nl
Vatvani, ir. D.K.	WL(a)	015-569353	
Veen, drs.ir. W.A. van der	CWI	020-5924093	wolter@cwi.nl
Veldhuizen, prof.dr. M. van	VUA	020-5483537	velm@cs.vu.nl
Veldman, prof.dr. A.E.P.	RUG	050-633988	A.E.P.Veldman@math.rug.nl
Veling, dr. E.J.M.	RIVM	030-742072	cwmedve@rivm.nl
Ven, dr. H. van der	NLR(b)	020-5113633	venvd@nlr.nl
Verboom, dr.ir. G.K.	WL(b)	05274-2922	gerrit.verboom@wldelft.nl
Verheggen, dr.ir. T.M.M.	KSLA		
Verstappen, dr.ir. R.W.C.P.	RUG	050-633958	R.W.C.P.Verstappen@math.rug.nl
Verwer, dr. J.G.	CWI	020-5924095	janv@cwi.nl
Vis, ir. M.A.	(8)	020-5482719	
Vogels, ir. M.E.S.	NLR(b)	020-5113426	vogels@nlr.nl
Vooren, prof.dr.ir. A.I. van de	RUG		
Vorst, dr.ir. G.A.L. van de	TUE	040-474328	wsangv@win.tue.nl
Vorst, prof.dr. H.A. van der	UU	030-533732	vorst@math.ruu.nl
Vos, dr. R.J.	WL(a)	015-569353	robert.vos@wldelft.nl
Vosbeek, ir. P.W.C.	TUE	040-474285	wsanpv@win.tue.nl
Vreugdenhil, dr.ir. C.B.	UU-IMAU	030-533167	vreugdhl@fys.ruu.nl
Vries, ir. R.W. de	UT	053-893409	vriesde@math.utwente.nl
Vuik, dr.ir. C.	TUD	015-785530	c.vuik@math.tudelft.nl
Wachters, dr. A.J.H.	PhNL	040-742402	wachters@prl.philips.nl
Wees, dr.ir. A.J. van der	NLR(a)	05274-8374	
Weiden, dr. R.M. van der	KSEPL	070-3112927	
Wesseling, prof.dr.ir. P.	TUD	015-783631	p.wesseling@math.tudelft.nl
Westland, ir. J.	NLR(a)	05274-8447	wstland@nlr.nl
Wiel, drs. M.C.J. van de	PhNL	040-744341	wielvdm@prl.philips.nl

Wijbenga, ir. J.H.A.	WL(b)	05274-2922
Wijckmans, ir. P.M.E.J.	TUE	040-472112 patrickw@win.tue.nl
Wilders, dr. P.	TUD	015-785535 p.wilders@math.tudelft.nl
Willemse, ir. J.B.T.M.	(2)	
Winter, D.T.	CWI	020-5924098 dik@cw.nl
Wolkenfelt, dr. P.H.M.	(3)	
Wubs, dr.ir. F.W.	RUG	050-633994 F.W.Wubs@math.rug.nl
Wuytack, prof.dr. L.	UIA	
Zandbergen, prof.dr.ir. P.J.	UT	053-893405
Zeeuw, drs. P.M. de	CWI	020-5924113 pauldz@cw.nl
Zegeling, dr. P.A.	UU	030-532303 zegeling@math.ruu.nl
Zijlema, ir. M.	TUD	015-787290
Zwier, dr.ir. G.	UT	053-893411

8 Adressen

8.1 Instituten en bedrijven

- AKZO Akzo Research, Afd. CRS, Velperweg 76, 6824 BM Arnhem. Postbus 60, 6800 AB Arnhem. Tel.: 085-664433.
- CONVEX Computer B.V., Europalaan 514, 3526 KS Utrecht. Tel.: 030-888368.
- CWI Centrum voor Wiskunde en Informatica, Afdeling Numerieke Wiskunde, 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.: 02246-4505.
- EUR Erasmus Universiteit Rotterdam, Econometrisch Instituut, Burgemeester Oudlaan 50, 3602 PA Rotterdam. Postbus 1738, 3000 DR Rotterdam. Tel.: 010-4081111.
- ICIM Informatica Centrum voor Infrastructuur en Milieu B.V., Nijverheidsstraat 1, 2238 BB Rijswijk (Z.H.). Postbus 5809, 2280 HV Rijswijk (Z.H.). Tel.: 070-3196333.
- KNMI Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Wilhelminalaan 10, 3732 GK De Bilt. Postbus 201, 3730 AE De Bilt. Tel.: 030-206911.
- 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 3003, 1003 AA Amsterdam. Tel.: 020-309111 of 30 en doorkiesnummer.

- KUB Katholieke Universiteit Brabant, Subfaculteit Econometrie, Postbus 90153, 5000 LE Tilburg. Tel.: 013-669111 of 66 en doorkiesnummer.
- KUN Mathematisch Instituut der Katholieke Universiteit Nijmegen, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen. Tel.: 080-652986.
- LUW Vakgroep Wiskunde van de Landbouw Universiteit Wageningen, De Dreijen 8, 6703 BC Wageningen. Postbus 8003, 6700 EB Wageningen. Tel.: 08370-84385.
- MARIN Maritiem Instituut Nederland, Postbus 28, 6700 AA Wageningen.
- NLR Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium,
(a) Voorsterweg 31, 8316 PR Marknesse. Postbus 153, 8300 AD Emmeloord. Tel.: 05274-8444.
(b) Anthony Fokkerweg 2, 1059 CM Amsterdam. Tel.: 020-5113113.
- PhMS Nederlandse Philips Bedrijven B.V., Philips Medical Systems, Postbus 10.000, 5680 DA Best. Tel.: 040-762014.
- 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.: 040-744500, b.g.g. 744687 (IST) of 791111 (algemeen).
- RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven. Tel.: 030-749111 of 030-74 en doorkiesnummer.
- RUG Mathematisch Instituut der Rijksuniversiteit te Groningen, Blauwborgje 3, Postbus 800, 9700 AV Groningen. Tel.: 050-639111.

- RUG-RC Rekencentrum der Rijksuniversiteit Groningen, Universiteitscomplex Paddepoel, Postbus 800, 9700 AV Groningen. Tel.: 050-639111.
- RUL Afdeling Wiskunde en Informatica der Rijksuniversiteit te Leiden, Niels Bohrweg 1, 2333 CA Leiden. Postbus 9512, 2300 RA Leiden. Tel.: 071-272727 of 27 en doorkiesnummer.
- UU Mathematisch Instituut der Universiteit te Utrecht, Universiteitscentrum De Uithof, Budapestlaan 6, 3584 CD Utrecht. Postbus 80.010, 3508 TA Utrecht. Tel.: 030-531430 of 53 en doorkiesnummer. Fax: 030-531633.
- UU-ACCU Academisch Computer Centrum Utrecht, Budapestlaan 6, 3584 CD Utrecht. Tel.: 030-531436.
- UU-IMAU Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht, Buys-Ballot Laboratorium, Postbus 80.005, 3508 TA Utrecht.
- RWS/DGW Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Postbus 209707, 2500 EX Den Haag. Tel.: 070-3745745.
- TUD Technische Universiteit Delft, Technische Wiskunde en Informatica, Mekelweg 4, 2628 CD Delft. Postbus 5031, 2600 GA Delft. Tel.: 015-783833 of 78 en doorkiesnummer. Fax: 015-787209.
- TUD-EL Technische Universiteit Delft, Vakgroep Electromagnetisme, Mekelweg 4, 2628 CD Delft. Postbus 5031, 2600 GA Delft. Tel.: 015-786620, Fax: 015 - 783622.
- 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.: 040-479111 of 47 en doorkiesnummer.

TUE-IWDE	Instituut Wiskundige Dienstverlening Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven, Den Dolech 2, 5612 AZ Eindhoven. Postbus 513, 5600 MB Eindhoven. Tel.: 040-474760.
UT	Faculteit der Toegepaste Wiskunde, Universiteit Twente, Drienerlo, Postbus 217, 7500 AE Enschede. Tel.: 053-899111 of 89 en doorkiesnummer.
UT-RC	Rekencentrum der Universiteit Twente, Postbus 217, 7500 AE Enschede. Tel.: 053-899111.
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.
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.: 015-569353.
(b)	Voorsterweg 28, 8316 PT Marknesse. Postbus 152, 8300 AD Emmeloord. Tel.: 05274-2922.

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 Achkant 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. Svasek B.V., Heer Bohelweg 145, 3032 AD Rotterdam.
7. Fokker Space & Systems B.V., Postbus 12222, A 312-500, 1100 AE Amsterdam Z.O., Tel.: 020-6056893 (Tel.: 020-6059111).
8. Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit der Geneeskunde, Vakgroep Fysiologie, Van der Boechorststraat 7, 1081 BT Amsterdam.
9. School of Mathematics, University of East Anglia, Norwich NR4 7TJ, United Kingdom.
10. Heereweg 9, Castricum.
11. Hunzeweg 57, 9893 PB Garnwerd.
12. Swiss Scientific Computing Center CSCS-ETHZ, Via Cantonale CH-6928 Manno, Zwitserland.
13. GMD, I1.T, Schloss Birlinghoven, Postfach 1316, D-53757 Sankt Augustin, Duitsland.
14. The University of Michigan, Department of Aerospace Engineering, Ann Arbor, MI 48109-2140, USA.
15. Universiteit Utrecht, Vakgroep Fysische Informatica, Buys Ballotlaboratorium, Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht.