

3.1 ALLGEMEINE ANGABEN ZUM TEILPROJEKT C19

3.1.1 Thema:

DREIDIMENSIONALE MRHD

3.1.2 Fachgebiet und Arbeitsrichtung:

Fachgebiet: Theoretische Astrophysik, Computational Physics
 Arbeitsrichtung: Magnetostrahlungshydrodynamik, Finite Differenzen, Parallelisierung

3.1.3 Leiter:

Kley, Wilhelm
 19.02.1958
 Institut für Astronomie
 und Astrophysik
 Computational Physics
 Universität Tübingen
 Auf der Morgenstelle 10
 72076 Tübingen
 Tel. (07071) 29 74007
 Fax: (07071) 29 5889
 E-mail: kley@
 tat.physik.uni-tuebingen.de
 Unbefristete Stelle

Klahr, Hubert
 21.07.1966
 Institut für Astronomie
 und Astrophysik
 Computational Physics
 Universität Tübingen
 Auf der Morgenstelle 10
 72076 Tübingen
 Tel. (07071) 29 74007
 Fax: (07071) 29 5889
 E-mail: klahr@
 tat.physik.uni-tuebingen.de
 Stelle vom 1.10.2000 –
 30.9.2002

3.1.4 Beteiligte Wissenschaftler

Dipl.-Phys. Dipl.-Inf. Richard Günther
 Gennaro d'Angelo
 Dipl.-Phys. Daniel Kobras
 Dr. Jochen Peitz

3.1.5 Im Rahmen des SFB 382 finanzierte Mitarbeiter

Gennaro D'Angelo	BAT IIa/2 16.11.2001 – 31.12.2001
Richard Günther	BAT IIa seit November 2001
Christine Herold	20 h/mtl. gepr. 1.8.2001–31.12.2001
Daniel Kobras	3/4 BAT IIa 1.8.2001 – 31.12.2001
Daniel Kobras	1/4 BAT IIa 1.1.2002 – 31.12.2002
Christoph Schäfer	BAT IIa/2 1.5.2001 – 31.12.2001

3.2 ARBEITS- UND ERGEBNISBERICHT

3.2.1 Ausgangsfragestellung bei der letzten Antragstellung

Das Teilprojekt über das hier zu berichten ist, wurde erst im Zuge der Berufung von Prof. Kley auf die Professur "Computational Physics" am Institut für Astronomie & Astrophysik nachträglich beantragt und erst im Januar 2001 bewilligt. Da es sich zunächst als sehr schwierig erwies, sofort fähige Mitarbeiter für dieses anspruchsvolle Projekt zu gewinnen, wurde erst gegen Ende 2001 mit der eigentlichen Entwicklungsarbeit begonnen. Der Ergebnisbericht erstreckt sich daher zum Zeitpunkt der Niederschrift auf einen Berichtszeitraum von etwa einem Jahr.

Innerhalb dieses Teilprojektes sollte ein Programmpaket zur Lösung der magnetohydrodynamischen Gleichungen unter dem Einschluss von Strahlungstransport, Selbstgravitation und lokaler Gitterverfeinerung in mehreren Dimensionen, kurz *Magneto-Radiation-Hydro-Dynamics* MRHD entwickelt werden. Dieses sollte im Wesentlichen auf zwei bestehenden Programmpaketen (TRAMP, NIRVANA) basieren, sowie Neuentwicklungen in drei Bereichen beinhalten: a) die Parallelisierung des Programmpakets, b) die Berücksichtigung von Eigengravitation und c) die Entwicklung von adaptiven Multigittermethoden.

3.2.2 Verwendete Grundlagen

Eine Neuentwicklung soll auf einem soliden Fundament entstehen, so dass zunächst bestehende Programmpakete mit ähnlichem Funktionsumfang evaluiert wurden, um aus deren Stärken und Schwächen zu lernen. Zur Vermeidung von unnötiger Mehrfachentwicklung bot sich an, als Grundlage für eventuelle Parallelisierung und/oder Gitterverwaltung auf bestehende Programmpakete zurückzugreifen, soweit diese geeignet erscheinen und ausreichend dokumentiert sind.

Bezüglich der verwendeten hydrodynamischen Algorithmen und Methoden wurden neben den am Institut verwendeten Paketen RH2D (Kley, 1989), TRAMP (Klahr, Henning & Kley, 1999) und NIRVANA (Ziegler & Yorke, 1997; Ziegler, 2000) die Programmpakete ZeusMP (Stone, Norman, 1992ab; Norman, 2000) und Flash (Fryzell et al., 2000) evaluiert. Im Rahmen der Parallelisierungs-Methoden wurden unter anderem die vorhandenen Pakete Overture (Henshaw, 1996), Chombo (NERSC), Cactus (Allen et al., 2000) und POOMA (Atlas et al., 1995) auf ihre Eignung als Grundlage für eine Neuentwicklung untersucht. Dabei stand neben der potentiellen Erweiterbarkeit auch die Qualität der Programmierung und die Dokumentation der Programmquellen im Vordergrund.

Neben den bewährten hydrodynamischen Methoden aus TRAMP und NIRVANA bietet sich nach der Evaluierung von ZeusMP und FLASH insbe-

sondere die Piecewise Parabolic Method (PPM) zur Integration der hydrodynamischen Gleichungen an, da sie erfolgreich auf vielerlei physikalische Probleme und auf massiv parallelen Systemen eingesetzt worden ist.

Die Bibliotheken Overture und Chombo leisten beide die Verwaltung der hydrodynamischen Gitter unter Berücksichtigung von adaptiven Multigittern und Parallelisierung. Chombo scheidet aus, da die Dokumentation unzureichend für eine Verwendung ist und zudem die verwendeten C++ Konzepte keine einfache Integration mit anderen Paketen zulassen. Overture bietet zusätzlich die Unterstützung von überlappenden und bewegten Gittern, was die Komplexität der numerischen Algorithmen und der Verwendung der Gitterverwaltung erheblich erhöht. Allerdings erscheint uns wie bei Chombo die Dokumentation und die Struktur der internen Quellen unzureichend für eine darauf aufbauende Neuentwicklung. Das am Albert-Einstein-Institut in Golm entwickelte System Cactus wird hier am Institut zur Lösung der Einsteingleichungen zur Berechnung der Kollision von zwei Schwarzen Löchern verwendet (E. Schnetter, siehe Ergebnisbericht zu Teilprojekt B1). Ein großes Problem bei Cactus ist allerdings, dass keine stabile Version des Programmpakets existiert, bzw. dass die Dokumentation nur für veraltete Versionen vorliegt.

Schlussendlich wurde das Programmpaket Parallel Object-Oriented Methods (POOMA), entwickelt am Advanced Computing Laboratory (ACL) des Los Alamos National Laboratory (LANL) als Grundlage für eine Neuentwicklung gewählt. Dieses Programmpaket ist eine moderne objektorientierte, in C++ geschriebene Bibliothek, was eine zügige Programmentwicklung ermöglicht. POOMA bietet neben einer modularisierten und transparenten Parallelisierung mit Threads oder MPI die Verwaltung von Gitterstrukturen als auch Teilchenverteilungen. POOMA erlaubt das datenparallele Formulieren von Gleichungen mit Hilfe von *Expression Template Techniken*, was zu einer hohen Performance des resultierenden Codes führt. Zudem ist es möglich, mit POOMA ohne großen Aufwand bestehende Module aus fortran-basierten Programmpaketen wie zum Beispiel TRAMP oder NIRVANA zu übernehmen. Für POOMA spricht im besonderen die ausgezeichnete Dokumentation für den Entwickler und der hohe Qualitätsstandard des Quellcodes. POOMA wird in Kooperation mit der Firma CodeSourcery und den LANL als Hauptbenutzer weiterentwickelt. POOMA erlaubt die Verwendung, Erweiterung und den Vertrieb des Programmpakets ohne jede Einschränkungen hinsichtlich kommerzieller Verwendung.

Mit POOMA steht dem SFB damit neben dem im Teilprojekt C6 entwickelten, für die Parallelisierung von Teilchenmethoden spezialisierten, TPO++ Paket eine zweite leistungsfähige Bibliothek für die Parallelisierung, jetzt vor allem für Gitter- und verwandten Methoden zur Verfügung.

Literatur:

- Allen, G. et al., 2000: The Cactus Code: A Problem Solving Environment for the Grid, *Proceedings of the First EGrid Meeting, Poznan, 2000*
- Atlas, S. et al., 1995: POOMA: A high performance distributed simulation environment for scientific applications, in *Proceedings of SuperComputing 95*
- Fryxell, B. et al., 2000: Flash: an Adaptive Mesh Hydrodynamics Code for Modeling Astrophysical Thermonuclear Flashes, in *The Astrophys. J. Suppl.*, **131**, 273
- Henshaw, W. D., 1996: Overture: An Object-Oriented System for Solving PDEs in Moving Geometries on Overlapping Grids, in *Sixth International Conference on Numerical Combustion, New Orleans*
- Klahr, H.H., Henning, Th. & Kley, W., 1999: On the Azimuthal Structure of Thermal Convection in Circumstellar Disks *Astrophys. J.*, **514**, 325
- Kley, W., 1989: Radiation Hydrodynamics of the Boundary Layer I: Numerical Methods *Astron. & Astrophys.*, **222**, 141
- NERSC: Chombo, <http://seesar.lbl.gov/anag/chombo/>
- Norman, M. L., 2000: Introducing ZeusMP: A 3d Parallel, Multiphysics Code for Astrophysical Fluid Dynamics, in *Astrophysical Plasmas: Codes, Models, and Observations, Mexico City*
- Stone, J.M., Norman, M.L., 1992a: ZEUS-2D: A radiation magnetohydrodynamics code for astrophysical flows in two space dimensions. I - The hydrodynamic algorithms and tests. *Astrophys. J. Suppl.* **80**, 753
- Stone, J.M., Norman, M.L., 1992b: ZEUS-2D: A Radiation Magnetohydrodynamics Code for Astrophysical Flows in Two Space Dimensions. II. The Magnetohydrodynamic Algorithms and Tests *Astrophys. J. Suppl.* **80**, 791
- Ziegler, U., 2000: <http://www.aip.de/groups/MHD/numericalmhd/software/nirvana/nirvana.html>
- Ziegler, U. & Yorke, H., 1997: A Nested Grid Refinement Technique for Magnetohydrodynamical Flows *Comp. Phys. Comm.* **101**, 54

3.2.3 Fortschritt und Ergebnisse

Durch eine gründliche Einarbeitung bei gleichzeitiger Restrukturierung der Entwicklerdokumentation des POOMA Programmpakets ist Kompetenz geschaffen worden, welche es ermöglicht sowohl POOMA als auch darauf basierende Programmpakete effizient zu entwickeln als auch zu warten. Zur Evaluierung von POOMA und Teilen des 3D-MRHD Programmpakets wurde zunächst eine Testumgebung geschaffen, in der verschiedene numerische Verfahren auf standardisierte eindimensionale Testprobleme wie das Advektionsproblem von Shu, die Shocktube-Probleme von Sod, Lax, Woodward und Colella und andere Testprobleme (Toro, 1999) anzuwenden.

a) Die Parallelisierung

Die Qualität der Parallelisierung mittels POOMA und MPI wurde auf dem im Haus vorhandenen SFB MPP Cluster *Kepler* und dem MPP Cluster *Phoenix* der Abteilung Computational Physics untersucht. Der Kepler-Cluster besteht aus 98 per Myrinet verbundenen Zweiprozessorrechnern mit 650MHz Pentium III Prozessoren und jeweils 1GB Hauptspeicher (siehe Teilprojekt C6). Der Phoenix-Cluster besteht aus 16 per Dual-100MBit verbundenen Zweiprozessorrechnern mit 1.4GHz Athlon MP Prozessoren und jeweils 2GB Hauptspeicher. Beide Cluster arbeiten mit der SCORE MPI Kommunikationsbibliothek.

Für die Performancemessungen werden die vollständigen Eulergleichungen mit der Zustandsgleichung eines idealen Gases für das Problem einer Sedov-Explosion (Toro, 1999) in dreidimensionalen kartesischen Koordinaten auf einer unterschiedlichen Anzahl von Knoten gelöst. Eine Sedov-Explosion besteht in der zeitlichen Entwicklung einer lokalen Energiedeposition die eine sphärisch symmetrische Schockwelle zur Folge hat, wie sie in Abbildung 1 zu sehen ist.

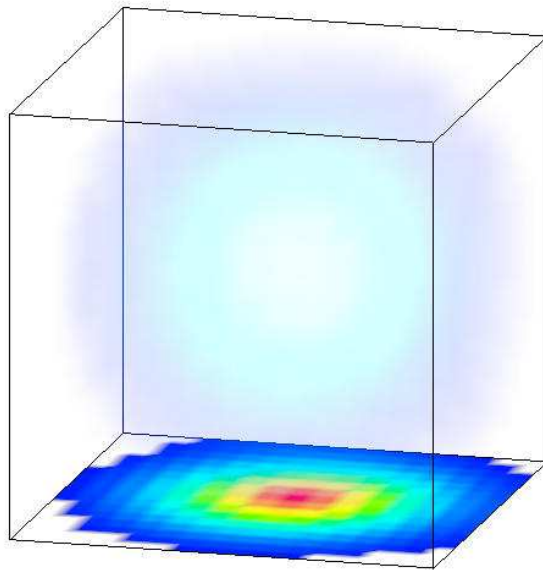


Abbildung 1: 3D Sedov Explosion. Volumendarstellung der Dichteverteilung und Projektion eines Schnitts durch die Mittelebene.

Zwei unterschiedliche Messreihen zur Performanceermittlung wurden durchgeführt:

i) Die erste Messreihe ermittelt die relative Laufzeit einer Simulation bei konstanter **Gesamt**-Problemgröße unter Erhöhung der Knotenzahl. Die Simulationsgröße richtet sich hierbei nach der auf einem Knoten zur Verfügung stehenden Speicherkapazität. Für den Phoenix-Cluster ergibt sich hierbei eine Größe von 224^3 Gitterzellen, für den Kepler Cluster 160^3 . Das optimale Verhalten bei diesem Test ist eine relative Laufzeit, die antiproportional zur Knotenzahl sinkt. In Abbildung 2 sind für die angegebenen Konfigurationen die relativen Laufzeiten gegenüber der Knotenzahl aufgetragen.

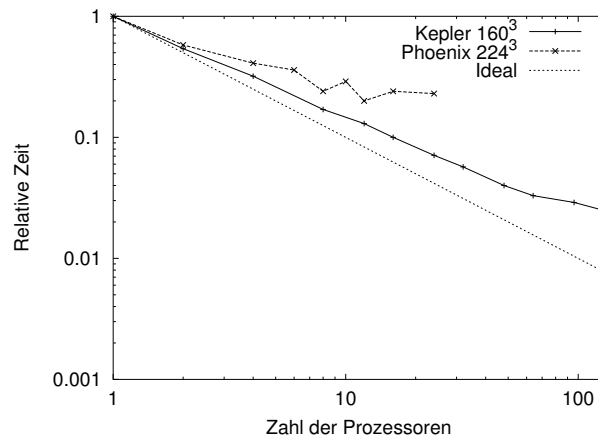


Abbildung 2: Performance bei konstanter Gesamtproblemgröße.

ii) Die zweite Messreihe ermittelt die relative Laufzeit einer Simulation bei konstanter **Teil**-problemgröße (d.h. konstanter Arbeit pro Knoten) unter Erhöhung der Knotenzahl. Die Simulationsgröße wächst somit linear mit der Anzahl der Knoten. Die Problemgröße für einen Knoten wurde für den Kepler Cluster auf 32^3 festgesetzt, für den Phoenix Cluster wurden neben 32^3 auch noch 64^3 und 128^3 gewählt, um die Abhängigkeit der Performance vom Verhältnis von Rechen- zu Kommunikationsaufwand zu demonstrieren. In Abbildung 3 ist neben den relativen Laufzeiten für die angegebenen Konfigurationen auch das optimale Verhalten, eine von der Knotenzahl unabhängige Laufzeit, aufgetragen.

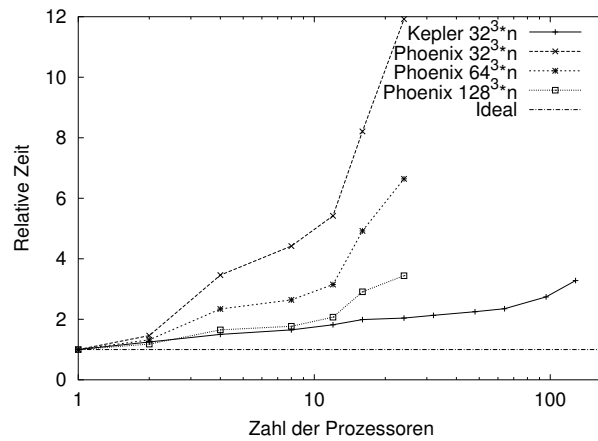


Abbildung 3: Performance bei konstanter Teilproblemgröße.

Aus den Meßkurven läßt sich erschließen, daß der Kepler Cluster aufgrund seiner Netzwerkausstattung mit sehr geringer Latenz deutliche Vorteile für kleine Problemgrößen hat. Dies ist insbesondere in den Sprüngen der Kurven für den Phoenix Cluster bei 12 Prozessoren erkennbar, da ab diesem Punkt zwei Prozessoren pro Knoten zum Einsatz kommen, die sich das Netzwerk teilen müssen. Da in richtigen Simulationen numerische Verfahren mit sehr viel größerem Aufwand pro Gitterzelle zur Anwendung kommen, läßt sich aus diesen als worst-case geltenden Benchmarks auf eine gute Performance beider Cluster schließen.

b) Erweiterungen und Neuentwicklungen

Um die Portierung von TRAMP und NIRVANA auf die POOMA-Architektur vorzubereiten wurde POOMA um folgende Komponenten ergänzt:

- Unterstützung von Doxygen zur Extraktion der Dokumentation.
- Unterstützung für krummlinige Koordinatensysteme, speziell Zylinder- und Polarkoordinaten, sowie sphärische Koordinatensysteme.
- HDF5 I/O Unterstützung.

Doxygen ist ein Hilfsmittel zur automatischen Generierung von Dokumentation. Hierbei wird im Quelltext eingebettete Dokumentation extrahiert, geeignet aufbereitet und als HTML oder als Latex-Dokument ausgegeben. Durch die Verwendung dieses Hilfsmittels ist es möglich die im POOMA

Quelltext reichlich vorhandene hervorragende Dokumentation dem Entwickler und Benutzer übersichtlich zugänglich zu machen.

Krummlinige Koordinatensysteme verlangen nach nichtuniformen Gitterabständen, was von POOMA in der bisherigen Version nicht unterstützt wird. Neben der Unterstützung eben solchen nichtuniformen Tensorproduktgittern wurden Funktionen zur Berechnung von kartesischen Positionen aus Zylinder- und Polarkoordinaten sowie sphärischen Koordinaten implementiert.

HDF5 hat sich als Standardformat zur Sicherung und zum Austausch von strukturierten Daten etabliert und wird auch im Rahmen der Kooperation mit J. Dreher (St. Andrews, Bochum) und U. Ziegler (Potsdam) eingesetzt werden. Mit der Erstellung eines Interface zwischen den POOMA-Objekten (Vektoren, Tensoren, Arrays, etc.) und der HDF5 Bibliothek ist die Grundlage zur Unterstützung eines noch zu spezifizierenden portablen auf HDF5 basierenden Datenformats gelegt worden. Ein solches gemeinsames Datenformat verspricht Synergieeffekte bei Visualisierungs- und Analyseaufgaben, sowie eine einfachere Kooperation mit anderen Gruppen.

c) Physikalische Anwendungen

Im Rahmen der Diplomarbeit von Richard Günther (Günther, 2001) wurde im Rahmen der Berechnung der Dynamik und Entwicklung von zirkumbinären Scheiben die parallele *Dual-Grid*-Technik entwickelt, die es ermöglicht mittels eines kartesischen Koordinatensystems die Singularität von Polarkoordinaten im zentralen Bereich zu überdecken, und so den Rechenbereich auf das Zentrum einer Akkretionsscheibe auszudehnen. Die Erkenntnisse aus dieser publizierten Arbeit (Günther & Kley, 2002) sind nützlich für die Entwicklung von parallelen AMR Verfahren.

Als moderne Methode für multidimensionale Hydrodynamik wurde das auf ENO/WENO Verfahren basierende Central Weighted Essentially non Oscillating (CWENO, Levy et al., 2000) Verfahren implementiert und innerhalb der Testumgebung an eindimensionalen Testproblemen (Shock-Tubes, Sedov-Explosion) getestet. Dieses Verfahren hat sich dabei als sehr diffusiv herausgestellt.

In Kooperation mit Tanja Bubeck laufen Vergleichsrechnungen zwischen der Finite-Mass-Methode (FMM, siehe Teilprojekt C17) und Gittermethoden am Beispiel von verschmelzenden selbstgravitierenden Sternen. Dabei kommt auch ein Multigrid-Poisson-Löser in zwei Dimensionen zum Einsatz. Im Rahmen einer Kooperation mit Jürgen Steinacker (Jena) wurden für das Binärsystem GG Tau, welches schon im Rahmen der oben genannten Diplomarbeit untersucht wurde, Strahlungstransportrechnungen durchgeführt, um mögliche Beobachtungen von hydrodynamischen Features (*Streamers*) zu verifizieren.

In Zusammenarbeit mit Roland Speith (Leicester, Tübingen) wurde die

zeitliche Entwicklung eines viskos zerfließenden Ringes mit Hilfe zweier numerischer Verfahren, Teilchen- (SPH, Teilprojekt C16) und Gitter-Methode (RH2D) berechnet und mit analytischen Rechnungen verglichen. Dabei zeigt sich, dass es hier zu nicht-axialsymmetrischen Instabilitäten kommen kann. Die numerischen Ergebnisse stimmen untereinander und auch mit der analytischen Störungsrechnung sehr gut überein (Speith & Kley, 2003). Als ein weiterer Vergleich der im Rahmen des SFB verwendeten unterschiedlichen Methoden zur Integration der hydrodynamischen Gleichungen wurde gemeinsam von Markus Klingler (FMM, Teilprojekt C17), Stefan Kunze (SPH, Teilprojekt C16) und Willy Kley (RH2D, dieses Teilprojekt) Rechnungen zur Dynamik in engen Doppelsternsystemen (kataklismische Variable) durchgeführt. Dabei steht eine Abschätzung der effektiven Viskosität der einzelnen Verfahren, und deren Einfluß auf die Dynamik einer Akkretionsscheibe im Vordergrund der Untersuchungen.

Literatur:

HDF5: <http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>

Doxygen: <http://www.stack.nl/dimitri/doxygen/>

Günther, R., Kley, W., 2002: Circumbinary Disk evolution, *Astronomy & Astrophysics* **387**, 550–559

Speith, R. & Kley, W., 2003: Stability of the viscously evolving ring *Astron. & Astrophys.*, in press

D. Levy, G. Puppo, G. Russo, 2000: *Compact Central WENO Schemes for Multidimensional Conservation Laws*, *SIAM J. Sci. Comput.* **22**, 2, 656–672

E. F. Toro: *Rieman Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics*, Springer, 1999

3.2.4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit POOMA wurde eine geeignete Grundlage für eine parallele Neuentwicklung eines MRHD Programmpakets gewählt und auf die verbleibenden Arbeiten zugeschnitten. Es steht nun eine funktionierende Bibliothek für die Parallelisierung von Gittermethoden mit angemessener Performance zur Verfügung.

Als einer der nächsten Schritte verbleibt die Portierung der numerischen Schemata von TRAMP und NIRVANA auf die POOMA Architektur, wobei hier gleich die Integration des Strahlungstransports aus TRAMP und der MHD aus NIRVANA erfolgen soll. Ein wesentlicher Teil dieser Arbeit wird sich mit der Portierung der impliziten Löser beschäftigen, da hier vermutlich die Algorithmen ausgetauscht werden müssen um akzeptable Performance auf massiv parallelen Rechnern zu erreichen.

Ausgehend von diesem vereinigten Code sollen dann Verfahren höherer

Ordnung für die Advektion, wie zum Beispiel PPM implementiert und erprobt werden. Zudem steht die Entwicklung eines parallelen Poisson-Lösers an, um die Bandbreite der möglichen physikalischen Anwendung zu vervollständigen.

Neben der Implementierung der MRHD steht noch die Optimierung der Parallelisierung durch POOMA auf die vorhandenen MPP Cluster Kepler und Phoenix an. Zudem sind Tests auf den verfügbaren Großrechnern in Stuttgart und München geplant.

Für weitere Informationen siehe auch den Finanzierungsantrag für die zweite Projektphase des C19 Teilprojekts.

3.3 DIPLOMARBEITEN, DISSERTATIONEN, HABILITATIONEN

3.3.1 Diplomarbeiten

abgeschlossen:

Günther, Richard, 2001: Dynamik und Entwicklung von zirkumbinären Scheiben

3.3.2 Dissertationen

abgeschlossen:

D'Angelo, Gennaro: Numerical Simulations of Disk-Planet Interactions

laufend:

Dirksen, Gerben: Evolution of Planets in protostellar Disks

Günther, Richard: Objektorientierte 3D MRHD

3.3.3 Habilitationen

laufend:

Klahr, Hubertus: Die drei Phasen der Planetenentstehung

3.4 VERÖFFENTLICHUNGEN

Erschienen:

D'Angelo, G., Henning, T., Kley, W., 2002: Nested-grid calculations of disk-planet interaction, *Astron. & Astrophys.*, **385**, 647Dreizler, S., Rauch, T., Hauschildt, P., Schuh, S.L., Kley, W., Werner, K., 2002: Spectral Types of Planetary Host Star Candidates: Two New Transiting Planets? *Astron. & Astrophys.*, **391**, L17Günther, R., Kley, W., 2002: Circumbinary Disk evolution, *Astron. & Astrophys.*, **387**, 550–559Klahr, H.H. & Lin, D.N.C, 2001: Dust Distribution in Gas Disks: A Model for the Ring around HR 4796A *Astrophys. J.*, **554**, 1095Kley, W., D'Angelo, G., Henning, T., 2001: Three-dimensional Simulations of a Planet Embedded in a Protoplanetary Disk, *Astrophys. J.*, **547**, 457Meißner, M., Bartz, D., Günther, R., Straßer, W., 2001: Visibility Driven Rasterization, *Computer Graphics Forum* **20** No. 4Wolf, S., Gueth, F., Henning, Th. & Kley, W., 2002: Detecting planets in protoplanetary disks: A prospective study *Astrophys. J. Letter*, **566**, L97

Wolf, S. & Klahr, H.H., 2002: Large-Scale Vortices in Protoplanetary Disks: On the Observability of Possible Early Stages of Planet Formation *Astrophys. J. Letter*, **578**, L79

Im Druck:

D'Angelo, G., Kley, W. & Henning, Th., 2003: Orbital Migration and Mass Accretion of Protoplanets in 3D Global Computations with Nested Grids *Astrophys. J.*, in press

Klahr, H.H. & Bodenheimer, P., 2003: Vorticity Generation and Angular Momentum Transport via the Global Baroclinic Instability, *Astrophys. J.*, in press

Speith, R. & Kley, W., 2003: Stability of the viscously evolving ring *Astron. & Astrophys.*, in press

Konferenzbeiträge:

D'Angelo, G.; Henning, Th. & Kley, W. 2001: Protoplanets and their Environment *Astronomische Gesellschaft Abstract Series*, **18**, p26

Klahr, H.H. & Bodenheimer, P. 2002: Turbulence in Accretion Disks. The Global Baroclinic Instability *Astronomische Gesellschaft Abstract Series*, **18**, p38

Kley, W., 2001: Planet Formation in Binary Systems in Proceedings of IAU Symp. 200, Potsdam: *The Formation of Binary Stars*, Ed. H. Zinnecker and R.D. Mathieu, p.511

Kley, W., 2003: On Multiple Planet Systems, Proc. ISSI Workshop, Saas Fe 2002, to be published in *Celestial Mechanics*

Kley, W., 2003: Dynamical Evolution of Planets in Disks, Proc. IAU Colloqu. 189, Nanjing 2002, *Astrophysical Tides* to be published in *Celestial Mechanics*

Steinacker, J, Dutrey, A., Günther, R., Kley, W., Guilloteau, St., Henning, Th.: Detecting streamers in GG Tau with the VLTI - predictions based on combined hydrodynamical and radiative transfer models, *JENAM Sep. 2002, Porto - Portugal*

3.5 SONSTIGE AKTIVITÄTEN

3.5.1 Teilnahme an Konferenzen

Günther, R.:

- "Schnelle Löser von großen Gleichungssystemen" WIR-Tutorium, 4. – 5. März 2002, Stuttgart.

Klahr, H.:

- Vortrag, EGS, April 2001, Nizza.

- Poster, GRC Origins of Solar Systems, Juli 2001, Boston.
- Poster, JENAM, September 2001, München.
- “Schnelle Löser von großen Gleichungssystemen” WIR-Tutorium, 4. – 5. März 2002, Stuttgart.

Kley, W.:

- Vortrag “Modelling Planets in Disks”, UKAFF, September 2001, Leicester.
- Organisation eines Mini-Workshops, JENAM 2001, September 2001, München.
- Vortrag “Evolution of Protoplanets in Disks”, DLR Workshop Planetenbildung, Februar 2002, Berlin.

Kobras, D.:

- “Schnelle Löser von großen Gleichungssystemen” WIR-Tutorium, 4. – 5. März 2002, Stuttgart.

Peitz, J.:

- Joint European and National Astronomical Meeting of the European Astronomical Society, September 2001, München.

Schäfer, C.:

- JENAM, September 2001, München. DLR Workshop Planetenbildung, Februar 2002, Berlin.

3.5.2 Forschungs- und Arbeitsaufenthalte

Klahr, H.:

- Gastaufenthalt in Santa Cruz, November 2001.
- Gastaufenthalt in Santa Cruz, April 2002.
- Gastaufenthalt in Santa Cruz, September 2002.

Kley, W.:

- SFB-Vorbereitungsgespräch in Jena, Mai 2001.
- SFB-Vorbereitungsgespräch in Bonn, Juni 2001.

- Sitzung Rat Deutscher Sternwarten, Garching, November 2001.
- Vorbereitung SFB Transregio Gravitationswellen, Jena, November 2001.
- Sitzung MPA, Transregio-Planung, Heidelberg, Januar 2002.
- Sitzung Transregio Gravitationswellen, Jena, Februar 2002.
- Sitzung Rat Deutscher Sternwarten, Heidelberg, April 2002.
- Vorbesprechung DFG-Begehung, Jena, August 2002.

Peitz, J.:

- SISSA, International School for Advanced Studies, Triest, Februar 2002.

3.5.3 Gäste des Teilprojektes

2001

- D'Angelo, G.: Universität Jena, Astrophysikalisches Institut, 04. - 05. April 2001, Arbeitsbesuch.
- D'Angelo, G.: Universität Jena, Astrophysikalisches Institut, 05. - 10. November 2001, Arbeitsbesuch.
- Bodenheimer, P.: University of California, Santa Cruz, 17. - 18. Dezember 2001, Vortrag "On Planet Formation".
- Carmona, A.: Université Louis-Pasteur, Strasbourg, 12. März - 14. Mai 2001, Forschungsaufenthalt.
- Janka, T.: Max-Planck-Institut für Astronomie, Garching, 06. - 07. Dezember 2001, Vortrag "Supernove Explosionen massenreicher Sterne".
- Kroupa, P.: Universität Kiel, Institut für Astrophysik, 01. - 04. Juli 2001, Vortrag.
- Lery, T.: Dublin Institute for Advanced Studies, 26. April 2001, Vortrag "New MHD Models as Input for Numerical Simulations".

2002

- Fendt, C.: Universität Potsdam, 10. Juni 2002, Vortrag "Formation of Astrophysikal Jets".

- Klingenberg, C.: Universität Würzburg, 15. Januar 2002, Vortrag “Mathematical modelling and numerical simulation of astrophysical jets”.
- Munz, C.-D.: Universität Stuttgart, 26. Februar 2002, Vortrag “Shock-Capturing-Methoden in der Strömungsmechanik”.
- Pfeiffer, H.: Cornell University, 15. November 2002, Vortrag “The initial value problem in numerical relativity”.
- Spindeldreher, S.: Landessternwarte Heidelberg, 19. November 2002, Vortrag “Relativistische Hydrodynamik mit Diskontinuierlicher Galerkin Methode”.

3.5.4 Zusammenarbeit mit anderen Gruppen

Zusammenarbeit innerhalb des SFB

Zusammenarbeit mit den Teilprojekten

C6 (Objektorientierte Parallelisierung),

C8 (Zeitintegrationsverfahren),

C16 (Smoothed Particle Hydrodynamics),

C17 (Die Methode der Finiten Massen) und

D7 (Volumenvisualisierung mit Hardwarebeschleunigung).

Zusammenarbeit mit externen Gruppen

Kooperation mit U. Ziegler und R. Klessen (AIP), J. Dreher (School of Mathematics and Statistics, St. Andrews) zur Etablierung eines gemeinsamen, auf HDF5 basierenden Datenformats für AMR Gittermethoden.

Kooperation mit H. Klahr (MPIA Heidelberg, früher Tübingen) hinsichtlich der Portierung von TRAMP auf die POOMA Architektur.