

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, Programmentwicklung

3.1.3 Leiter:

Kley, Wilhelm,
19.02.1958
Institut für Astronomie und Astrophysik
Abteilung Computational Physics
Universität Tübingen
Auf der Morgenstelle 10
72076 Tübingen
Tel (07071) 29-74007/-77681
Fax (07071) 29-5094
wilhelm.kley@uni-tuebingen.de
unbefristete Stelle

3.1.4

entfällt

3.1.5

In dem Teilprojekt sind vorgesehen

- Untersuchungen am Menschen ja nein
- klinische Studien im Bereich der
 somatischen Zell- oder Gentherapie ja nein
- Tierversuche ja nein
- gentechnologische Untersuchungen ja nein

3.1.6 Bisherige und beantragte Förderung des Teilprojektes im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (Ergänzungsausstattung)

Haushalts- jahr	Personal- kosten	Sächliche Verwaltungs- ausgaben	Investi- tionen	gesamt
bis 2000				
2001	54,6			54,6
2002	56,4			56,4
2003	57,6			57,6
Zwischensumme	168,6			168,6
2004	68,4			68,4
2005	68,4			68,4
2006	68,4			68,4

(Beträge in TEUR)

3.2 ZUSAMMENFASSUNG

Numerische Methoden werden seit vielen Jahren erfolgreich zur Lösung komplexer mehrdimensionaler hydrodynamischer Probleme in der theoretischen Astrophysik eingesetzt. Ihre Anwendung beschränkt sich dabei nicht allein auf rein hydrodynamische Problemstellungen, d.h. das Lösen der viskosen Navier-Stokes Gleichungen, sondern auch auf Effekte wie Strahlungstransport, Magnetfelder und Eigengravitation.

Innerhalb dieses Teilprojektes soll ein Programmpaket zur Lösung der magneto-hydrodynamischen Gleichungen unter dem Einschluss von Strahlungstransport und Selbstgravitation in mehreren Dimensionen, kurz *Magneto-Radiation-Hydro-Dynamics* MRHD entwickelt werden. Dieses wird im Wesentlichen auf zwei bestehenden Programmen (TRAMP, NIRVANA) basieren, und die Möglichkeit einer lokalen Gitterverfeinerung bieten.

Zu den Neuentwicklungen werden vor allem folgende Bereiche gehören:

a) Parallelisierung des Programmpakets, b) Berücksichtigung von Eigengravitation, c) Entwicklung von adaptiven Multigittermethoden und d) Implementierung von Shock-Capturing Methoden höherer Ordnung.

Als Grundlage für die Neuentwicklung wurde nach einer Evaluierungsphase das POOMA Programmpaket für die Parallelisierung gewählt und im Rahmen der bisherigen Förderung um Komponenten erweitert, die eine Integration mit den bestehenden Programmpaketen TRAMP und NIRVANA ermöglichen. Die Portierung der gemeinsamen Basisfunktionalität von TRAMP und NIRVANA sollte in kurzer Zeit vollendet sein, sodass sowohl Vergleiche der Performance des seriellen Fortran Codes mit dem parallelen C++ Code, als auch physikalische Modellrechnungen von turbulenten Akkretionsscheiben mit hoher Auflösung möglich sein werden.

Hauptaufgabe der nächsten Förderungsphase wird die Entwicklung und Implementierung von parallelen Lösern von nicht-hyperbolischen linearen (und nichtlinearen) Gleichungssystemen unter Berücksichtigung von adaptiver Gitterverfeinerung sein. Solche Gleichungssysteme schließen die Poisson-Gleichung, den implizit zu lösenden Strahlungstransport und eine implizite Formulierung der Viskosität ein. Zudem sollen parallel zu den algorithmischen Fortschritten aktuelle physikalische Probleme angegangen werden.

3.3 STAND DER FORSCHUNG

Die größten Schwierigkeiten bei der Lösung der hydrodynamischen Gleichungen auf raumfesten eulerschen Gittern bereiten im Allgemeinen die nichtlinearen Transportterme (Advektionsterme) in den Bewegungsgleichungen. Eine mögliche Lösung dieses Problems besteht in der Verwendung von Finite-Volumen-Methoden auf Tensorproduktgittern.

Bei der Lösung astrophysikalischer Fragestellungen finden vor allem zwei Finite-Volumen-Verfahren, die *Monotonic-Transport Methode* (MTM; van Leer 1977, 1979), sowie die *Piecewise Parabolic Method* (PPM; Woodward & Colella, 1984; Colella & Woodward, 1984) Verwendung, die von zweiter bzw. dritter Ordnung in den räumlichen Ableitungen sind. Das erste Verfahren wird benutzt in den Programmpaketen ZEUS-3D (basierend auf ZEUS-2D: Stone & Norman, 1992a, b; Stone, Mihalas & Norman, 1992) und NIRVANA (Ziegler & Yorke 1997, Ziegler, 1998, 2000), welche auf Anfrage hin von ihren Entwicklern den Anwendern zur Verfügung gestellt werden. Das zweite Verfahren (PPM) ist ein *Riemann-Solver*; es wird z.B. im *Prometheus Code* (Fryxell, Müller & Arnett, 1989) verwendet, der zunächst am MPI für Astrophysik in Garching entwickelt und kürzlich als *FLASH-Code* (Fryxell et al. 2000a,b) auf adaptive Gitter erweitert wurde. Mit ZeusMP (Norman, 2000) steht eine parallelisierte Version von Zeus3D zur Verfügung.

Bei hydrodynamischen Rechnungen ist es oft wünschenswert, in verschiedenen räumlichen Bereichen eine der lokalen Variation der physikalischen Größen angepasste (adaptive) Gitterauflösung zu verwenden, um z.B. Stoßwellen und Kontaktdiskontinuitäten räumlich gut auflösen zu können. Von den erwähnten frei zur Verfügung stehenden Programmen bietet nur NIRVANA die Möglichkeit einer Gitterverfeinerung. Zudem verfügt NIRVANA seit kurzem über einen Poisson-Löser. Allerdings bietet NIRVANA momentan keinerlei Möglichkeit einer Parallelisierung. Für PPM wiederum wurden unter anderem von Plewa und Rozyczka (1996) und Fryxell et al. (2000a) adaptive Verallgemeinerungen entwickelt, die allerdings nicht frei zugänglich sind.

Trotz der teilweisen öffentlichen Verfügbarkeit von Programmen sind diese im allgemeinen nicht ohne erhebliche zusätzliche Änderungen, Korrekturen oder Erweiterungen für eine gegebene Problemstellung anwendbar. Auch beinhaltet keines dieser Programme alle gewünschten Effekte, wie Selbstgravitation, Strahlungstransport, Magnetfelder und Viskosität und vor allem Parallelisierung. Somit haben wir uns nach Evaluierung einiger der externen Programme entschlossen, aufbauend auf den in der Arbeitsgruppe benutzten, teilweise selbst entwickelten Programmpaketen RH2D (Kley, 1989), TRAMP (Klahr, Henning & Kley, 1999) und NIRVANA, eine moderne Neuentwicklung durchzuführen.

Wie für die Hydrodynamik stehen auch für die Parallelisierung mit POOMA (Atlas et al., 1995), Cactus (Allen et al., 2000), Overture (Henshaw, 1996) und Chombo (NERSC) zudem mehrere öffentliche Bibliotheken für parallele (und teilweise adaptive) Gittermethoden zur Verfügung. Diese wurden im Rahmen der ersten Förderphase gründlich einer Evaluation unterzogen. Siehe hierzu unter 3.4 (Eigene Vorarbeiten) und den Ergebnisbericht zur letzten Antragsphase.

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*
- Collela, P. & Woodward, P., 1984: *J. Comp. Phys.* **54**, 174
- Fryxell, B.A., Müller E., Arnett, D. 1989: Max-Planck-Institut für Astrophysik, Report 449
- Fryxell, B.A., Olson, K., Ricker, P., Timmes, F.X., Zingale, M., Lamb, D.Q., MacNeice, P., Rosner, R., Truran, J.W., Tufo, H. 2000a: *Astrophys. J. Suppl.* **131**, 273
- Fryxell, B.A., 2000b: <http://flash.uchicago.edu/>
- 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*
- Plewa, T., Rozyczka, M., 1996: *Rev. Mex. Astr. Astrofis.* **54**, 229
- Plewa, T., 2000: <http://www.camk.edu.pl/~tomek/AMRA/>
- Pomraning, G.C., 1973: *The equations of Radiation Hydrodynamics*, Pergamon Press
- Stone, J.M., Mihalas, D., Norman, M.L., 1992: *Astrophys. J. Suppl.* **80**, 819
- Stone, J.M., Norman, M.L., 1992a: *Astrophys. J. Suppl.* **80**, 753
- Stone, J.M., Norman, M.L., 1992b: *Astrophys. J. Suppl.* **80**, 791
- Van Leer, B., 1977: *J. Comp. Phys.* **23**, 276
- Van Leer, B., 1979: *J. Comp. Phys.* **32**, 101
- Woodward, P. & Collela, P., 1984: *J. Comp. Phys.* **54**, 115
- Ziegler, U. & Yorke, H., 1997: *Comp. Phys. Comm.* **101**, 54
- Ziegler, U., 1998: *Comp. Phys. Comm.* **109**, 111
- Ziegler, U., 2000: <http://www.aip.de/groups/MHD/numericalmhd/software/nirvana/nirvana.html>

3.4 EIGENE VORARBEITEN

Der Teilprojektleiter besitzt eine langjährige Erfahrung im Bereich der mehrdimensionalen numerischen Strahlungshydrodynamik.

Basierend auf der *MT*-Methode (van Leer, 1977) wurde zunächst ein vielseitiges zweidimensionales Programm (RH2D) zur Lösung der Gleichungen der Strahlungshydrodynamik unter dem Einschluss des vollständigen Viskositätstensors entwickelt (Kley, 1989). RH2D verwendet das sogenannte *Operator-Splitting* und behandelt die einzelnen Terme der Gleichungen, wie Advektion, Kräfte, Viskosität und Strahlungstransport, nacheinander. Die reine, ideale Hydrodynamik (Advektion, Kräfte) wird entweder richtungsgesplittet oder in einem Gesamtschritt explizit gelöst. Die Viskosität und der Strahlungstransport werden implizit mit iterativen Verfahren (SOR, CG) gelöst. Der Strahlungstransport wird vereinfachend durch eine flusslimitierte Diffusionsnäherung (z.B. Pomraning, 1973) gelöst, welche praktisch einer Zweitemperaturnäherung für die Strahlungs- und Gastemperatur entspricht.

Aufbauend auf diesem zweidimensionalen Code wurde eine vollständig dreidimensionale Version (TRAMP: *Three Dimensional Radiation Modeling Project*) entwickelt (Klahr, Henning, Kley, 1999). Diese beinhaltet wiederum den vollständigen Viskositätstensor jetzt in drei Dimensionen einschließlich der Dissipationsfunktion, jedoch in einer expliziten Formulierung. Der Strahlungstransport wird in einer Eitemperaturnäherung implizit gelöst.

Beide Programme (RH2D und TRAMP) wurden in den letzten Jahren erfolgreich zur Lösung verschiedener astrophysikalischer Problemstellungen wie *Boundary Layer* (Kley 1989; 1991; Kley & Lin, 1996, 1999), *Convection* (Kley, Lin & Papaloizou, 1993), *Cooling Flows* (Kley & Mathews 1995), *Planetenenstehung* (Kley, 1998, 1999; Nelson et al. 2000), *Turbulenz in Akkretionsscheiben* (Klahr & Henning, 1997; Klahr & Bodenheimer, 2003) und anderen Problemstellungen erfolgreich angewendet.

Ergänzend dazu wurde der magnetohydrodynamischen Nested-Grid-Code NIRVANA (Ziegler & Yorke, 1997) um die dreidimensionale Tensor-Viskosität und weitere Module erweitert (Kley, 1998). Rechnungen zur Planetenenstehung, die eine physikalische Zeitspanne von mehrere hunderttausend Jahren überbrücken (Kley 1999, 2000; Nelson et al. 2000) wurden dadurch erst ermöglicht. Weiterhin wurden das Paket NIRVANA durch Überarbeitung der Interpolation der Nested-Grid Struktur erheblich verbessert (D'Angelo, Henning & Kley, 2002), wodurch frühere Instabilitäten vermieden wurden. Kürzlich wurden damit erstmals dreidimensionale, hochaufgelöste Rechnungen zur Planetenenstehung durchgeführt (D'Angelo, Kley, & Henning, 2003). Rechnungen zu diesem Thema unter Einschluss von Strahlungstransport sind ebenso durchgeführt worden.

Im Rahmen einer Diplomarbeit (Günther, 2002) wurde eine neuartige parallele *Dual-Grid*-Technik entwickelt, um den in einem rein zylindrischen Gitter nicht zu erfassenden Innenbereich (z.B. einer Akkretionsscheibe mit einem überlagerten kartesischen Gitter) zu überdecken. Mit Hilfe dieser Technik konnten realistische Modelle zu zirkumbinären Scheiben unter dem Einschluss von Strahlungstransport berechnet werden (Günther & Kley 2002).

Das Teilprojekt über das hier zu berichten ist, wurde 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 einen geeigneten Mitarbeiter für dieses anspruchsvolle Projekt zu gewinnen, wurde erst gegen Ende 2001 mit der eigentlichen Entwicklungsarbeit begonnen. Während der bisherigen Förderung wurde nach der Evaluation mehrerer Kandidaten das Programmpaket Parallel Object-Oriented Methods (POOMA) als Grundlage für eine Neuentwicklung ausgewählt. Dieses zeigte unter allen Kandidaten die beste Performance und Qualität des Quelltextes. Für die Portierung der gemeinsamen Basisfunktionalitäten von TRAMP und NIRVANA wurde POOMA bereits um hierzu notwendige spezifische Fähigkeiten erweitert. Unter anderem ist es nun möglich, neben kartesischen auch zylindrische, polare und sphärische Koordinatensysteme, sowie nicht-uniforme Gitterzellgrößen zu verwenden. Im Rahmen einer Kooperation mit J. Dreher (Bochum) und U. Ziegler (Potsdam) wurde zudem die Möglichkeit geschaffen, POOMA Objekte, wie z.B. Arrays, Vektoren, Matrizen und Tensoren, mit Hilfe der HDF5-Bibliothek in Dateien zu schreiben. Dies ermöglicht den Datenaustausch mit anderen Projekten und die Verwendung von Visualisierungspaketen wie OpenDX oder IDL. Erste dreidimensionale hydrodynamische Testrechnungen (z.B. Sedov-Explosion) konnten bereits durchgeführt werden und erlaubten eine quantitative Messung der Skalierungseigenschaften des Programms. Weitere Details der Evaluierung, der durchgeführten Verbesserungen und der Testrechnungen sind im Ergebnisbericht zu diesem Teilprojekt enthalten.

Durch die erfolgten Arbeiten und Verbesserungen am POOMA-Programmpaket wurde Kompetenz geschaffen, die im Folgenden genutzt und weitergegeben werden kann. Neben dem im Teilprojekt C6 entstandenen Paket TPO++ (einer anwendungsunabhängige Methodik und Klassenbibliothek, um für objektorientierte Sprachen (speziell C++) paralleles Programmieren vor allem nach dem SPMD-Paradigma (Single Program Multiple Data) zu unterstützen), das insbesondere zur Parallelisierung von Teilchenmethoden geeignet ist, steht dem SFB hiermit ein zweites Paket, zugeschnitten auf die Parallelisierung von Gittermethoden, zur Verfügung.

Im Rahmen einer Kooperation mit J. Steinacker (Jena) wurden für das System GG Tau, welches schon in der oben genannten Diplomarbeit unter-

sucht wurde, Strahlungstransportrechnungen durchgeführt, um eine mögliche Beobachtbarkeit von berechneten hydrodynamischen Features zu analysieren.

Die Arbeiten mit hydrodynamischen Gittermethoden innerhalb des SFBs erlaubt auch die fruchtbare Möglichkeit, verschiedene numerische Verfahren auf wohldefinierte physikalische Probleme anzuwenden, und somit im Hause genau kontrollierbare Testbedingungen zu erzeugen. Es wurde ein im Teilprojekt C17 für FMM erstellter zweidimensionaler Multigitter-Poisson-Löser im Rahmen eines Vergleichs von FMM und Gittermethoden von R. Günther (dieses Projekt) zusammen mit T. Bubeck und R. Hiptmaier (C10) evaluiert. Weiterhin haben Markus Klingler (FMM, Teilprojekt C17), Stefan Kunze (SPH, Teilprojekt C16) und Willy Kley (RH2D, dieses Teilprojekt) vergleichende Rechnungen zur Dynamik in engen Doppelsystemen (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. Vergleichende Rechnungen zum Problem des zerfließenden viskosen Ringes unter Verwendung der SPH-Methode (C16) und Gittermethoden haben eindeutig die Existenz einer intrinsischen physikalischen spiralförmigen Instabilität ergeben (Speith & Kley, 2003). Für weitere Informationen siehe auch den ausführlichen Ergebnisbericht zur letzten Antragsphase.

Literatur:

- D'Angelo, G., Henning, T., Kley, W., 2002: Nested-grid calculations of disk-planet interaction, *Astron. & Astrophys.*, **385**, 647
- 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
- Günther, R., Kley, W., 2002: Circumbinary Disk evolution, *Astron. & Astrophys.*, **387**, 550–559
- Klahr, H.H. & Bodenheimer, P., 2003: *Astrophys. J.*, in press
- Klahr, H.H., Henning, Th. & Kley, W., 1999: *Astrophys. J.*, **514**, 325
- Klahr, H.H. & Henning, Th., 1997: *Icarus*, **128**, 213
- Kley, W., D'Angelo, G., Henning, T., 2001: *Astrophys. J.*, **547**, 457
- Kley, W., 2000: *MNRAS*, **313**, L47
- Kley, W., 1999: *Mon. Not. Roy. Ast. Soc.*, **303**, 696
- Kley, W., Lin, D.N.C., 1999: *Astrophys. J.*, **518**, 833
- Kley, W., 1998: *Astr. & Astrophys.*, **338**, L37
- Kley, W., Lin, D.N.C., 1996: *Astrophys. J.*, **461**, 933
- Kley, W., Mathew, W.G., 1995: *Astrophys. J.*, **438**, 100
- Kley, W., Lin, D.N.C. & Papaloizou, J.C.B., 1993: *Astrophys. J.*, **416**, 679

- Kley, W., 1991: *Astr. & Astrophys.*, **247**, 95
Kley, W., 1989: *Astr. & Astrophys.*, **208**, 98
Nelson, R., Masset, F., Papaloizou J.C.B., Kley, W., 2000, *Mon. Not. Roy. Ast. Soc.* **318**, 18
Speith, R. & Kley, W., 2003: Stability of the viscously evolving ring *Astron. & Astrophys.*, in press

3.5 ZIELE, METHODEN, ARBEITSPROGRAMM UND ZEITPLAN

In dem beantragten Teilprojekt werden ehrgeizige Ziele verfolgt. Es handelt sich um ein längerfristiges Projekt, das in mehrere Teilschritte gegliedert ist, die zum Teil voneinander unabhängig bearbeitet werden können.

Die Kombinierung der Methoden aus den bestehenden Programmpaketen TRAMP und NIRVANA zu einem neuen MRHD-Code wird in mehreren Abschnitten erfolgen, die im Folgenden genauer ausgeführt werden. Jeder einzelne Teilschritt dieser Entwicklung des MRHD-Programmpakets soll direkt anhand eines der drei anschließend beschriebenen astrophysikalischen Problemstellungen erfolgen. Die Thematiken beinhalten aktuelle Forschungsgebiete in der theoretischen Astrophysik, in denen Fortschritte letztlich nur durch den Einsatz von modernen numerischen Algorithmen auf Höchstleistungsrechnern zu erzielen sind.

- a) **Planetentstehung:** Die Entwicklung eines Protoplaneten eingebettet in eine protostellare Scheibe soll untersucht werden. Diese Rechnungen sollen mit sehr hoher räumlicher Auflösung in drei Dimensionen (evtl. mit Nested-Grids) durchgeführt werden. Speziell das anfängliche Massenwachstum (Akkretion auf einen Planeten geringer Masse) und eine mögliche radiale Wanderung des Planeten stehen im Mittelpunkt der Untersuchungen. Damit sollte es letztlich möglich sein, Rückschlüsse auf den Entstehungsmechanismus unseres eigenen Sonnensystems ziehen zu können.
- b) **Turbulente Akkretionsscheibe:** Die Entstehung von Turbulenz in Akkretionsscheiben wird durch dreidimensionale Strahlungshydrodynamik-Rechnungen mit hoher räumlicher Auflösung untersucht werden. Diese Rechnungen sollen die Frage klären, ob eine rein hydrodynamisch (ohne Magnetfelder) generierte Turbulenz in Akkretionsscheiben möglich ist, wie einige neuere Arbeiten anzudeuten scheinen. Gegebenenfalls soll dann die aus den Fluktuationen berechenbare effektive α -Viskosität bestimmt werden.

Nach erfolgreicher Entwicklung des MRHD-Codes werden dann analoge Rechnungen unter Einschluss von Magnetfeldern und Eigengra-

vation durchgeführt, um insbesondere deren Einfluss auf die Effizienz und eine mögliche Parametrisierung der Turbulenz zu untersuchen.

- c) **Sternoszillation:** Die Berechnung von Sternoszillationen unter Verwendung von dreidimensionalen Modellen bietet einen geeigneten Testfall für die Hydrodynamik an sich und den zu entwickelnden Poisson-Solver. Zunächst soll das Problem in der Cowling-Näherung (zeitlich konstantes Gravitationspotential der Gleichgewichtskonfiguration) untersucht werden. Anschließend wird das volle Problem mit Eigengravitation (simultanes Lösen der Poissongleichung) aufgesetzt werden. Bereits mit Hilfe dieses Modells sollten auch neue Erkenntnisse über nicht-radiale, nicht-lineare Schwingungseigenschaften von Sternen gewonnen werden können.

Aufbauend auf die in der ersten Antragsphase abgeschlossenen und noch abzuschließenden Vorarbeiten, insbesondere der Portierung der gemeinsamen Basisfunktionalitäten von TRAMP und NIRVANA, sollen die im folgenden angegebenen Punkte bearbeitet werden:

- 1) Die Effizienz und Genauigkeit der portierten Basisfunktionalität wird anhand des Problems b) der turbulenten Akkretionsscheibe untersucht werden. Die Rechnungen werden jeweils mit hoher räumlicher Auflösung erfolgen.
- 2) POOMA soll um die Fähigkeit, adaptive Multigitter zu verwalten, erweitert werden. Hierzu werden die bestehenden Algorithmen aus NIRVANA parallelisiert und gegebenenfalls ausgetauscht oder erweitert. Ein wichtiger Punkt bei parallelen adaptiven Multigittermethoden wird der Grad der Parallelisierung, insbesondere das Load-Balancing sein, sodass hier auf Erfahrungen und Kompetenz des Teilprojekts C6 (Objektorientierte Parallelisierung) zurückgegriffen werden muss.

Anschließend werden hochaufgelöste Planetenrechnungen mit adaptiven Multigittern durchgeführt, wie sie oben unter a) beschrieben sind.

- 3) Die Implementierung eines dreidimensionalen *Poisson-Solvers* zur Behandlung der Eigengravitation. Diese soll für kartesische, Zylinder- und Kugelkoordinaten erfolgen. Für kartesische Koordinaten können Fast-Fourier-Transform (FFT) Algorithmen verwendet werden, wohingegen in den anderen Fällen eine Entwicklung nach Besselfunktionen, bzw. Kugelflächenfunktionen angebracht erscheint. Die Behandlung der Eigengravitation in verschiedenen Koordinatensystemen bedarf allerdings noch einiger Untersuchungen, um die optimal

geeigneten Verfahren zu finden. Auch hier ist direkt eine parallele Implementierung mit Multi-Gittern geplant.

Dieser Schritt ist eine wichtige Grundlage für die Implementierung weiterer impliziter Löser, wie sie z.B. für eine implizite Viskosität und den Strahlungstransport nötig sind.

Als geeignetes Testproblem für den Poisson-Löser bietet sich der Übergang von der Cowling-Näherung im Problem zu einem selbstgravitierenden Stern (Problem c) an.

Anschließend wird der Einfluss der Selbstgravitation einer Akkretionsscheibe genauer untersucht werden, insbesondere im Hinblick auf die Frage einer möglicherweise erweiterten Parametrisierung der Viskosität (sog. β -Viskosität).

- 4) Mit den im vierten Punkt gewonnenen Erfahrungen in der Implementierung von parallelen Lösern von nichthyperbolischen Gleichungssystemen auf Multigittern können nun Strahlungstransport, implizite Viskosität und Magnetfelder eingebaut werden. Die beiden Probleme a) und b) können dann unter Einbeziehung aller relevanter Physik nochmals genau untersucht werden.

3.6 STELLUNG INNERHALB DES PROGRAMMS DES SONDERFORSCHUNGSBEREICHS

Eine enge Beziehung besteht bereits zu den Teilprojekten C16 (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH) und C17 (Die Methode der Finiten Massen) in denen es um alternative Methoden zur Lösung der hydrodynamischen Gleichungen mit Hilfe von Teilchenmethoden geht. Detaillierte Vergleichsrechnungen der in diesem Teilprojekt entwickelten Verfahren mit den SPH- und FMM-Methoden sollen die jeweiligen Vor- und Nachteile herausstellen. Bereits durchgeführt wurden Rechnungen zu kataklysmischen Variablen mit beiden Teilprojekten und zum Problem des viskos zerfließenden Staubbrings mit C16.

Mögliche Varianten bei der Wahl der Zeitschrittintegration sollen in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt C8 erfolgen. Die Optimierung der Parallelisierung geschieht in enger Zusammenarbeit mit C6. In Kooperation mit C17 wird der dort entwickelte Multigitter-Poisson-Löser auf drei Dimensionen erweitert und parallelisiert.

Für die Visualisierung der anfallenden großen dreidimensionalen Daten soll die im Teilprojekt D8 entwickelte Visualisierungshardware zum Einsatz kommen.

Im neuen Teilprojekt D8 wird unter anderem die Möglichkeit, numerische Berechnungen auf vorhandene Grafikhardware auszulagern untersucht. Hier

C 19	Kley Dreidimensionale MRHD	12
------	-------------------------------	----

sollen Ergebnisse von Navier-Stokes Simulationen verglichen werden und die Eignung der dort Entwickelten Verfahren für numerische Simulationen in der Astrophysik entschieden werden.

C6	Objektorientierte Parallelisierung
C8	Zeitintegrationsverfahren
C16	Smoothed Particle Hydrodynamics
C17	Die Methode der Finiten Massen
D8	Hardwareunterstützte Visualisierung auf Cluster-Computern

3.7 ABGRENZUNG GEGENÜBER ANDEREN GEFÖRDERTEN PROJEKTEN

Es sind keine verwandten Projekte vorhanden.

3.8 ERGÄNZUNGS-AUSSTATTUNG FÜR DAS TEILPROJEKT C19

PK : Personalbedarf und -kosten (Begründung vgl. 3.8.1)

SV : Sächliche Verwaltungsausgaben (Begründung vgl. 3.8.2)

I : Investitionen (Geräte über EUR 10.000,- brutto; Begründung vgl. 3.8.3)

PK	Bewilligung 2003			2004			2005			2006		
	Verg.-Gr.	Anz.	Betrag EUR	Verg.-Gr.	Anz.	Betrag EUR	Verg.-Gr.	Anz.	Betrag EUR	Verg.-Gr.	Anz.	Betrag EUR
	BAT IIa	1	57.600,-	BAT IIa	1	57.600,-	BAT IIa	1	57.600,-	BAT IIa	1	57.600,-
	Hiwi			Hiwi	1	10.800,-	Hiwi	1	10.800,-	Hiwi	1	10.800,-
	zus.:	1	57.600,-	zus.:	2	68.400,-	zus.:	2	68.400,-	zus.:	2	68.400,-
SV				Kostenkategorie oder Kennziffer		Betrag EUR	Kostenkategorie oder Kennziffer		Betrag EUR	Kostenkategorie oder Kennziffer		Betrag EUR
				(527)			(527)			(527)		
				zusammen			zusammen			zusammen		
I				Investitionsmittel insges.			Investitionsmittel insges.			Investitionsmittel insges.		

3.8.1 BEGRÜNDUNG DES PERSONALBEDARFS

(Stellen, für die Mittel neu beantragt werden, sind mit * gekennzeichnet)

	Name, akad. Grad, Dienststellung	engeres Fach des Mitarbeiters	Institut der Hochschule oder der außeruniv. Einrichtung	Mitarb. im TP in Std./Wo- che (bera- tend: B)	auf dieser Stelle im SFB tätig seit
GRUND- AUSSTATTUNG 3.8.1.1 wissenschaftliche Mitarbeiter (einschl. Hilfskr.)	1. W. Kley Prof. Dr. rer. nat.	Computational Astrophysics	Astronomie & Astrophysik Tübingen	5	1.1.2001
	2. J. Peitz Dr. rer. nat.	Theoretische Astrophysik	Astronomie & Astrophysik Tübingen	5	1.1.2004
	3. H.H. Klahr Dr. rer. nat.	Computational Astrophysics	MPI für Astronomie Heidelberg	3 (B)	1.1.2001

	Name, akad. Grad, Dienststellung	engeres Fach des Mitarbeiters	Institut der Hochschule oder der außeruniv. Einrichtung	Mitarb. im TP in Std./ Woche (bera- tend: B)	auf die- ser Stelle im SFB tätig seit	der- zeitige Einstu- fung in BAT
ERGÄNZUNGS- AUSSTATTUNG 3.8.1.3 wissenschaftliche Mitarbeiter (einschl. Hilfskr.)	1. R. Günther Dipl.-Phys. Dipl.-Inf.	Computational Astrophysics	Astronomie & Astrophysik Tübingen	38,5	01.11.2001	IIa
	2. N.N. stud. Hilfskraft ...	Theoretische Astrophysik	Astronomie & Astrophysik Tübingen	19	01.01.2004	HIWI

3.8.1 Begründung des Personalbedarfs

3.8.1.1 Wissenschaftliches Personal der Grundausrüstung

1. Prof. Dr. W. Kley
Teilprojektleitung
2. Dr. J. Peitz
Grundlagen der Theoretischen Astrophysik
3. Dr. H. Klahr
Grundlagen bei der Adaptierung und Portierung von TRAMP. War bis 1.10.2002 der 2. Leiter des Teilprojekts.

3.8.1.3 Wissenschaftliches Personal der Ergänzungsausrüstung

1. Dipl.-Phys. Dipl.-Inf. R. Günther
Forschungsarbeit und Implementierung
2. N.N.
Auswertung und Analyse der Ergebnisse

Begründung der beantragten Stellen

Stelle 1 (BAT IIa): Die Entwicklung und Implementierung eines parallelisierten Programmpakets ist sehr umfangreich und bedarf einer sehr genauen Kenntnis der Gleichungen der Magneto- und Strahlungshydrodynamik und gleichzeitig der numerischen Lösungsmethoden. Weiterhin ist die Entwicklung eines parallelen Poisson-Solvers auf Multigittern neuartig und konzeptionell sehr aufwändig. Aus diesen Gründen beantragen wir eine volle Stelle für dieses Teilprojekt. Der bisherige Stelleninhaber Dipl. Phys., Dipl. Inf. Richard Günther bleibt auch weiterhin aufgrund seiner Kenntnisse der Informatik als auch der Physik die optimale Besetzung.

Stelle 2 (Hiwi): Unterstützung bei der Portierung von bestehenden Programmen, und Entwicklung von Tools zur Auswertung und Analyse der bei Rechnungen anfallenden Datensätze.

3.8.2 Aufgliederung und Begründung der Sächlichen Verwaltungsausgaben (nach Haushaltsjahren)

	2004	2005	2006
Für Sächliche Verwaltungsausgaben - stehen als <u>Grundausstattung</u> voraussichtlich zur Verfügung:			
- werden als <u>Ergänzungsausstattung</u> beantragt (entspricht den Gesamtsummen „Sächliche Verwaltungsausgaben“ in Übersicht 3.8):			

(Alle Angaben in EUR)

Begründung zur Ergänzungsausstattung der Sächlichen Verwaltungsausgaben

Reisekosten (527)

Reisekosten werden zentral im Sprecherprojekt Z beantragt.

3.8.3 Investitionen (Geräte über 10.000,- EUR brutto und Fahrzeuge)

entfällt