

FACHSCHAFTSZEITUNG MATHE INFO

WINTER 2012



# ASINUS



# Wie das Universum entstand...

Diese Frage beschäftigen Prof. Christian Klingenberg der Universität Würzburg gemeinsam mit Prof. Dr. Volker Springel der Universität Heidelberg. Sie wollen neue Modelle, neue numerische Verfahren und neue Programme für bessere Computer Simulationen der Entwicklung des Universums finden. Das Forschungsprojekt wird von 2013 – 2016 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) mit ca. 600.000 Euro gefördert. In diesem Interview erklärt uns Prof. Klingenberg, wovon es geht, welche Ansätze er hat und was man sich davon erhofft.

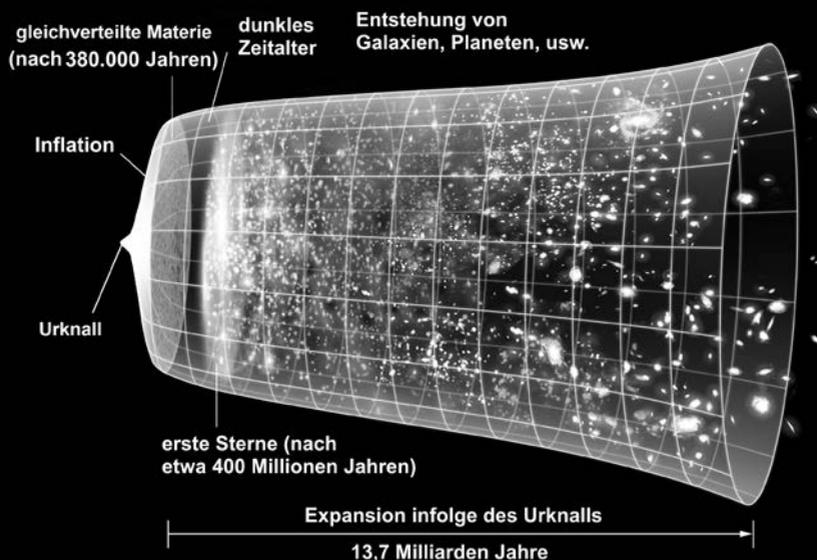
Asinus: Herr Klingenberg, können Sie uns kurz erklären, wovon es überhaupt geht?

Klingenberg: Man möchte versuchen, die Evolution des Universums zu verstehen, im Idealfall von kurz nach seiner Entstehung an bis heute. Man weiß, dass bald nach dem Urknall die Materie gleichmäßig verteilt war, das heißt es gab keine Sterne, keine Galaxien, keine Planeten und auch nichts dergleichen. Aber in dieser Gleichverteilung gab es kleine Störungen und so haben sich im Laufe der Zeit im Universum Strukturen herausgebildet. Um dies mit Hilfe von Computer Simulationen zu zeigen, hat Volker Springel Regeln formuliert in Form von par-

tiellen Differentialgleichungen, welche die Evolution der Materie im Universum beschreiben und diese in einem Computer simuliert, um zu ergründen, wie sich das zeitlich entwickelt. So konnte man sehen, dass die Materie sich im Laufe der Zeit zu Struktur geklumpt hat. Man weiß aus astronomischen Beobachtungen, dass innerhalb dieser Klumpen sich dann in der weiteren Entwicklung Sterne und Planeten bilden. Um diese am Computer selbstkonsistent zu simulieren, müssen die mathematischen Methoden weiterentwickelt werden. Die Simulationen beschreiben riesige Zeit- und Raumskalen, was eine große Herausforderung ist.

Man kann sich das so vorstellen, dass man in die Knotenpunkte der sich oben erwähnten ausgebildeten Strukturen hineinzoomt, um dort Galaxien, und innerhalb der Galaxien die Entstehung von Sternen zu finden. Dies erfordert bessere Modellierung mit partiellen Differentialgleichungen, bessere numerische Verfahren dieser Gleichungen, welche eine sehr effiziente Ausnutzung der Supercomputer erlauben. Dies wollen wir in unserem Projekt angehen.

Asinus: Beschäftigt man sich in Bachelorarbeit mit der Entwicklung solcher Formeln oder reproduziert man eher, warum diese Formeln sinnvoll sind?



finden, um noch detaillierter zu ergründen und beschreiben, wie sich Galaxien gebildet haben, wie Sterne entstehen, wie viele Sterne entstehen und so weiter. Wie sieht diese

Forschung aus?

Klingenberg: Gut, gehen wir etwas mehr ins Detail. Die Probleme, die man bisher betrachtet hat, wurden auf Gittern betrachtet, die fest waren. Volker Springel möchte nun, dass sich die Gitter bewegen. Damit ergibt sich die Fragen, wie man die numerischen Probleme abändert, damit sie auf dieses bewegte Gitter passen. Wenn das gelingt, kann man Sachen viel genauer simulieren. Ein einfaches Beispiel in zwei Raumdimensionen sind zwei Flüssigkeiten, die in entgegengesetzter Richtung aneinander vorbei fließen und Wirbel bilden. Was mit bewegten Gittern sich sehr viel genauer beschreiben lässt, sind die Mischungsverhältnisse in den Wirbeln und man kann genauer verfolgen, wo die Flüssigkeiten noch nicht vermischt sind. Das geht auf festen Gittern viel schlechter. Das ist jetzt natürlich ein sehr einfaches Beispiel, das man gut in den Griff bekommen kann. Wichtig ist, wie man mit bewegten Gittern arbeitet.

Ein wichtiges Stichwort ist Effizienz. Wir reden hier von riesigen Simulationen. In Deutschland gibt es ein paar Supercomputer-Zentren und die Astrophysik in Deutschland verbraucht bestimmt ein Viertel deren Rechenzeit. Das ist unglaublich viel und daher stellt sich immer wieder die Frage: Wie verschwendet man nicht die Rechenzeit sondern macht man die Prozesse effizienter? Eine traditionelle Methode ist die sogenannte Parallelisierung, also auf sehr vielen Rechnern gleichzeitig rechnen. Bei einem festen Gitter kann man das Gebiet aufteilen, und jedes Teilgebiet einen Prozessor zuordnen. Wie man das für unseren Fall mit bewegten Gittern gestaltet, ist noch offen.

Klingenberg: Da gibt es verschiedene Möglichkeiten.

Ein Physiker beobachtet die Natur und überlegt sich Regeln, nach denen sich das Beobachtete verhalten müsste. Für den Mathematiker ist nicht mehr die Natur der Referenzpunkt, sondern die in mathematischen Formeln aufgeschriebenen Regeln. Eine Aufgabe des Mathematikers ist es, heraus zu finden, was für eine Lösung sich hier entwickelt oder ob sich überhaupt eine Lösung entwickelt. Wenn der Physiker bei der Erstellung der Regeln mit Hilfe von mathematischen Gleichungen Fehler macht, kann es sein, dass es mehrere Lösungen gibt oder sogar gar keine, d.h. das vom Physiker aufgestellte Modell muss modifiziert werden. Teilaspekte diese Frage kann man mathematisch in einer Bachelorarbeit diskutieren.

Das nächst sind Masterarbeiten. In diesem Zusammenhang kann man sich zum Beispiel mit der Numerik der partiellen Differentialgleichungsmodelle beschäftigen und es gibt auch wieder viele offene Fragen. Natürlich kann man immer nur einzelne Aspekte betrachten. Derzeit läuft eine Masterarbeit von Lukas Bott zu dem Thema. Im Rahmen von Promotionen kann man sich dann noch detaillierter damit beschäftigen, was jetzt vielleicht etwas zu weit führt.

Asinus: Okay, also ist das Ziel dieses Forschungsprojektes die mathematischen Voraussetzungen zu



Asinus: Wie sehen Ihre Ideen zu diesen Aufgaben aus?

Klingenberg: Okay, lassen Sie uns eine partielle Differentialgleichung diskretisieren. Nehmen wir ein einfaches Beispiel:  $qt + 3qx = 0$  beschreibt die gleichmäßige Bewegung von  $q$  mit Geschwindigkeit 3. Das ist natürlich ein sehr einfaches Beispiel, aber immerhin bewegt sich etwas. Nehmen wir an, die Lösung  $q(x,t)$  ist reellwertig, dann kann man sich die Lösung im  $x,t,q$  Raum dreidimensional vorstellen. Das kann man sich wie ein Bettuch  $q$  vorstellen, das über der  $x,t$  Ebene schwebt. Wir wollen wissen, wie dieses Bettuch aussieht und wie es im Laufe der Zeit schwingt. Ein möglicher Lösungsansatz ist, das Bettuch über jeder Zelle des Gitters als ein kleines Stück Ebene zu betrachten und zu versuchen, diese Flicker so zusammen zu setzen, dass sie zusammenpassen. Dieser Ansatz ist bisher sehr ausgiebig für stationäre Probleme, wie z.B. in der Statik, studiert worden. Die Kollegen Borzi und Dobrowolski verwenden diesen Ansatz. Stationäres Problem bedeutet, dass keine zeitliche Evolution stattfindet.

Ich denke dieser Ansatz könnte bei unseren Evolutionsproblemen weiter führen. Wir suchen effizientere Verfahren. Bei diesem „Flickerl-teppich“ könnte man für die einzelnen Zellen Elemente nehmen, die viel höherer Ordnung sind, also nicht linear und nicht parabolisch, sondern noch höherer Ordnung, so dass man die Lösung sehr detailliert darstellen kann. Dabei ist eben die Frage, wie man sie auf einer Zelle

am besten approximiert. Höhere Ordnung heißt mehr Genauigkeit, man könnte die Parallelisierung so weit treiben, dass jeder Prozessor des Gossrechners nur auf einer Zelle arbeitet.

Asinus: Das heißt, dass man die Rechenleistung von einem Rechner nutzt, dass jeder Prozessor eine Zelle detaillierter bearbeitet?

Klingenberg: Ja, dann hat man gleich eine sehr viel bessere Lösung. Sobald man die hat, kommt man mit einem größeren Gitter zurecht und kann dann sehr viel größere Gebiete sehr viel schneller rechnen.

Das ist der grobe Ansatz der Idee. Diese

Technik oder diese Methode ist allerdings für die Sorte partieller Differentialgleichungen, die bei uns vorkommen, noch nicht sehr weit entwickelt. So ist das erste Lehrbuch, das sich damit beschäftigt, ziemlich neu. Es bleibt also spannend, wie wir das hinbekommen werden. Wir versuchen die Finite-Elemente-Methode, die man bisher für stationäre Probleme verwendet, und die Finite-Differenz-Methode, die man bisher für Evolutionsprobleme verwendet, zusammen zu bringen.

Warum kommt der Astrophysiker und möchte, dass sich das Gitter bewegt? Weil er dann die Approximation sich viel besser an die Lösung und die komplizierten Strömungen anpassen kann, was auch wieder Genauigkeit ergibt. Mal sehen, wie weit wir damit kommen.

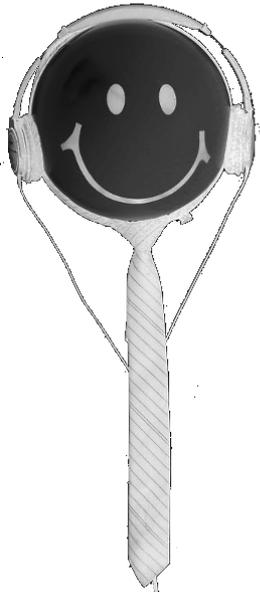
Für diese Methodenentwicklung sind Mathematiker gesucht, sowohl Bacheloranden, als auch Masteranden und Doktorenden. Die Voraussetzung ist eine mathematische Ausbildung mit einer Liebe zur Analysis. Auch bei nicht so ausgeprägte Physikkenntnissen kann man an diesem Projekt mitarbeiten.

Asinus: Vielen Dank für das interessante Interview

Nähere Infos finden Sie unter

<http://www.mathematik.uni-wuerzburg.de/~klingen/>  
[http://www.mathematik.uni-wuerzburg.de/~klingen/News\\_files/SPP.pdf](http://www.mathematik.uni-wuerzburg.de/~klingen/News_files/SPP.pdf)  
[http://www.mathematik.uni-wuerzburg.de/~klingen/job\\_openings\\_files/AREpo.pdf](http://www.mathematik.uni-wuerzburg.de/~klingen/job_openings_files/AREpo.pdf)

Das Interview wurde geführt von Anna Weitzel



# IMPRESSUM:



CHEFREDAKTION: ANNA WEITZEL

CHEFLAYOUT: ANDREAS SCHMIDTKE

AUTOREN: ANNA WEITZEL, LORENZ WEBER, ANDRÉ LÖFFLER, EDUARD GÖBL, ANDREAS ROSENBERGER, KATHRIN NIKOLAUS, LENA RIES, MARKO CHLECHOWITZ, PROF. DR. KLAUS SCHILLING, PROF. DR. SERGIO MONTENEGRO, CHRISTINA HEMPFING, PHILIPP OTTERBEIN

LAYOUT: LORENZ WEBER, JULIANE SKIBBE, ANNA WEITZEL, MORITZ BELLACH, MARIA HAUBNER

COVER: ANDRE WICK



V.I.S.D.P: ANNA WEITZEL  
CARL-VORNBERGER-STRASSE 21  
97236 RANDERSACKER

AUFLAGE: 500 STÜCK

HERAUSGEBER: FI MATHE/INFO WÜRZBURG E.V.  
FACHSCHAFT@INFORMATIK.UNI-WUERZBURG.DE

