

Raumschiffe im Rechner

Münchner Mathematiker berechnen Flugbahnen und entwerfen sparsame Mini-Raumfahrzeuge. Ihre Computerprogramme sind Weltspitze.

Unter diesem Titel erschien am 1.4.1994 in der ZEIT unter der Rubrik "Wissen" der folgende Bericht über Arbeiten von Prof. Dr. Dr. h. c. Roland Bulirsch und Dr.-Ing. Rainer Callies im Rahmen der Optimierung dynamischer Systeme.

Lautlos saust das Raumschiff in Richtung Jupiter. Das Ziel der Reise kennt an Bord nur einer, und der dreht durch: HAL 9000, der sprechende Supercomputer. Richtig, das ist nicht *science*, sondern Science-fiction: Stanley Kubricks Kultfilm "2001 -- Odyssee im Weltraum". Im Kinosaal mögen derlei Irrfahrten von Raumfahrzeugen unterhaltsam sein; in der Wirklichkeit kosten sie Milliarden. Solche Verluste will Rainer Callies vermeiden helfen. Der Wissenschaftler an der Technischen Universität München optimiert die Flüge von Raumsonden. Statt durchs All zu flitzen, sitzt er im vierten Stock des Mathematischen Instituts vor seinem - stummen - Computer. Im Geist entschwebt er jedoch weiter in die Ferne als Kubrick: Kürzlich hat er eine Mission zum Planeten Neptun berechnet, der von der Erde rund sechsmal so weit entfernt ist wie Jupiter. Starttermin: irgendwann im Jahr 2001.

Vor gut vier Jahren flog die amerikanische Sonde *Voyager 2* am Neptun vorbei und sendete spektakuläre Bilder des Planeten und seines Mondes Triton zur Erde. Doch warfen die Aufnahmen mehr Fragen auf, als sie beantworteten. Die NASA hegt daher Pläne, ein Raumfahrzeug zu starten, das am zweitäußersten Planeten unseres Sonnensystems nicht nur vorbeirast, sondern in eine Umlaufbahn einschwenkt. Ein solches Gefährt würde aber mehr Schubkraft als *Voyager* benötigen, und es wäre länger unterwegs. Damals konnte *Voyager* durch sogenannte *swing-bys* Treibstoff sparen: Die Sonde rauschte an Jupiter, Saturn und Uranus vorbei und nutzte deren Anziehungskräfte, um zu beschleunigen. Das ging aber nur wegen der damaligen Stellung der Planeten. Bis die Himmelskörper das nächste Mal so günstig stehen, werden mehr als 120 Jahre vergehen. Doch auch ohne solche Tricks gelang es Rainer Callies, am Computer eine Mission zu entwerfen, die, im Jahre 2001 gestartet, nach achtzehn Jahren Flugzeit Neptun erreichen würde.



Optimale Flugbahnen für Raumfahrzeuge zu berechnen ist nicht einfach. Bereits vor hundert Jahren stieß der französische Mathematiker Henri Poincaré auf das Drei-Körper-Problem: Die Gleichungen, die die Bahnen von drei Himmelskörpern beschreiben, lassen sich nicht exakt lösen. Ist einer der Himmelskörper künstlich, wird die

Lage noch komplizierter. Denn Raumschiffe zünden immer wieder für eine Zeitlang ihre Triebwerke und beschleunigen. Da sie dabei Treibstoff verbrennen, nimmt gleichzeitig ihr Gewicht ab. Callies' Programm bewältigt ein 202-Körper-Problem, bei dem ein Körper eine Sonde ist. Es scheitert zwar genauso wie Poincaré an der exakten Lösung. Doch ermittelt es Flugbahnen (Trajektorien), die vom Optimum kaum noch abweichen.

Daß das Programm Weltspitze ist, bewiesen Callies und Roland Bulirsch, an dessen Lehrstuhl der junge Mathematiker arbeitet, vor zwei Jahren, als sie eine Mission zu den Asteroiden Vesta und Flora berechneten. Ein Raumfahrzeug käme auf der von ihnen vorgeschlagenen Flugbahn mit mindestens sieben Prozent weniger Treibstoff aus als auf den Routen, die andere Wissenschaftler ermittelt hatten.

Eingesparter Brennstoff ist in Gold nicht aufzuwiegen: Ein Kilogramm Masse ins All zu schießen kostet mehrere zehntausend Mark. Die Nutzlast eines interplanetaren Raumschiffs macht selten mehr als zehn Prozent aus. Den Rest fressen Triebwerke, Batterien zur Stromversorgung und Treibstoff auf. Die geplante Neptun-Sonde etwa soll vor dem Start 1,7 Tonnen wiegen, knapp die Hälfte davon wäre allein der Sprit. Für die Instrumente blieben gerade 50 Kilogramm. Brauchte das Gefährt nur sieben Prozent mehr Treibstoff, könnte es gar keine Nutzlast mehr befördern.

Angesichts leerer Kassen schlagen Wissenschaftler zunehmend Minisonden vor. So einen Raumfahrtnirps, der zur Venus fliegen soll, konstruierte jüngst auch Rainer Callies. Eine Ariane-Rakete könnte die Kapsel, die nicht viel größer als eine große Trommel ist, gegen ein relativ geringes Entgelt ins All schießen. Normalerweise katapultiert die Rakete der europäischen Weltraumagentur (ESA) pro Start zwei Satelliten in ihre Umlaufbahnen. Zwischen diese beiden *payloads* würde die nur 250 Kilogramm wiegende Venus-Sonde passen. Für ein Hochschießen in diesem Huckepackverfahren berechnet die ESA lediglich acht Millionen Mark. Zum Vergleich: Der Start eines normalen Satelliten schlägt mit einigen hundert Millionen zu Buche. Damit die Sonde kein überflüssiges Gramm mit sich herumschleppt, optimierte der Münchner Mathematiker nicht nur die Flugbahn, sondern die gesamte Mission. Im Speicher seines Computers bosselte er an den Triebwerken, der Stromversorgung und einer Mehrzweckantenne. Das Ergebnis: Die Minikapsel bietet Platz für immerhin 22 Kilogramm wissenschaftliche Apparate.

Ob die von ihm ausgetüftelte Mission jemals realisiert wird, vermag Callies nicht vorherzusagen. "Das wäre natürlich toll", gesteht er ein. "Es bereitet mir aber schon Genugtuung, wenn Einzelheiten übernommen werden." Außerdem habe sich die Arbeit, die der Bayerische Forschungsverbund für technisch-wissenschaftliches Hochleistungsrechnen (FORTWIHR) finanziert hat, in jedem Fall gelohnt: "Mit den entwickelten mathematischen Verfahren lassen sich ebenso Roboter, Flugzeuge und Laser steuern."

Und vielleicht startet die NASA ja wirklich im Jahr 2001 die an der TU München konzipierte Neptun-Sonde. Als Bordcomputer würde ein normaler Personalcomputer genügen. Eine Odyssee im Weltraum, wie sie das sprechende Elektronengehirn in Kubricks Epos verursacht, wäre nicht zu befürchten. Denn Personalcomputer haben nicht genug Grips, um wie HAL 9000 philosophische Fragen zu wälzen und dabei durchzudrehen.

DGLR-Jahrestagung

"Basistechnologien für neue Herausforderungen in der Luft- und Raumfahrt"

Unter diesem Motto steht die diesjährige Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR), die vom 4. bis 7. Oktober 1994 an der Universität Erlangen-Nürnberg abgehalten wird. Als Vorsitzender der Programmkommission wirkt dabei der stellvertretende Sprecher des FORTWIHR, Prof. Dr. Dr. h.c. F. Durst, Inhaber des Lehrstuhls für Strömungsmechanik der Universität Erlangen-Nürnberg. Doch nicht nur personell, sondern auch inhaltlich wird der Forschungsverbund auf der DGLR-Jahrestagung durch das Schwerpunktthema "Technisch-wissenschaftliches Hochleistungsrechnen und seine Nutzung in der Luft- und Raumfahrt" sowie mit einer eigenen Ausstellung bestens vertreten sein.

Workshop bei der Siemens AG

Im Frühjahr 1993 veranstalteten das Bildungszentrum München der Siemens AG und FORTWIHR eine Vortragsreihe zum Thema "Technisch-wissenschaftliches Hochleistungsrechnen". Aufgrund der überaus positiven Resonanz wird sich FORTWIHR auch im kommenden Jahr wieder am Weiterbildungsprogramm der Firma Siemens beteiligen. Vereinbart wurde ein eintägiger Workshop zum Thema "Numerische Simulation technischer Prozesse mit Hochleistungsrechnern". Der Workshop wird am 11. Februar 1995 in Räumlichkeiten der Siemens AG in München stattfinden.

Kurzlehrgang für den Mittelstand

Am 9.5.94 wurde am Lehrstuhl für Strömungsmechanik der FAU Erlangen-Nürnberg der Kurzlehrgang "Hochleistungsrechnen für mittelständische Unternehmen" durchgeführt, der bei allen Teilnehmern auf ein durchweg positives Echo stieß. Es zeigte sich, daß die im Rahmen des FORTWIHR durchgeführten Entwicklungen im Bereich des technisch-wissenschaftlichen Hochleistungsrechnens ein großes Anwendungspotential hinsichtlich der Problemlösung für kleine und mittelständische Unternehmen haben. Die neuentwickelten Methoden erlauben es auch, Wissen aus Problembereichen der Großindustrie aufzugreifen und dieses in effizienter Weise für den Mittelstand zu nutzen.

FORTWIHR Intern

- **Prof. Dr. H. J. Pesch**, Privatdozent für Mathematik am Mathematischen Institut der TU München, wurde zum außerplanmäßigen Professor ernannt. Prof. Pesch ist maßgeblich an den Arbeiten im Projektbereich 2 (Numerische Simulation und Optimierung von dynamischen Systemen) beteiligt.
 - **Dipl.-Ing. Jörg Bernsdorf** ist seit dem 1.6.94 neuer Mitarbeiter am Lehrstuhl für Strömungsmechanik der FAU Erlangen-Nürnberg. Sein Hauptarbeitsgebiet ist die Simulation von Strömungen in porösen Medien.
-

FORTWIHR Vorträge

- "Multidimensionale Romberg-Quadratur" lautete der Titel des Vortrags von Prof. Dr. Chr. Zenger am 17.5.94 in **Heidelberg** beim Festkolloquium anlässlich des 85. Geburtstags von Prof. Dr. Werner Romberg.
- Zwei Vorträge über "Carathéodory, das Maximumprinzip und Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt und der Robotik" hielt Prof. Dr. H. J. Pesch am 13.4.94 an der **Technischen Hochschule Athen** und am 16.4.94 an der **Universität in Karlovassi** auf der griechischen Insel Samos.

Griechische Mathematiker planen, auf Samos ein Zentrum nach dem Vorbild des mathematischen Forschungsinstituts Oberwolfach einzurichten. Nach Auskunft von Herrn Pesch, der anlässlich seines Vortrags die Örtlichkeiten besichtigen konnte, ist das ins Auge gefaßte Gebäude zwar noch eine Ruine, die allerdings in traumhafter Lage zwischen Mittelmeerstrand und schöner Steilküste in einem herrlichen Park liegt.

Bitte notieren:

- Das diesjährige "**Symposium Technisch-Wissenschaftliches Hochleistungsrechnen**" wird am 13. und 14. September in Erlangen abgehalten werden.
- Die nächste **Mitgliederversammlung** wird am 22.2.1995 ebenfalls in Erlangen stattfinden.

- Auf der konstituierenden Sitzung des FORTWIHR-Beirats wurde die zweite **Beiratssitzung** für Freitag, den 28.10.1994, 12 Uhr anberaumt.
 - Am 21. Oktober 1994 findet an der Technischen Universität München das **2. Teraflops-Symposium** statt. Veranstalter sind die European Research Community on Flow, Turbulence, and Combustion (ERCOFTAC) sowie der Bayerische Forschungsverbund für technisch-wissenschaftliches Hochleistungsrechnen (FORTWIHR).
-

FORTWIHR Gäste

in München:

- 1.6.94, **Peter Bastian** (Universität Stuttgart): Parallele adaptive Mehrgitterverfahren.
 - 13.5.94, **Prof. Dr. Yuri Kuznetsov** (Russische Akademie der Wissenschaften): Some recent results on domain decomposition and fictitious domain techniques.
 - 11.5.94, **Prof. Dr. Peter Oswald** (Friedrich-Schiller-Universität Jena): Multilevel-Vorkonditionierer für nichtkonforme Finite Elemente.
 - 11.5.94, **Dr. Stefan Turek** (Universität Heidelberg): Finite Elemente Techniken für die nichtstationären inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen in zwei und drei Dimensionen.
-

Übrigens...

- Die Erlanger FORTWIHR-Gruppen waren im Frühjahr auf der HPCN Europe '94 in München und den Basel World CFD User Days 1994 jeweils mit Ausstellungen vertreten, die auf reges Interesse gestoßen sind. Die HPCN '94 wurde von den Lehrstühlen für Betriebssysteme und Strömungsmechanik zusammen mit dem Rechenzentrum der FAU bestritten. Auch auf den Ständen von Siemens-Nixdorf und CONVEX wurden FORTWIHR-Entwicklungen demonstriert. Die Beteiligung an den CFD User Days wurde vom Lehrstuhl für Strömungsmechanik der FAU in Zusammenarbeit mit der INVENT Computing GmbH organisiert. Beide Veranstaltungen waren international sehr gut besucht, so daß die FORTWIHR-Aktivitäten einer breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht und eine Vielzahl neuer Kontakte geknüpft werden konnten.
 - Am 26. April 1994 fand in München das zweite Treffen der Münchner und Erlanger Gruppen des FORTWIHR-Projektbereichs 1 (Numerische Simulation von Strömungen) statt. Nach mehreren zusammenfassenden Vorträgen über die Forschungsergebnisse an den einzelnen am Projektbereich beteiligten Lehrstühlen stand dann die Diskussion über die inhaltliche Ausrichtung der Forschungsarbeiten in der kommenden Antragsperiode 1995-1997 im Mittelpunkt. Die dabei erfolgten Abstimmungen hinsichtlich zukünftiger Schwerpunktthemen und neuer Kooperationspartner werden die Grundlage für den die numerische Strömungsmechanik betreffenden Teil des Verlängerungsantrags bilden.
 - Auf Hochtouren laufen derzeit die Arbeiten an der Erstellung des FORTWIHR-Tätigkeitsberichtes 1992-1994 sowie des FORTWIHR-Verlängerungsantrages 1995-1997. Beide Bände sollen rechtzeitig vor dem Symposium am 13. und 14. September vorliegen und an die Beiratsmitglieder sowie an eventuelle weitere Gutachter versandt werden. Die Koordination der Arbeiten am Bericht obliegt dem stellvertretenden Sprecher (Prof. Dr. Dr. h.c. F. Durst), für die Abfassung des Antrags zeichnet der Sprecher (Prof. Dr. Chr. Zenger) verantwortlich.
-

[Anton Frank](#), 28-6-1994