Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 43 (1985)
Heft: 207

Artikel: Astrophysik mit Computern oder: Rechnen ist des Astronomen Lust
Autor: Fuchs, Hans U.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-899181

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Astrophysik mit Computern oder: Rechnen ist des Astronomen Lust

HANS U. FUCHS

Rechnen ist wohl so alt wie die Astronomie selbst. Zahlen sind das Blut, das durch die Adern dieser Wissenschaft fliesst. Nun, das ist nicht weiter verwunderlich. Früher war die Astronomie erst mal eine geometrische Wissenschaft: Örter von Sternen und scheinbare Bahnen der Planeten am Himmel bildeten ihren Gegenstand. Wollte man konkret wissen, wo sich ein Stern oder ein Planet befand, so musste man Zahlen in die geometrischen Beziehungen einsetzen. Das ist natürlich heute noch so. Es gibt viele Gleichungen, die ausgewertet werden wollen: von der sphärischen Astronomie bis zur Optik. Diese Art zu rechnen ist auch dem Amateurastronomen nicht unbekannt. Bewaffnet mit modernen Rechenmaschinen stellt er leicht einen Ptolemäus in den Schatten. Reihenweise sind in letzter Zeit Bücher veröffentlicht worden, die sich mit dem Auswerten astronomischer Gleichungen befassen.

Davon soll hier aber nicht die Rede sein. Mit Kepler (und natürlich mit Galilei und Newton) begann eine neue Wissenschaft, die ein anderes Rechnen in die Astronomie bringen sollte, eine Art, die erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts zur Blüte gekommen ist. In der Hand Keplers verwandelte sich die Astronomie von einer geometrischen in eine physikalische Wissenschaft[1]). In der Überschrift zu Keplers Buch, in dem er die ersten beiden Gesetze der Planetenbewegung veröffentlichte, steht: «...oder Physik des Himmels». Damit war die Astrophysik geboren.

Akzeptieren wir einmal, dass die Physik des Himmels etwas anderes ist als die Geometrie des Himmels. Wie unterscheidet sich dann aber das «neue» Rechnen vom «alten»? Rechnen ist doch Rechnen, Zahlen sind doch Zahlen. Nun, nicht ganz. Da besteht ein scheinbar kleiner, aber folgenschwerer Unterschied. Der Unterschied ist der zwischen dem Berechnen eines Ortes auf einem gegebenen Kreis und der Beantwortung der Frage, ob es denn überhaupt ein Kreis ist, der den Bewegungsvorgang eines Planeten beschreibt. Und so unterschiedlich wie die Fragestellung, so verschieden sind auch die Methoden, die zu ihrer Lösung herangezogen werden. Davon möchte ich hier erzählen.

Bewegungen im Sonnensystem, oder: Ptolemäus gegen Newton

Am Beispiel der Planetenbewegung lässt sich schön zeigen, was ich meine. In moderner Sprache formuliert, hat Ptolemäus folgendes gemacht. Er beobachtete Kurven, die die Planeten am Himmel beschrieben. Er «erklärte» dann diese Kurven mit geometrischen Mitteln. Die Fragestellung lautete: wieviele ineinandergeschachtelte Kreise braucht es, um mit ihrer Wirkung die Kurven am Himmel zu reproduzieren? Oder anders gesprochen: Ptolemäus hat die Kurven analysiert, er hat sie in «Grundkurven» (Kreise) zerlegt, so wie man heute Wellen (Schallwellen, Erdbebenwellen) in «Grundschwingungen» zerlegt und dann sagt, die Welle setze sich aus so und so vielen Schwingungen verschiedener Perioden und Stärken zusammen. Man weiss heute, dass man so durch Hinzufügen von mehr und mehr Schwingungen jede Welle beliebig genau «nachmachen» kann. Dasselbe gilt auch für die Epizykel und die Planetenbahnen des Ptolemäus.

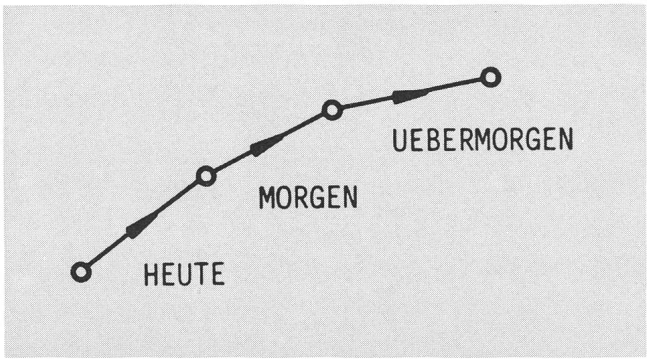
Hat man die Planetenbahnen einmal auseinandergenommen, so liegen die Kreise fest. Um Planetenörter zu berechnen, muss man die gefundenen Zusammenhänge nur auswerten: man setzt Zahlen in die Lösungsgleichungen ein. Dasselbe macht man heute, wenn man sagt, die Planetenörter liessen sich durch Interpolationsformeln für bestimmte Zeiten angeben. In Almanachen findet man solche Formeln. Das ist «Himmelsgeometrie». Dass all das nicht Physik ist, lässt sich leicht begründen. Nehmen Sie an, es gäbe noch ein anderes Sonnensystem. Die Epizykel des Ptolemäus wären für dieses System völlig von den unseren verschieden; die beiden Gruppen hätten nichts miteinander zu tun. Auch die modernen Interpolationsformeln verhalten sich nicht anders.

Wie anders ist aber die Physik! Seit Kepler, spätestens aber seit Newton wissen wir, dass alle möglichen Planetensysteme das Wesentliche miteinander gemeinsam haben: sie gehorchen demselben allgemeinen Naturgesetz, dem Gravitationsgesetz. Sie gehören zusammen, sie gehören in die gleiche Klasse von «Dingen» in diesem Universum. Wir brauchen nicht Tausende oder Millionen oder noch mehr Epizykel, um alle Planetensysteme zu beschreiben; wir brauchen nur ein einziges Gesetz!

Wie ist es möglich, dass ein einziges Gesetz, sozusagen eine einzige Formel, alle Planetensysteme beschreibt? Schauen wir uns dieses famose Gesetz einmal näher an. Was wird durch das, was Newton fand, ausgedrückt?

Körper, die sich bewegen, besitzen eine bestimmte Menge «Schwung». Gefühlsmässig ist es klar, dass der Schwung eines Körpers von dessen Geschwindigkeit und dessen «Grösse» (Masse) abhängt. Nun haben Kepler und Newton gefunden, dass die Sonne den Schwung eines Planeten nach Richtung und Betrag ändert. Ändert sich der Schwung eines Planeten, so ändert sich damit seine Geschwindigkeit (die Masse des Körpers wird wohl konstant bleiben). Das Gravitationsgesetz beschreibt, wie die Sonne den Schwung – und damit die Geschwindigkeit – eines Planeten ändert. Das Gesetz ist sogar noch allgemeiner. Es sagt, dass jeder Körper den Schwung jedes anderen Körpers verändert, und wie das geschieht. Unser Sonnensystem mit Sonne und neun Planeten (vergessen wir mal alle anderen «Kleinigkeiten») ist demnach ein kompliziertes Ding, in dem ständig Schwung zwischen allen Mitgliedern auf eine wohldefinierte Weise hin- und hergeschoben wird. Das Gravitationsgesetz erlaubt uns also zu sagen, wie sich z.B. der Schwung der Erde unter dem Einfluss aller anderen Körper im Sonnensystem ändert.

Was kann man aber mit diesem Wissen anfangen? Nun, wir wissen doch aus Messungen, wo sich z.B. die Erde heute um 12.00 UT (Weltzeit) im Sonnensystem befindet, und in welche Richtung sie sich mit welcher Geschwindigkeit bewegt



(Abb. 1). Das Gravitationsgesetz sagt, wie sich die Geschwindigkeit der Erde verändern muss. Um genau zu sein, das Gravitationsgesetz gibt die Änderungsrate dieser Grösse an. Wenn man die Rate der Änderung der Geschwindigkeit kennt, so lässt sich ausrechnen, um wieviel sich diese in einer bestimmten Zeit – sagen wir in einem Tag – ändert. Zudem ist die Geschwindigkeit die Änderungsrate des Ortes. Es lässt sich also auch berechnen, um wieviel sich der Ort der Erde in einem Tag ändert. Also: mit Hilfe des Gravitationsgesetzes kann ich berechnen, wo sich die Erde morgen befindet, und wie schnell sie sich dann bewegt, wenn ich die heutige Situation kenne.

Natürlich haben sich auch die anderen Planeten und die Sonne unter ihrem gegenseitigen Einfluss bewegt. Für jeden der beteiligten Körper muss man die oben beschriebene Rechnung durchführen. Das Gravitationsgesetz macht's möglich! Wir kennen damit die Situation morgen, woraus wir die Lage für übermorgen berechnen, usw. Sogar rückwärts können wir rechnen, wenn uns die Lust dazu übermannt. Schritt um Schritt berechnet man so aus einem Gesetz das Schicksal des Sonnensystems, ja jedes Planetensystems. Sie sind ja im Grunde, d.h. «vor dem Gesetz», alle gleich. Ich weiss nicht, wie Ptolemäus das gefallen hätte. Mir gefällt's.

Was ist denn an diesem Verfahren anders als am Rechnen des Ptolemäus? In jedem Fall wird multipliziert und addiert, vielleicht sogar einmal eine Wurzel gezogen. Der Unterschied liegt nicht da, sondern: im geometrischen Fall wertet man eine Bahnkurve aus, im physikalischen findet man die sich ständig ändernde Bahnkurve erst. Man findet also erst durch die Rechnung des Rätsels Lösung. Beim Rechnen wird Physik «gemacht», wird die Natur erforscht. Darüber will ich später noch mehr sagen.

Die Gladiatoren ziehen ein in die Arena

Nur keine Angst. Ich wende mich nicht der grauen Vorzeit der Astronomie zu. Wir nähern uns vielmehr unserer eigenen Zeit. Die Gladiatoren sind die Computer, die Arena die Wissenschaften.

Möchten Sie einmal das vorhin beschriebene Programm für die Berechnung der Planetenbahnen mit Papier, Bleistift und – soweit sei's erlaubt – Taschenrechner (mit Grundoperationen und mathematischen Funktionen, aber sonst mit nichts) durchführen? Ich mache Ihnen folgenden Vorschlag: nehmen Sie an, es gebe nur Sonne und Erde im Universum. Falls Sie die mathematische Formulierung des Gravitationsgesetzes kennen, führen Sie doch mal die Rechnung so durch, von Hand, wenigstens für ein paar Schritte. Die Cleveren unter Ihnen werden darauf hinweisen, dass das gar nicht nötig wäre. Bei zwei Körpern sind die Bahnen Ellipsen, d.h. man kann sie durch eine Formel darstellen, in die man dann Werte einsetzen kann. Diesen Cleveren schlage ich vor, zu Sonne und Erde noch einen dritten Körper hinzuzunehmen, vielleicht den Mond. Sie werden dann in keinem Buch mehr eine Formel finden, die die Bahnen der Körper beschreibt. Es bleibt Ihnen nichts anderes übrig, als das oben beschriebene Schritt-um-Schritt-Verfahren durchzuführen. Lange werden Sie das aber nicht durchhalten. Keiner von uns ist mehr ein Leverrier oder ein Adams, jemand, der mit Papier und Bleistift einen Planeten entdecken könnte.

Wie Leverrier und Adams berechnen konnten, dass noch ein Planet (Neptun) in unserem Sonnensystem seine Bahn zieht, unterstreicht übrigens, worauf ich hinaus will. Mit dieser Art von mathematischer Physik lässt sich tatsächlich noch etwas völlig Unerwartetes über die Natur herausfinden. Ptolemäus hätte einfach einen neunundachtzigsten Epizykel zu den vorhergehenden achtundachtzig hinzugefügt, um Uranus zu bändigen. Eine wahrhaft aufregende Aussicht...

So verwöhnt, wie Sie vermutlich schon sind, werden Sie sich nach kurzer Rechnung nach einem Computer, d.h. nach einer programmierbaren Maschine, sehnen. Und das zu Recht. Die Schritte bei der Berechnung der Planetenörter aus dem Gravitationsgesetz wiederholen sich ständig, und sehr oft. In einer berühmten Berechnung aus dem Jahr 1951 von W. J. ECKERT, D. BROUWER und G. M. CLEMENCE wurden die Ephemeriden der äusseren Planeten (von Jupiter an) in 40-Tage-Schritten von 1653 bis 2060 auf neun Dezimalstellen genau gerechnet[2]). Das sind fast 4000 Schritte für fünf Planeten. Natürlich wurde diese Rechnung auf einem Computer durchgeführt, einem der frühesten Modelle. Die Maschine war der Selective Sequence Electronic Calculator (SSEC) von IBM, die 1948 fertiggestellt wurde. Der Rechner arbeitete mit Vakuumröhren und füllte einen grossen Raum. ECKERT und Mitarbeiter schätzten, dass ein Mensch, der 40 Stunden pro Woche mit einem mechanischen Tischrechner an den Planetenbahnen arbeitete, 80 Jahre zur Vollendung des Auftrages gebraucht hätte. Der SSEC schaffte es in etwa 120 Stunden. Ein Amateur wiederholte die Rechnung vor kurzem auf einem einfachen Heimcomputer; sie dauerte 10 Stunden und 25 Minuten[3]). Eine Abschätzung ergibt, dass ein moderner «Supercomputer» für die 12 Millionen arithmetischen Operationen etwa 2 Sekunden bräuchte.

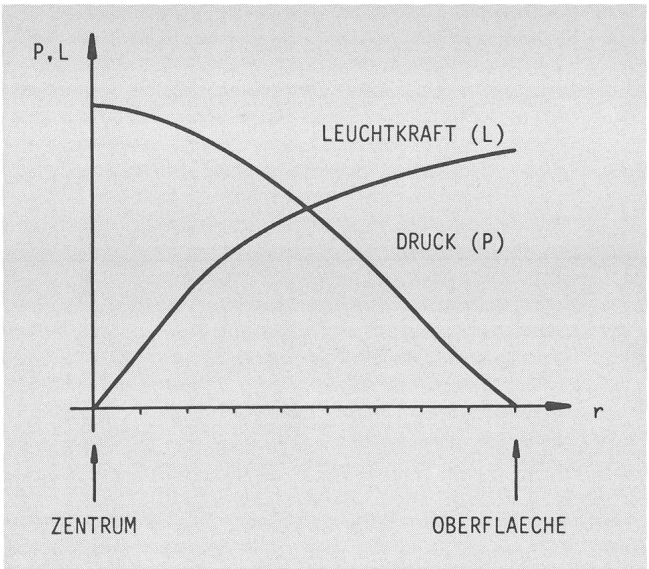
Auch wenn sie vom Prinzip her also nicht neu ist, so hat diese mathematische Astrophysik (vielleicht könnte man das auch computergestützte Astrophysik oder schlicht Computerastrophysik nennen) mit der Ankunft der Elektronenrechner doch einen gewaltigen Aufschwung genommen. Ich bin sogar versucht, von einer grundsätzlichen Wende zu sprechen, wären doch sozusagen alle modernen Projekte der mathematischen Physik und Astrophysik aus praktischen Gründen unmöglich durchzuführen gewesen. Vor dem Umfang der Rechnungen hätte jeder kapituliert. Mit weiteren Beispielen möchte ich Ihnen zeigen, in welche Richtung sich die moderne Wissenschaft durch die Computer entwickelt hat.

Der innere Aufbau der Sterne

Am Beispiel des Planetensystems habe ich Ihnen gezeigt, wie man die Entwicklung eines physikalischen Objektes aus einem Naturgesetz heraus berechnet. Das System bestand dabei aus diskreten Körpern, die man für diese Zwecke als mathematische Punkte behandeln durfte. Nun wende ich mich der Beschreibung von Gegenständen mit räumlich ausgedehnter Struktur zu, deren Zustände man erforschen möchte.

Früher als bei anderen astronomischen Objekten (interstellare Materie, Galaxien, Planeten, Universum als Ganzes...) verfügte man bei den Sternen über eine einigermassen fundierte Theorie ihres Aufbaus und ihrer Funktionsweise. Die meisten Sterne sind – schaut man nicht allzu scharf hin – relativ einfache Dinge. Sie sind kugelförmige Gasbälle, die sich nur über gewaltige Zeiträume hinweg verändern. Das macht sie so sympathisch. Sie werden von einfachen Gesetzen beherrscht: vom Gravitationsgesetz, von den Gesetzen der Wärme und der Erhaltung der Energie. Wie uns diese Gesetze erlauben, ins unsichtbare Innere der Sterne zu «schauen», lässt sich relativ einfach plausibel machen.

Die meisten Sterne verändern sich kaum. Man sagt, sie seien im Gleichgewicht. Einmal drücken die oberen Schichten der Gaskugel auf die inneren. Damit ein Stern unter der Wirkung seiner eigenen Schwere nicht zusammenbricht, muss dieser Druck vom Druck des Gases ausgeglichen werden. Daraus ergibt sich ein Gesetz, wie sich der Druck im Inneren eines Sterns von einem Punkt zu einem benachbarten Punkt etwas weiter aussen oder innen verändert. Das klingt bekannt: Änderung einer Grösse (Druck) nach einem bestimmten Gesetz. Wie bei der Planetenbewegung gibt das Naturgesetz die gesuchte Grösse (Ort, Geschwindigkeit) nicht direkt an. Nur die Art, wie sich diese verändert, ist bekannt. Beim Druck im Sterninnern gibt das Gesetz die räumliche Änderungsrate an, nicht die zeitliche.



Beim Sternstrukturproblem sucht man also den Verlauf von Grössen wie dem Druck vom Zentrum bis zur Oberfläche. Andere Naturgesetze ergeben Gleichungen für die (räumlichen) Änderungsraten von Temperatur, Energieabstrahlung und Masseverlauf. Die gesuchten Lösungen sind Kurven, die man gegen den Radius aufträgt (Abb. 2). Deren Berechnung kann sehr ähnlich wie bei der Planetenbewegung erfolgen. Z.B. ist der Druck an der Oberfläche sozusagen null. Von diesem bekannten Wert ausgehend, kann man in kleinen Schritten auf das Zentrum hin rechnen; wie sich der Druck mit zunehmender Tiefe verändert, lässt sich ja aus der bekannten Änderungsrate berechnen. Mit diesen Schritten unterteilt man den Stern in Schalen, oder den Radius in Elemente, so wie die Bahn der Planeten, d.h. eigentlich die Zeit, in einzelne Schritte unterteilt wurde.

Hat man alle Grössen gefunden, von denen man glaubt, sie seien für das Verständnis unserer Gaskugel wichtig, so sagt man, man habe ein Modell bestimmt. Man spricht von Modellieren. Modellieren ist normalerweise die einzige Möglichkeit, ein Objekt genauer zu untersuchen, das man nicht in Einzelteile zerlegen kann. Sie können einem Stern nun mal nicht ein Thermometer in den Bauch stecken.

Schon anfangs dieses Jahrhunderts war es ziemlich klar, welche Naturgesetze den Aufbau der Sterne beherrschen, wenigstens im grossen und ganzen. Die Gleichungen, die die örtliche Veränderung von Druck, Masse, Temperatur und Energieabstrahlung festlegen, waren in den Zwanziger- und Dreissigerjahren bekannt. Es fehlten allerdings detaillierte Kenntnisse über die Art und Menge der Energieerzeugung und die Absorption von Strahlung durch die Materie im Sterninnern. Vorstellungen darüber, wie diese und andere Prozesse in Sternen ablaufen, wurden seit Anfang dieses Jahrhunderts immer mehr verfeinert. Sobald ein Stück Zusatzinformation bereitgestellt wurde, machte man sich an die Berechnung von Sternmodellen, die mit jedem Schritt, den die Theoretiker machten, besser wurden.

Natürlich gab es anfangs noch keine Computer. Sternmodelle wurden von Hand berechnet. Wie das vor sich ging, können Sie sich vielleicht grob vorstellen. Ein Astronom brauchte Monate, um ein Sternmodell mit Hilfe eines mechanischen Tischrechners durchzuarbeiten. Dabei waren die damaligen – in den Vierzigerjahren gerechneten – Modelle bescheiden verglichen mit modernen.

Auch hier revolutionierten die Computer die Landschaft. Erste Beiträge erfolgten indirekt: verfeinerte Berechnung der Energieerzeugungsraten durch Kernreaktionen, und die Bereitstellung von Tabellen über das Absorptionsvermögen der Sternmaterie, d.h. für das Hindernis, das die Sternmaterie der Strahlung entgegenstellt. Solche Rechnungen wären kaum von Hand durchzuführen gewesen. Schliesslich wurden die Computer auch direkt zur Lösung der Sternstrukturgleichungen herangezogen, d.h. zur Berechnung von Modellen. Sternmodelle wurden dann in Stunden berechnet. (Vor einiger Zeit habe ich diese Rechnungen auf einem Heimcomputer nachvollzogen. Die kleine Maschine brauchte etwa 20 bis 30 Minuten für ein Modell[4]). Eine interessante Äusserung zu diesem Thema stammt von MARTIN SCHWARZSCHILD, einem der hauptsächlichen Mitspieler im Gebiete der Sternphysik, der 1957 meinte: «Für viele Probleme aus der Theorie des Sterninnern reicht die Geschwindigkeit der Berechnungen von Hand vollkommen aus»[5]). Das Buch mit dieser Bemerkung war kaum geschrieben, da war die Aussage auch schon überholt.

Die Entwicklung der Sterne

Sterne sind sicher nicht so statisch, so unveränderlich, wie ich sie vorhin schilderte. Schliesslich strahlen sie Unmengen von Energie ab. Das kann nicht ohne Einfluss auf ihr Aussehen bleiben. Die Energie muss ja von irgendwoher stammen; sie wird nicht aus dem Nichts erzeugt. Die Kernreaktionen, die den Hauptanteil der Energie bei den meisten Sternen liefern, verändern die chemische Zusammensetzung des Gases im Innern. Darauf muss der Stern reagieren, indem er seinen Aufbau den neuen Gegebenheiten anpasst, um einigermassen im Gleichgewicht zu bleiben. Sterne entwickeln sich also.

Was für Gesetze beschreiben denn die Entwicklung eines Sterns? Nun, aus der Menge an Energie, die dieser ausstrahlt, kann man ausrechnen, wieviele Kernreaktionen pro Zeiteinheit ablaufen müssen. Das Gesetz der Energieerhaltung gibt

also eine Aussage über die zeitliche Änderungsrate der chemischen Zusammensetzung im Sterninnern. Schon mal gehabt, nicht? Wenn ein Gesetz die zeitliche Änderungsrate festlegt, so lässt sich mit den bekannten Schritt-um-Schritt-Verfahren die Veränderung eines Sterns verfolgen. Man berechnet ein Modell und daraus ein neues zu einem späteren Zeitpunkt, und noch eins, und noch eins. Mit einer Folge von «Schnappschüssen» (Momentanaufnahmen) vom inneren Aufbau rekonstruiert man den Lebenslauf eines Sterns. Wie geht das im einzelnen vor sich?

Ein Sternmodell bestimmt man, indem man die Werte der gesuchten Grössen wie Druck und Temperatur an einer Reihe von benachbarten Punkten im Sterninnern berechnet. Diese Punkte verteilen sich vom Zentrum des Sterns bis an die Oberfläche. An jedem dieser Punkte lässt sich nun auch die zeitliche Veränderung aller Grössen berechnen. Man findet also Druck, Temperatur usw. an denselben Punkten im Stern, aber für einen späteren Zeitpunkt. Durch Fortschreiten in der Zeit erhält man so ein Gitter (Abb. 3), an dessen Knoten die unbekannten Grössen zu berechnen sind. Stellen Sie sich nun vor, sie unterteilten den Stern in 200 Schalen. An 200 Stellen werden also mehrere unbekannte Zahlenwerte gesucht. Nehmen Sie weiter an, dass Sie das Leben eines Sterns, oder mindestens einen Teil davon, in 500 Schritten verfolgen. Das ergibt mehrere Unbekannte an 100000 Gitterpunkten. Es führt tatsächlich kein Weg an den Rechenmaschinen vorbei, wenn Sie etwas über das Innenleben von Sternen erfahren möchten.

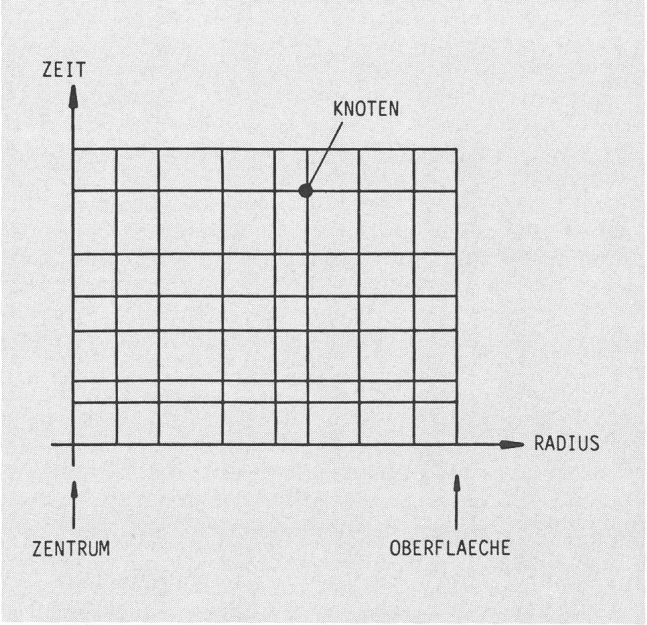
Das hier aufgeführte Beispiel ist übrigens ein eher kleiner Fisch. Die Forschung der letzten Jahre hat sich Problemen zugewandt, die einen noch viel grösseren Umfang haben. Entstehung neuer Elemente im Sterninnern, rote Riesen, pulsierende Sterne und Supernovas stellen den Astronomen schon alleine vom Rechenaufwand her vor gewaltige Probleme. Selbst ein paar Stunden Rechenzeit auf «Supercomputern» wie Cyber 205 oder Cray, die übrigens noch nicht weit verbreitet und sündhaft teuer sind, genügen heutigen Ansprüchen nicht mehr.

Sterne sind nicht alles

Die Computerastronomie blieb natürlich nicht auf Planetenbewegung und Sternentwicklung beschränkt. Die beobachtenden Astronomen lieferten mehr und mehr Material über eine Welt, die man sich so faszinierend nicht mal in den wildesten Träumen vorgestellt hatte. Interstellare Materie, Gas, Staub und Moleküle, aus denen Sterne geboren werden; Röntgen- und Gammaquellen; Pulsare, Quasare und schwarze Löcher; Struktur und Entwicklung von Galaxien; Kosmologie; die Aktivität der Sonne; gewaltige Radio-Jets, die aus Galaxien ausgeschleudert werden; alle diese exotischen Dinge bevölkern die moderne Astronomie. Was uns die Beobachter liefern, will verdaut werden. Und schliesslich möchten die Frauen und Männer an den Teleskopen auch Hinweise darauf erhalten, wo es sich lohnt weiterzusuchen. Aus diesem enggewobenen Netz von Beobachtung und Theorie ist die computerunterstützte Astrophysik nicht mehr wegzudenken.

Wie entwickelt sich ein Sternhaufen? Oder ein Galaxienhaufen? Sind erst die Superhaufen im frühen Universum entstanden, aus denen durch Aufbrechen die Galaxienhaufen und schliesslich die Galaxien entstanden? Oder ging es gerade umgekehrt? Zuerst Galaxien, die sich unter dem Einfluss der Gravitation zu Haufen und dann zu Riesenhaufen zusammenfanden? Beobachtungen geben uns immer nur eine Momentaufnahme von diesen Strukturen. Wie sie sich entwikkeln, kann erst die Rechnung zeigen. Die Dynamik von Hunderten oder von Tausenden von Galaxien wird im Rechner nach den Gesetzen der Gravitation verfolgt.

Man nimmt heute allgemein an, Sterne entstünden durch das Zusammenbrechen riesiger Gas- und Staubwolken im interstellaren Raum. Man muss hier also die Dynamik, das «Fliessen» von ausgedehnten Massen untersuchen. Die Rechnungen erfolgen ähnlich wie in der Theorie der Sternentwicklung. Man beschreibt die räumliche Struktur der Wolken, und wie sie sich zeitlich ändert. Die physikalischen Prozesse sind kompliziert, und die Objekte sind nicht mehr «eindimensional». Die Sterne, die ich vorhin beschrieb, waren so: Werte von Druck, Temperatur usw. hängen nur von der Entfernung vom Mittelpunkt des Sterns ab, nicht von der Richtung. Diese Tatsachen wirken sich gewaltig auf den Rechenaufwand aus, da man das Gitter (Abb. 3), an dessen Knoten man die unbekannten Grössen berechnet, in weitere Dimensionen ausdehnen muss.



Mindestens so kompliziert und aufwendig wird es, wenn man die Aktivität an der Sonnenoberfläche im Rechner simulieren (nachahmen) möchte. Dort handelt es sich um das Fliessen von Gasmassen, die sich zusätzlich unter dem Einfluss von elektrischen und magnetischen Kräften befinden. Die Grundgleichungen der Magnetohydrodynamik (so nennt man das Gebiet) sind seit langem bekannt. Wen wundert es aber, dass die Forscher bisher vor dem vollen Problem kapituliert haben? Erst stark vereinfachte Modelle wurden in Angriff genommen. Die nach landläufiger Ansicht grosse Kapazität moderner Rechner genügt eben noch lange nicht.

Dieser «bedrückende» Zustand hat VINCENT ICKE dazu gebracht, im «Guest Comment» von Physics Today ein «Numerisches Astrophysikalisches Observatorium» zu fordern[6]). ICKE findet es «eine Beleidigung, dass die Magnetohydrodynamikgleichungen, vier Jahrzehnte nach ihrer Aufstellung, noch nicht ernsthaft auf grosse astrophysikalische Probleme angewandt worden sind». Schuld daran sei nicht ein Unvermögen der Forscher, sondern die Tatsache, dass kaum Geld für die relativ billige Computerastrophysik ausgegeben wird. ICKE rechnet vor, dass alleine die Kostensteigerung für

das Space-Telescope für dreissig der modernen Supercomputeranlagen reichen sollte. So wie es (in den USA) Nationale Observatorien gibt, so sollte es Nationale Numerische Astrophysikalische Observatorien geben. Die Tatsache, dass heute jedes astronomische Institut seinen eigenen «Midirechner» kriegt, findet ICKE sehr nett, vergleicht sie aber mit dem Slogan «jedem seinen eigenen Feldstecher». Damit liessen sich die grossen Probleme eben nicht angehen.

Es wäre gut, an diesem Punkt einmal anzuhalten und nachzudenken. Vielleicht handelt es sich bei der Computerphysik nur um eine moderne Spielerei, eine unreife Betätigung der Theoretiker. (Neue Spielzeuge haben ihre eigene Anziehungskraft, wie die so beliebten Videospiele zeigen. Dass die Kinder diesen Spielen wie dem Zauber des Rattenfängers verfallen, heisst ja nicht, dass die Spiele auch gut sind.) Kann man mit den Computern überhaupt ernsthaft Physik oder Astrophysik betreiben? Verschleiert diese Beschäftigung vielleicht sogar den Blick aufs Wesentliche? Soll man das Fieber der Theoretiker auch noch unterstützen, indem man ihnen Geld nachwirft? Ich höre oft genug die Bemerkung: «So etwas ist doch keine Physik!». Ist das wirklich so?

Computerphysik und -astrophysik

Das Verhältnis breiter Kreise – ich meine damit auch Forscherkreise – zu den Computern ist weniger als rational. Computer haben es in sich: sie verwirren Herz und Verstand. Wir sind nicht ganz sicher, was wir von ihnen denken sollen. Unsere grösste und nicht immer ausgesprochene Angst ist doch die, dass uns Computer ersetzen könnten. Wie die Vampirjäger ihr Kreuz oder ihren Knoblauchkranz, so halten wir als Beschwörung gegen diese Gefahr die triviale Wahrheit «Computer können keine Physik machen» hoch. Wahrhaftig, Computer betreiben keine Physik; Physiker tun das! Und sie werden das auch weiterhin tun. Also was soll das? Es fällt doch niemandem ein zu sagen, dass ein Laboratorium keine Physik, ein Observatorium keine Astronomie betreibt, weil es sonnenklar ist, dass sie das nicht tun. Das hält aber niemanden davon ab, Laboratorien und Observatorien zu bauen und sie für die Eckpfeiler der modernen Wissenschaften zu halten.

Lassen Sie mich die Einwände gegen Computerphysik noch etwas verfeinern. Es wird einem nach etwas mehr Nachdenken, als für «Computer können keine Physik machen» nötig war, aufgehen, dass Computer z.B. nicht das Gravitationsgesetz oder irgendein anderes Naturgesetz hätten finden können. Da die Naturgesetze schliesslich der Inbegriff dessen sind, was wir Physik nennen, wird es doch nur noch klarer, dass die Computer eben zu nichts Grundlegendem imstande sind. Grundlegendes brauchen wir aber, also wozu unsere Zeit mit Scheinproblemen vertrödeln?

Nun, Computer sind eben nicht dafür da, den Physiker oder den Astronomen zu ersetzen. Sie sind aber dafür da, dass man mit ihnen Physik und Astrophysik betreibt. Was man dort macht, zeigt uns neue und unerwartete Aspekte der Natur, Aspekte, die man, nebenbei gesagt, auf keine andere Weise erkennen könnte. ICKES «Numerisches Observatorium» ist also kein dummes Wortspiel. Der Theoretiker «beobachtet» seine Modelle so, wie Beobachter ihre Photoplatten, um der Natur Neues abzulauschen.

Die grundlegende Weisheit über den Aufbau und die Entwicklung der Sterne liegt in den Sternstruktur- und Sternentwicklungsgleichungen. Sie sind der mathematische Ausdruck der Naturgesetze. Deswegen zu sagen, durch ihre numerische Lösung liesse sich nichts Grundlegendes mehr finden, wäre aber frivol. Sie können die Gleichungen noch so lange anstarren, sie verraten Ihnen nicht, dass rote Riesen relativ alte Sterne sind. Nur gerade Beobachtungen zeigen Ihnen das auch nicht. Einem Kugelsternhaufen sehen Sie es nicht an, dass er etwa 18 Milliarden Jahre alt sein soll, älter als einige Schätzungen das Universum machen. Und dass weniger Neutrinos aus dem Sonneninneren fliessen, als wir erwarten, kann man auch nur sagen, wenn man weiss, was man überhaupt erwarten sollte. Diese Fragen beantworten Ihnen nur sorgfältig durchgeführte Modellrechnungen. Die Entdeckung, und es ist eine Entdeckung, dass die schweren Elemente in Sternen entstanden sind, haben erst die Rechenmaschinen ermöglicht.

Die Geschichte der Computerphysik ist reich an solchen Entdeckungen über die Natur. Dazu ein Beispiel. Durch numerisches Modellieren wurde ein entscheidender Fortschritt in unserem Verständnis turbulenter Bewegungen von Gasen und Flüssigkeiten gemacht. Heizt man eine Flüssigkeit sehr langsam, so treten zuerst Bewegungen in Form von Rollen bestimmter Grösse auf (Konvektion). Heizt man mehr, so kommen Rollen von einer anderen Grösse dazu. Durch Hinzufügen unendlich vieler verschiedener Rollen, die sich alle durchmischen, sollte schliesslich das typische chaotische Verhalten bei Turbulenz entstehen. Dachte man. EDWARD LORENTZ beobachtete aber in gerechneten Modellen aus der Atmosphärenphysik, dass es für Chaos nur dreier Moden (wie man das nennt) bedurfte[7]). Diese Beobachtung hat eine gewaltige Welle von Forschungen in einem so ehrwürdigen Gebiet wie der Mechanik (auch der Himmelsmechanik) ausgelöst. Wussten Sie, dass die Bahnen von nur drei Himmelskörpern schon chaotisch sein können?

Aus all dem schliesse ich, dass an die Seite (nicht an die Stelle!) der experimentellen und theoretischen physikalischen Wissenschaften seit ein paar Jahrzehnten die Computerphysik getreten ist. Rechnen auf Computern ist nicht nur des Astronomen Lust, es ist auch seine Pflicht.

Jedem sein eigener Feldstecher

Obwohl nur «Supercomputer» oder noch bessere Maschinen viele der anstehenden Forschungsaufgaben werden lösen können, ist doch nichts gegen die «Feldstecher» unter den Rechenmaschinen einzuwenden. Damit meine ich die wie die Pest um sich greifenden Micro- oder Heimcomputer. Lassen Sie mich zum Abschluss ein paar Gedanken über deren Bedeutung formulieren.

Forscher, die die grossen Rechenanlagen benutzen, werden in Zukunft ihre Arbeitsvorbereitung nur noch auf Microcomputern durchführen. Die grossen Maschinen sind dafür zu teuer. Darin liegt aber nicht die Bedeutung der «Kleinen», so wie ich das sehe. Vielmehr öffnen die Micros die Tür zu unbekannten Gebieten für Leute, die keinen Zugang zu Grossrechnern haben.

Einmal werden Leute profitieren, die auf privater Basis kleineren Forschungsaufgaben nachgehen wollen. Eine leistungsfähige Maschine kann man sich bald mal leisten, und an interessanten Aufgaben fehlt es sicher nicht. Dann gibt es da den Bereich des Lernens, der Schule. Der Unterricht in Naturwissenschaften wird garantiert gewaltig von den Mikrorechnern profitieren. Und schliesslich – und dem gilt meine besondere Zuneigung – werden Computer auch die Wissenschaft als Hobby bereichern, natürlich speziell die Astronomie. Neue, faszinierende Gebiete öffnen sich dem mathematisch interessierten Amateur (in diesem Artikel habe ich nichts über den Rechnereinsatz für Instrumentenkontrolle

und -steuerung und für Datenverarbeitung gesagt; diese Gebiete werden ganz besonders zur Verbreitung von Mikrorechnern unter Amateuren beitragen). Ich werde hier nicht in die Kristallkugel schauen und voraussagen, dass Amateure in diesem Bereich einmal genauso wertvolle wissenschaftliche Mitarbeit leisten werden wie in einigen klassischen Gefilden. Ganz unabhängig davon lässt sich aber sagen, dass Computer aus der Amateurastronomie nicht mehr wegzudenken sein werden. Als einziges Beispiel aus der mathematischen Astronomie sei ein Volkshochschulkurs über «Berechnung der Sternstruktur» erwähnt, dem eine Gruppe von Liebhabern aus allen Altersschichten begeistert folgte[4]).

Die Horizonte der Amateurastronomen werden nicht mehr die gleichen sein wie früher. An diesem Prozess der Umwandlung teilzuhaben, ist schon Belohnung genug. Wenn Sie Lust haben, fangen Sie heute noch an mit dem Rechnen.

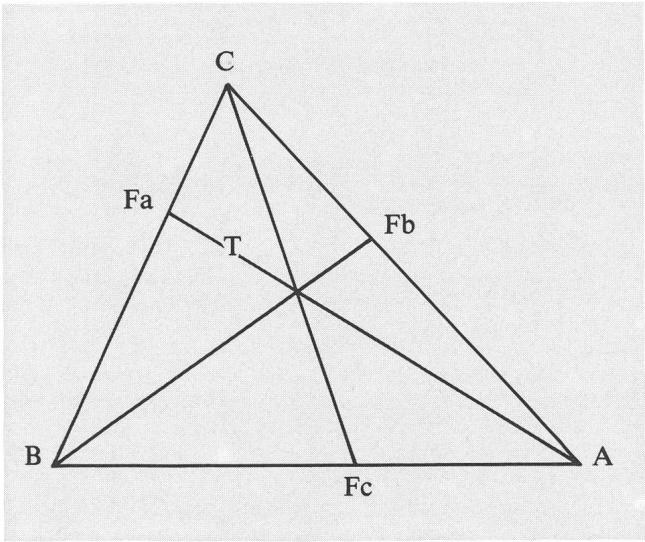
Literatur:
1) WILSON C.: How Did Kepler Discover His First Two Laws? Scientific American, March 1972, p. 92–106.
2) ECKERT W. J., BROUWER D., CLEMENCE G. M.: Astronomical Papers, Vol. XII, 1951. U.S. Naval Observatory.
3) FEUCHTER C. A.: TRS-80 Versus a Giant Brain of Yesteryear. Sky & Telescope, 67, 358, 1984.
4) FUCHS H. U.: Berechnung der Sternstruktur. Volkshochschule Zürich, 1981/82.
5) SCHWARZSCHILD M.: Structure and Evolution of the Stars. Princeton University Press, 1958.
6) ICKE V.: A Numerical Astrophysical Observatory. Physics Today, 37 (No. 2), 9, 1984.
7) Physics Today, 36 (No. 5), 1983: Special Issue: Doing Physics with Computers.

Adresse des Autors:
Hans U. Fuchs, Technikum Winterthur, Postfach, 8401 Winterthur.

Zur Vorausberechnung von Sternbedeckungen durch den Mond

G. MULERT

Wenn zur Ermittlung der Bedeckungszeit eines Sterns durch den Mond für einen Beobachtungsort keine Angaben in einem astronomischen Kalender vorliegen und auch die Koeffizienten a und b der linearen Beziehung $t - t_0 = a(\lambda - \lambda_0) + b(\varphi - \varphi_0)$, (s. ROTH, Handbuch für Sternfreunde) zwischen der gegebenen Zeit t_0 eines Ortes (λ_0, φ_0) und der gesuchten Zeit t eines anderen Ortes (λ, φ) nicht bekannt sind, kann man die Bedeckungszeit t_T für diesen Ort T auch einfach berechnen, wenn die Bedeckungszeiten t_A, t_B, t_C, für 3 Punkte A, B, C gegeben sind und wenn T innerhalb oder nicht allzuweit ausserhalb des Dreiecks ABC liegt.



Man bilde in diesem Dreieck die Transversalen AT, BT, CT, die die gegenüberliegenden Dreiecksseiten in Fa, Fb, Fc schneiden.

Dann lässt sich zeigen, dass

$$t_T = \frac{FaT}{FaA} t_A + \frac{FbT}{FbB} t_B + \frac{FcT}{FcC} t_C \text{ ist,}$$

$$\text{wobei } \frac{FaT}{FaA} + \frac{FbT}{FbB} + \frac{FcT}{FcC} = 1 \text{ ist.}$$

Beispiel: Berechnung der Bedeckungszeit für T = Ulm aus den Bedeckungszeiten in A = München, B = Zürich, C = Stuttgart.

Aus einer Karte 1:1000000 entnimmt man

FaT = 68 km, FbT = 17 km, FcT = 81 km,
FaA = 183 km, FbB = 168 km, FcC = 153 km.

Damit wird allgemein

$$t_T = 0{,}37\, t_A + 0{,}10\, t_B + 0{,}53\, t_C$$

Am 2.5.85 ist nun 1t. «Himmelsjahr» (Franckhsche Verlagshandlung Stuttgart)

$$t_A = 21^h\, 13{,}8^m,\ t_B = 21^h\, 09{,}4^m,\ t_C = 21^h\, 10{,}5^m.$$

Damit wird

$$\underline{t_T = 21^h\, 13{,}0^m.}$$

Adresse des Autors:
Dr. Ing. Günter Mulert, Finkenweg 20, D-7201 Talheim.