

# Astronomie

Von Prof. Dr. Matthias Bartelmann

## Ein kurzer Überblick zur Astronomie

Die Astronomie fragt nach den physikalischen Grundlagen und Ursprüngen unserer Existenz und fördert dabei Antworten zu Tage, die überraschen, erstaunen und überwältigen. Es gibt kaum einen Bereich physikalischer Forschung, in dem so viele verschiedene Gebiete der Physik zusammen wirken. Die Astronomie schaut mit Teleskopen verschiedenster Art ins All. Sie verwendet alle Bereiche des elektromagnetischen Spektrums, von den Gammastrahlen bis zu den Radiowellen, dazu kosmische Teilchen und Neutrinos, und bald auch Gravitationswellen. Von der Teilchentheorie über die Quantenmechanik, die Elektro-, Thermo- und Hydrodynamik bis zur Allgemeinen Relativitätstheorie brauchen Astronomen alle Disziplinen der modernen Physik, um zu deuten und zu verstehen, was die Teleskope ihnen zeigen.

Wer Astronomie studiert, lernt die Vielzahl der Objekte und Erscheinungen im Universum kennen, dazu ausgefeilte Datenanalysemethoden, einen tiefen Einblick in das weite Spektrum der theoretischen Physik, und dazu noch den Umgang mit dem Computer, denn von der Aufnahme und Reduktion der Daten bis zur Konstruktion physikalischer Modelle wird er in jedem Schritt gebraucht.

## Studium und Abschlüsse

Wie studiert man Astronomie? Fast überall in Deutschland muss man dazu Physik studieren und Astronomie als Nebenfach oder Spezialisierung wählen. Selbst wenn man, wie das etwa in anderen europäischen Ländern möglich ist, Astronomie als Hauptfach studieren kann, muss man eine gründliche physikalische Ausbildung durchlaufen. Astronomie ist längst zu einem Teilgebiet der Physik geworden. Wer Astronomie verstehen will, muss sich auf Physik einlassen, und wer Astronom werden will, muss zunächst Physiker werden.

Also durchläuft man die übliche Ausbildung eines Physikers. Dazu gehört eine Folge von Vorlesungen über Experimental- und theoretische Physik, die einen weitgehend einheitlichen Kanon von Themen besprechen: Mechanik, Elektromagnetismus und spezielle Relativitätstheorie, Quantenphysik, Thermodynamik und statistische Physik, Atom, Kern, Teilchen und Festkörperphysik. Begleitend gehören Mathematikvorlesungen dazu, insbesondere die Differential- und Integralrechnung in mehreren Dimensionen sowie die lineare Algebra.

Die Vorlesungen stellen die Grundlagen der physikalischen Ausbildung dar. Sie wählen aus der riesigen Menge des Stoffs die zentralen Themen aus, stellen sie dar, verknüpfen sie mit anderen und wenden sie auf Beispiele an. Dazu gehören Hausaufgaben und Übungen, in denen vertieft und angewandt wird, wovon in den Vorlesungen die Rede war.

Seminare und Praktika folgen, sobald sie sinnvoll möglich sind. In Praktika werden experimentelle, zum Teil auch numerische Techniken beschrieben und geübt. In

Seminaren werden von den Studierenden selbst Vorträge gehalten und diskutiert. In der Regel bietet ein Betreuer Themen an und schlägt Literatur vor. Seminare dienen dazu zu lernen, sich weitgehend selbständig in ein Thema einzuarbeiten, es zusammenzufassen und klar darzustellen.

## **Grundlagen der Astronomie im Physikstudium**

Astronomie taucht im Studium in der Regel in der Form einer Einführungsvorlesung auf. Darin werden, üblicherweise in zwei Teilen, die Phänomene der Astronomie beschrieben: Der erste Teil beschreibt typischerweise das Sonnensystem, die Sterne, das interstellare Medium und die Milchstraße, der zweite die Galaxien, Galaxienhaufen, kosmische Strukturen und das Universum insgesamt.

Traditionell war die Ausrichtung auf die stellare Astronomie, in der insbesondere der Aufbau und die Entwicklung der Sterne sehr breiten Raum einnahmen. Nun gewinnt die extragalaktische Astronomie in dem Maß an Bedeutung, in dem es möglich wird, das ferne Universum zu beobachten.

An diese phänomenologische Einführung schließt sich in der Regel ein Praktikum an. Darin werden Grundlagen der praktischen Astronomie besprochen, insbesondere Teleskope und Detektoren, dann die Messung von Helligkeiten und die Aufnahme und Auswertung von Spektren. Anhand konkreter Beispiele werden moderne Methoden zur Datenreduktion und -analyse erklärt und angewandt.

Es bürgert sich nun zunehmend ein, dieser phänomenologischen und praktischen Einführung eine Einführung in die theoretische Astrophysik zur Seite zu stellen. Das ist eine sehr begrüßenswerte Entwicklung, weil die Grundvorlesungen in theoretischer Physik einige der Gebiete nicht ausreichend besprechen können, die für die moderne Astrophysik wichtig sind. Dazu gehören die Strahlungstheorie, die Hydrodynamik, die Plasmaphysik und die Stelldynamik. Allgemeine Relativitätstheorie, die gleichfalls sehr wichtig für die Astrophysik ist, braucht eine eigene Vorlesung, die oft im Rahmen des erweiterten Theorieprogramms angeboten wird. Die theoretische Astrophysik schafft zugleich auch die Voraussetzungen für weiterführende Vorlesungen, die sie dann als gemeinsame Grundlage verwenden und auf der sie aufbauen können.

## **Spezialveranstaltungen für Astronomen**

Man kann diese Abfolge von Veranstaltungen - die Einführung in die Phänomenologie, das Praktikum und die Einführung in die Theorie - als einen Basiskurs in Astronomie und Astrophysik verstehen. Wer sich weiter in die Astronomie vertiefen will, wer beispielsweise eine Diplom- bzw. Masterarbeit zu einem astronomischen Thema anstrebt oder auf eine Promotion in Astronomie zielt, kann und sollte nun astronomische Aufbaukurse besuchen. Sie werden in vielen Formen und Zusammenstellungen angeboten, aber ihre wesentlichen Inhalte können etwa so beschrieben werden: Beobachtungsmethoden, Sternaufbau und Sternentwicklung, Galaxien und Galaxienhaufen sowie Kosmologie. Diese Veranstaltungen setzen nun die Einführungen voraus, beschreiben die Physik der jeweiligen Techniken und Objekte im Detail und stellen Modelle zu ihrem Verständnis dar.

Zunehmend wird auch im Studienplan berücksichtigt, dass Astronomen und Astrophysiker sehr oft weitere Techniken und Methoden beherrschen müssen, wenn sie wissenschaftlich arbeiten wollen. Dazu gehören zunächst statistische Verfahren, die von der Beschreibung von Daten und der Anpassung physikalischer Modelle daran beginnen und über die

Kompression und Kombination von Daten bis zur Entwicklung statistischer Filtertechniken reichen. Solche Verfahren werden am besten durch praktische Anwendung gelernt. Sie sind natürlich nicht auf die Astronomie begrenzt, sondern durchziehen alle Bereiche der Physik. Schließlich sind numerische Methoden sehr wichtig. Wie man Integrale oder Differentialgleichungen numerisch löst, Fouriertransformiert und mit Gittern und Teilchen arbeitet, wird in der späteren Laufbahn angehender Astronomen oft stillschweigend vorausgesetzt. Auch hier setzt sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass eine Art numerischen Praktikums auch zu einer gründlichen Astronomie und Astrophysikausbildung gehört.

## **Neuer, modularer Studienaufbau**

Die Einführung von Bachelor- und Masterstudiengängen steht nun überall in Deutschland und in vielen Ländern Europas unmittelbar bevor. Damit sind vielfältige neue Möglichkeiten verbunden. An vielen Universitäten wurde die Umstellung der Diplomstudiengänge als Chance begriffen, die Studienpläne gründlich zu durchforsten, neu zu gliedern und attraktiver zu gestalten. Die Astronomieausbildung kann dadurch wesentlich gewinnen.

Die neuen Studiengänge werden in Module gegliedert. Module können alle Arten von Lehrveranstaltungen sein, also Vorlesungen, Seminare, Praktika, Übungen und andere, oder auch geeignete Zusammenfassungen davon. Jeder Modul muss durch eine Prüfung abgeschlossen werden, wobei verschiedenste Arten von Prüfungen in Frage kommen: mündlich in Einzelprüfungen oder Referaten, schriftlich in Klausuren oder Tests, durch Berichte oder gelöste Programmieraufgaben usw. Eine mehr oder weniger starre Gliederung des Studiums nach Neben- oder Wahlfächern kann aufgegeben werden, denn am Ende zählen die absolvierten Module. So wird es möglich sein, astronomische Module zu belegen, wann auch immer sie in den Studienablauf und in die eigenen Pläne passen, ohne sich auf das gesamte Neben- oder Wahlfach Astronomie oder Astrophysik festzulegen.

Gänzlich neu am Bachelorstudiengang ist die Bachelorarbeit, die am Ende der vorgesehenen sechs Semester während etwa eines halben Semesters geschrieben werden soll. Natürlich werden auch Bachelorarbeiten zu astronomischen Themen angeboten werden. Im Idealfall wachsen geeignete Themen aus der Forschungsarbeit der Gruppen, in denen sie angeboten werden. Literaturarbeiten sind möglich, ebenso ausgearbeitete Seminarvorträge, kleinere numerische Projekte oder andere Aufgaben, die im Zuge eines Forschungsprojekts erledigt oder beantwortet werden müssen.

Das Masterstudium beginnt nach dem Bachelor und dauert vier weitere Semester, die einem spezialisierten Studium dienen. In dieser Zeit können einzelne Fächer vertieft werden, d.h. die astronomischen und astrophysikalischen Aufbaukurse sind in der Regel für diese Phase gedacht. Ein erheblicher Teil des Masterstudiums wird durch die Masterarbeit bestimmt, die der bisherigen Diplomarbeit sehr ähnlich sein wird. In der Masterarbeit sollen die Studierenden ein eigenes Thema weitgehend selbständig bearbeiten. In den besten Fällen können Masterarbeiten zu ersten Veröffentlichungen führen.

Nach dem Masterabschluss wird an vielen Universitäten ein Promotionsstudiengang Astronomie angeboten. Hier geht die Entwicklung dahin, strukturierte Studiengänge anzubieten. Zu deren Kursprogramm gehören dann insbesondere Spezialvorlesungen, Seminare zu Themen aus der aktuellen Forschung oder Praktika, in denen forschungsrelevante Tätigkeiten oder Methoden gezeigt werden. Im Zentrum der

Promotionsphase, die drei Jahre nicht wesentlich überschreiten soll, steht die betreute Durchführung einer eigenständigen Forschungsarbeit, die am Ende in einer Dissertation zusammengefasst wird. Oft werden Promotionsprojekte auch an Forschungsinstituten angeboten, die nicht zu Universitäten gehören, insbesondere den Max-Planck-Instituten.

Wie zuvor beschrieben, kann man Astronomie auf sehr unterschiedlich intensive Weisen studieren. Anfangs besteht oft ein großes Interesse an astronomischen Themen und Fragen, die das Astronomiestudium aufgreifen und beantworten soll. Entscheidend wichtig ist eine gründliche physikalische Ausbildung, aber einige astronomische Veranstaltungen sind durchaus auch für Studierende in ihren ersten Semestern geeignet. Wer aus Neugier einen Überblick gewinnen will, wird vielleicht nur die phänomenologische Einführung besuchen und an einem Praktikum teilnehmen. Wer sich weiter in die Astronomie vertiefen will, kann dann theoretische Astrophysik hören, einen Seminarvortrag zu einem astronomischen Thema halten und eine Bachelorarbeit zu einem astronomischen Projekt schreiben. Spezialvorlesungen führen zu einer astronomischen Masterarbeit hin oder leiten ins Promotionsstudium über.

## Weitere Aspekte und Perspektiven

Neben dem eigenen Interesse und einer soliden physikalischen Ausbildung sind zwei Aspekte besonders wichtig, nämlich die Arbeit mit dem Computer und ausreichende Englischkenntnisse.

Vorlesungen und Seminare aus dem Masterprogramm werden oft auf englisch angeboten, und weitaus die meiste Literatur zu Astronomie und Astrophysik ist in englisch verfasst. Deshalb ist es, wie auch in anderen Gebieten der Physik, sehr wichtig, gesprochenes und geschriebenes Englisch verstehen zu können und sich auf englisch ausdrücken zu lernen. Das geschieht am besten, indem man englisch liest, hört und spricht.

Viel, wenn nicht das meiste der astronomischen Arbeit, findet am Computer statt. Dazu wird teilweise existierende Software verwendet, wie etwa bei der Reduktion und Analyse von Daten. Oft ist es aber auch notwendig, eigene Programme zu schreiben, um bestimmte Aufgaben zu lösen, die analytisch nicht oder zu aufwändig zu lösen sind. Dazu wird eine höhere Programmiersprache gebraucht. Traditionell wurde vor allem Fortran eingesetzt, das aber zunehmend durch C oder C++ ersetzt wird. Kenntnisse in einer solchen Sprache sind deswegen ausgesprochen wertvoll.

## Nach dem Studium

Natürlich können nicht alle, die Astronomie mehr oder weniger intensiv studiert haben, nachher als Astronomen oder Astrophysiker arbeiten. Sie sind am Ende Physiker mit astronomischer Spezialausbildung, und als solche sind sie in vielen Bereichen außerhalb der Wissenschaft ebenso willkommen wie andere Physiker auch. Geschätzt wird an Physikern ihre Fähigkeit, Probleme zu gliedern und zu lösen, und dazu werden Astronomen in gleicher Weise ausgebildet. Darüber hinaus sind Astronomen am Ende ihrer Ausbildung oft derart im Umgang mit Computern versiert, dass sie auch deswegen begehrt sind.