

## Das Astronomische Praktikum an der Universität Jena - Moderne und Tradition

Olaf Fischer

Fachdidaktik für Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena,

Max-Wien-Platz 1, 07743 Jena, [fischer@astro.uni-jena.de](mailto:fischer@astro.uni-jena.de)

(Eingegangen: 11.06.2002; Angenommen: 20.11.2002)

### Kurzfassung:

Theorie und Praxis sind untrennbare Bestandteile einer Berufsausbildung. Im Rahmen der Ausbildung von Astronomielehrern und von Diplomphysikern mit der Vertiefungsrichtung Astronomie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena stellt das Astronomische Praktikum einen wesentlichen Lehrabschnitt dar, der sich dem Erwerb von Grundlagenkenntnissen in diversen Vorlesungen und Seminaren anschließt (für Studenten mit dem Nebenfach Physik ist das Astronomische Praktikum eine wahlobligatorische Lehrveranstaltung). Im Folgenden soll dieses Praktikum in seiner Spezifik vorgestellt werden. Dazu werden zunächst die konzeptionellen Leitlinien sowie die organisatorischen Besonderheiten dargestellt, um im Anschluss die inhaltliche Ausgestaltung inklusive einiger didaktischer Gedanken beispielhaft zu verdeutlichen.

### 1. Zur Konzeption

Ziel des Astronomischen Praktikums ist die Entwicklung von Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten zur selbständigen Durchführung von Beobachtungen und zur Auswertung von Beobachtungsergebnissen unter Anwendung zuvor erworbener Grundlagenkenntnisse. Als Teilnahmevoraussetzung gilt entsprechend der Nachweis, dass das Basiswissen in den astronomischen Grundkursveranstaltungen (Vorlesung+Übung) erfolgreich erworben wurde.

Die Konzeption des Praktikums basiert auf folgenden Überlegungen:

- Die verschiedenen Praxisfelder der Astronomie (Tagbeobachtung, Nachtbeobachtung, Laborarbeit) müssen Beachtung finden.
- Grundlegende Richtungen der beobachtenden Astronomie und Astrophysik (Winkelmessung, Zeitmessung, Photometrie, Spektroskopie, Polarimetrie) sollen enthalten sein.
- Typische Tätigkeiten der astronomischen Praxis (Feststellung der Objektsichtbarkeit, Erstellung und Nutzung von Aufsuchkarten, Sternzeitbestimmung, Schätzung der Helligkeit, Fernrohrtaufstellung und -parameterbestimmung, Nutzung verschiedener Winkelmessgeräte, Bildverarbeitung mit dem Computer, ...) müssen erfolgreich nachvollziehbar sein.
- Eine Vielfalt astronomischer Beobachtungs- und Auswertegeräte (Auge, Klein- und Großteleskop, verschiedene Winkelmessgeräte, Computer, ...) soll zum Einsatz kommen.
- Verschiedenste Forschungsgegenstände (Objekte des Sonnensystems, Sterne, inter-

stellare Materie, ...) sollen Beachtung finden.

- Moderne Beobachtungs- und Auswertemethoden und entsprechende Geräte müssen in das Praktikum Eingang finden. Traditionelle Versuchsinhalte sind hinsichtlich ihres didaktischen Wertes von Bedeutung.

Das Astronomische Praktikum war ein wichtiger Bestandteil der seit 1978 in Jena beheimateten Studienrichtung zum Astronomielehrer (in der Fächerkombination mit Physik). In dieser Zeit bestand das Praktikum aus einem Astronomischem und einem Astrophysikalischen Praktikum, die jeweils ein Semester lang zu absolvieren waren. Mit der wendebedingten Änderung der Ausbildungsgänge (Astronomie nun als Drittfach im Studium fürs Lehramt) entstand das heutige Astronomische Praktikum, welches durch seinen Leiter, Dr. Hans-Georg Reimann, im Rahmen der neuen Möglichkeiten und Erfordernisse in kurzer Zeit konzipiert und arbeitsfähig gemacht wurde. Die derzeitige Struktur des Jenaer Astronomischen Praktikums ist in Abb.1 dargestellt.

### 2. Die Praktikumsorganisation

Das Astronomische Praktikum ist eine einsemestri-ge Lehrveranstaltung, deren Präsenzzeit wöchentlich mit zwei akademischen Doppelstunden veranschlagt wurde. Die Präsenzzeit verteilt sich dabei nicht gleichmäßig auf die Einführungsveranstaltung, Pflicht- und Wahlpflichtversuche (siehe Abb. 1). Studenten mit dem Nebenfach Physik müssen eine geringere Anzahl von den Pflichtversuchen bearbeiten. Im Rahmen der externen Lehrerausbildung muss das Praktikum umfangsmäßig in einer etwas reduzierten Version durchgeführt werden. Die Praktikumsveranstaltungen verteilen sich dabei auf 8 fixierte Studientage mit je zwei Doppelstunden, die auf die vier Wochen, in denen die Fern-

0 Einführung in die Grundlagen der astronomischen Beobachtung			Pflichtversuche
1 Aufsuchen und Klassifizieren astronomischer Beobachtungsobjekte mit dem Schulfernrohr	3 Geografische Ortsbestimmung aus Sonnenbeobachtungen mit dem Sextanten	5 Argelandersche Stufenschätzung an veränderlichen Sternen auf Photoplaten	
2 Ermittlung der atmosphärischen Refraktion aus Messungen mit dem Theodoliten	4 Dynamische Messung der Solarkonstante	6 Photographische Spektralklassifikation	
Nachtbeobachtungen	Tagbeobachtungen	Laborarbeit	Wahlpflichtversuche (je 1)
7 Interferometrische Messungen an ausgewählten astronomischen Objekten	11 Bestimmung der Rotationsdauer der Sonne aus wiederholten Fleckenbeobachtungen	13 Bahnbestimmung eines kleinen Planeten	
18a CCD-Aufnahmen eines offenen Sternhaufens mit dem 90-cm-Spiegelteleskop	12 Messung der Wellenlängenabhängigkeit der Randverdunklung der Sonne	14 Bestimmung der Eigenbewegung eines Sterns	
9 Messung der Parallaxe und der Bahngeschwindigkeit des Mondes		15 Computersimulation des allgemeinen Keplerproblems	
10 Mikrometermessungen an Doppelsternen		16 Simulation der Lichtkurve eines Bedeckungsveränderlichen	
		17 Erstellung und Interpretation von Polarisationskarten	
		18b CCD-Photometrie eines offenen Sternhaufens	

**Abbildung 1:** Das Astronomische Praktikum der Universitäts-Sternwarte Jena. Die Versuchsnummer gibt nicht die Reihenfolge oder Wertigkeit vor.

studenten in Jena sind (pro Semester eine Woche), aufgeteilt werden.

Ein astronomisches Praktikum ist insgesamt gesehen keine zeitpunktgenau planbare Lehrveranstaltung, sondern sie besitzt wetterbedingt einen optionalen Charakter. Für die Nachtbeobachtungen/Laborarbeit und für die Tagbeobachtungen werden im Wochenstundenplan je ein Zeitraum vergeben (Nachtbeobachtungen etwa ab 18.00 Uhr im Wintersemester und 20.00 Uhr im Sommersemester, Tagbeobachtungen von 10.00-14.00 Uhr im Wintersemester und 11.00-15.00 Uhr im Sommersemester). Der im Stundenplan für die Nachtbeobachtung vorgesehene Praktikumsabend ist gleichzeitig die Zeit für die Laborversuche. Die Erfahrung zeigt, dass die stundenplanmäßig vorgesehenen 15 nächtlichen Beobachtungsmöglichkeiten nicht ausreichen, um genug klare Nächte für die anstehenden Aufgaben zur Verfügung zu haben. Deswegen existiert für das Astronomiepraktikum die Regel, dass an allen Tagen (Montag-Donnerstag) bei hinreichend guten Beobachtungsbedingungen Nachtbeobachtungen stattfinden. Über das hinreichend gute Wetter muss eine klare Regel aufgestellt werden, bis die Möglichkeit besteht, dass alle Teilnehmer kurzfristig (z. B. 2 h zuvor über das Internet) nachfragen können, ob die Praktikumsveranstaltung stattfindet oder nicht. Um eine ausreichende Vorbereitung der Versuche zu garantieren, werden, im Falle von Schönwetterperioden, pro Woche maximal zwei Praktika durchgeführt. In Schlechtwetterperioden können zumindest die Laborversuche durchgeführt werden.

Die Abfolge der Versuche entspricht der in Abb. 1 aufgeführten Nummerierung (diese entspricht der Kapitelnummerierung im Praktikumsbuch) nur insoweit, als die Pflichtversuche vor den Wahl-

pflichtversuchen durchgeführt werden. Die meisten Versuche werden von den Praktikanten nicht parallel durchgeführt, da die Anzahl der zur Verfügung stehenden Geräte dies nicht erlaubt. Die Versuchsdurchführung erfolgt in Gruppen zu je zwei Studenten allein schon deshalb, weil verschiedene Messungen simultane Ablesungen/Einstellungen erfordern.

Eine wesentliche Basis der Lehrveranstaltung stellt das Kompendium für das Astronomische Praktikum (Reimann u. a., 2000) dar. Das Buch liefert, in Ergänzung zum Vorlesungsstoff, die für die Versuche notwendigen Grundlagen und hilft so mittels der „maßgeschneiderten“ Information, die Effektivität der Praktikumsvorbereitung zu steigern. (Die Vorbereitung würde ohne das Kompendium wesentlich mehr Zeit benötigen, da Informationen aus ganz verschiedenen Quellen zusammenzutragen wären.) Im Anschluss an die Grundlagedarstellung folgen die jeweiligen Aufgabenstellungen und Hinweise zur Versuchsdurchführung. Der Lehrbuchcharakter des Kompendiums wird durch Testfragen und Quellenangaben unterstrichen.

Die Bewertung der studentischen Leistungen erfolgt auf Grundlage der zu jedem Versuch zu erstellenden Protokolle und der Gespräche, die zur Kontrolle des Vorbereitungs-niveaus der Studenten dienen. Ein Leistungsschein bestätigt die erfolgreiche Teilnahme am Astronomischen Praktikum inklusive einer Bewertung.

Das Astronomische Praktikum wird, entsprechend der Versuchsspezifität, an verschiedenen Orten durchgeführt. Die in Abb. 2 gezeigte Universitäts-Sternwarte bildet dabei mit den Laborräumen sowie einer Dachterrasse und einer Kuppel für Tagbeobachtungen das Zentrum des Geschehens. Versuche, die einen großen Himmelsausschnitt bei relativ

wenig Störlicht in unmittelbarer Nähe benötigen, werden auf der Dachterrasse des Hauses 1 der Physikalisch-Astronomischen Fakultät durchgeführt (siehe auch Abb. 5). Ausgewählte Versuche finden in der 10 km westlich von Jena auf einer Hochfläche gelegenen Beobachtungsstation Großschwabhausen statt (siehe Abb. 8).



**Abbildung 2:** Komet Hale-Bopp über Kuppel und Dachterrasse der Universitäts-Sternwarte Jena (Bildquelle: Weise, Volkssternwarte Urania Jena e. V., März 1997)

### 3. Astropraktika im Vergleich

In Deutschland ist an mindestens 20 Standorten eine astronomische oder astronomisch relevante Hochschulausbildung möglich. Ein astronomisches und/oder astrophysikalisches Praktikum ist in der Regel Bestandteil der Ausbildung. Dies wird meist als einsemestrige Veranstaltung mit einem Stundenumfang von 2 bis 4 Semesterwochenstunden angeboten.

In der Mehrzahl der Fälle findet das Praktikum, wie auch in Jena, im wöchentlichen Rhythmus statt. Es existiert aber auch die Variante eines ein- oder zweiwöchigen Blockpraktikums (z. B. Bonn, Heidelberg, Frankfurt am Main), das in der vorlesungsfreien Zeit durchgeführt wird. Der massiven und zeitlich gedrängten Vor- und Nachbereitung der Versuche stehen mehr Freiraum und Chancen für Beobachtungstätigkeit und konzentriertes Arbeiten gegenüber.

Für die Konzeption der Praktika findet man unterschiedliche Ansätze. Während vereinzelt Projektpraktika angeboten werden (z. B. in Bochum), bei denen eine astrophysikalische Fragestellung beginnend bei Motivation und Planung für eine Beobachtung, über deren praktische Absicherung und Durchführung bis hin zur Datenauswertung und Veröffentlichung exerziert wird, besteht die Mehrzahl der Praktika aus mehreren Versuchen (6 bis 12) zu verschiedenen Aspekten der Astronomie/Astrophysik.

Hinsichtlich der zuvor angesprochenen verschiedenen Ansprüche an ein Astropraktikum lassen die Praktikumsprogramme deutlich unterschiedliche Schwerpunkte erkennen. Die einen basieren stark auf eigenen Beobachtungen (z. B. Kiel, Bonn, Je-

na), andere scheinen meist nur „Datenkonserven“, vermutlich auch aus Gründen der örtlichen Gegebenheiten (z. B. Frankfurt am Main) zu nutzen. Eine Versuchsreihe mit logischer Struktur, wie sie z. B. in Heidelberg existiert (erst Methoden, dann Objekte) ist nicht immer klar erkennbar. Auch spielt die eigene Forschungsarbeit beim Versuchsangebot eine Rolle. So steht in Freiburg das Sonnen-Turmteleskop mit einem Spektrographen im Zentrum des Praktikums. In Münster gar, wo die Planetologie ansässig ist, findet man an praktischen Angeboten nur mikroskopische Übungen an Meteoriten und anderen Objekten.

Ein weiterer Aspekt des Vergleichs zwischen den Astropraktika betrifft die Möglichkeit der Wählbarkeit von Versuchen. In Jena existiert ein Pflichtteil und ein Wahlpflichtteil (siehe Abb. 1). Auch andere Praktika haben mehrere Versuche im Angebot, von denen jedoch z. B. in München nur eine begrenzte Zahl zur Bearbeitung kommen kann.

Die Konzeption vieler Praktika lässt einen ausreichenden Bezug zur Lehramtsausbildung vermissen. Dazu sollten grundlegende Fähigkeiten und Fertigkeiten, die auch für die Schule von Belang sein können (z. B. Orientierung am Sternenhimmel und Aufsuchen von Objekten, Nutzung eines Fernrohrs hinsichtlich seiner Parameter) trainiert werden. Auch nachahmbare Versuche mit relativ einfachen Mitteln, sollten im Programm sein. Die langjährige Erfahrung in der Ausbildung von Astronomielehrern hat im Jenaer Versuchsangebot zu einem ausgewogenen Verhältnis zwischen den Anforderungen von Forschung und Schule geführt.

### 4. Zur inhaltlichen Arbeit

Im Folgenden werden einige Versuche des Astronomischen Praktikums in wesentlichen Zügen vorgestellt, um die Realisierung der anfangs genannten konzeptionellen Leitgedanken aufzuzeigen und didaktische Details darzulegen. Es kann keine inhaltliche Gesamtdarstellung geboten, wohl aber soll der innere Zusammenhang der Praktikumsinhalte verdeutlicht werden. An ausgewählten Aspekten werden die Inhaltsauswahl und –umsetzung diskutiert (warum werden welche Inhalte wie umgesetzt) und Schwierigkeiten aufgezeigt.

Da die Versuche in ihrer Gestaltung über Jahrzehnte hinweg gewachsen sind, muss auf eine Quellenangabe hinsichtlich der Ursprungsidee verzichtet werden.

#### 4.1 Aufsuchen und Klassifizieren astronomischer Himmelsobjekte mit dem Fernrohr

Das Aufsuchen eines Objektes am Sternenhimmel, sei es mit bloßem Auge oder mit dem Fernrohr, gehört zu den Grundaufgaben der Beobachtungstätigkeit und steht daher im Praktikumsprogramm an erster Stelle. Im ersten Schritt gilt es festzustellen, welche Koordinaten (Rektaszension  $\alpha$  und Deklination  $\delta$ ) das betreffende Zielobjekt hat. Die Nutzung eines **astronomischen Jahrbuches** (in gedruckter oder computerlesbarer Form) ist erforderlich. Im

zweiten Schritt muss festgestellt werden, ob und wann das Beobachtungsobjekt ausreichend hoch über dem Horizont steht. Dazu gilt es, die von der Grundlagenvorlesung her bekannte Koordinatentransformation von den Äquatorkoordinaten  $\alpha$  und  $\delta$  zu den Horizontkoordinaten Azimut  $a$  und Höhe  $h$  mit Hilfe eines **Computerprogramms** oder einer **drehbaren Sternkarte** (zur schnellen Abschätzung) anzuwenden.

Die in der Übung zur Grundlagenvorlesung erworbene Fähigkeit zur Berechnung der Sternzeit muss im Praktikum angewendet werden, wenn es um die exakte Ausrichtung der Koordinatenteilkreise des Fernrohrs nach der **Sternzeitmethode** geht. Die aus der Vorlesung her bekannte Formulierung „die Sternzeit entspricht dem Stundenwinkel des Frühlingspunktes“ erfährt im Praktikum Anschaulichkeit, wenn man den Praktikanten die „himmlische Sternzeituhr“ zeigt. Dazu muss man sich die Lage des Himmelsäquators, des Meridians und des Frühlingspunktes vorstellen, wozu einige markante Sterne und Sterngruppen ausreichen (Himmelsäquator verläuft z. B. nahe der Sterne Procyon ( $\alpha$  Canis Minoris), Gürtelsterne im Orion, Mira ( $\alpha$  Ceti); der Frühlingspunkt liegt etwa in der einfachen südlichen Verlängerung der Verbindungslinie der Sterne Sirrah ( $\alpha$  Andromedae) und Algenib ( $\beta$  Pegasi)). Der Himmelsäquator entspricht dem Zifferblatt und der Meridian gibt darauf die 0-Uhr-Position an. Der „Sternzeitzeiger“ dreht sich um die Polachse in Richtung des Laufes der Gestirne und zeigt zum Frühlingspunkt. Der Stundenwinkel des Frühlingspunktes entspricht gleichzeitig einer Zeit, eine für die Astronomie typische, zu trainierende Denkweise.



**Abbildung 3:** Nachtbeobachtung mit dem Schulfernrohr (Bildquelle: Lindner, *Astronomie und Raumfahrt im Unterricht*, Sonderdruck, 2000).

Im nächsten Versuchsteil werden einige **fernrohrspezifische Parameter** (Grenzreichweite, räumliches Auflösungsvermögen, Gesichtsfelddurchmesser), deren theoretische Bedeutung bereits bekannt

ist, am Beispiel des Schulfernrohres (63/840) ermittelt. Zur Ermittlung des Gesichtsfelddurchmessers wird die **Durchlaufmethode** verwendet. Bei dieser Methode wird die Zeitspanne  $\Delta t$  gemessen, in der ein Stern infolge seiner scheinbaren täglichen Bewegung das Gesichtsfeld, den Mittelpunkt mitnehmend, durchläuft. Der Gesichtsfelddurchmesser  $d$  berechnet sich dann aus  $d = k \cdot \cos \delta \cdot \Delta t$ , ( $k$  ... Konstante). Bemerkenswert ist der Faktor  $\cos \delta$ , der letztlich die einfache Tatsache ausdrückt, dass der Winkelabstand zweier Sterne (z. B. auf dem gleichen Deklinationskreis) nicht der Winkeldifferenz der Koordinatenlinien (Rektaszension/Stundenwinkel) entspricht, auf denen diese Sterne liegen. Die Studenten erfahren dabei praktisch den Unterschied zwischen Kleinkreis und Großkreis an der Himmelskugel.

Selbst astronomische Großteleskope besitzen einen gewissen Positionierungsfehler, der sich dadurch bemerkbar macht, dass die Mitte des eingestellten Gesichtsfeldes nicht den Zielkoordinaten entspricht. Zur sicheren Identifizierung eines Objektes sind oft noch **Aufsuchkarten** nötig, die das Zielobjekt als Element einer Struktur (meist bestimmte Anordnung von Sternen) enthalten. Im letzten Versuchsteil sind verschiedene astronomische Himmelsobjekte, die mit bloßem Auge nicht zu sehen sind, mit dem Fernrohr aufzusuchen. Dazu sind Aufsuchkarten anzufertigen, die das gewünschte Beobachtungsobjekt in der Nähe eines helleren, anpeilbaren Objektes enthalten. Zusätzliche Blenden mit dem gleichen Winkelmaßstab wie die Karten erlauben es, den Fernrohreinblick darzustellen. Der scheinbare Durchmesser des Vollmondes (ca.  $0,5^\circ$ ) gibt ein anschauliches Maß am Himmel selbst. Eine Aufsuchkarte kann jedoch nur dann helfen, wenn ihre Orientierung derjenigen angepasst ist, die durch das optische System geliefert wird (im einfachen astronomischen Fernrohr ist das Bild kopfstehend und seitenvertauscht, jede Reflexion bringt eine Seitenumkehr).

#### **4.2 Ermittlung der atmosphärischen Refraktion aus Messungen mit dem Theodoliten**

Astronomische Koordinaten unterliegen wahren und scheinbaren Koordinatenänderungen. Die Refraktion ist ein scheinbarer Effekt, der durch die lichtbrechende Wirkung der Erdatmosphäre hervorgerufen wird. Er bewirkt, dass die Gestirne je nach ihrer Höhe verschieden stark angehoben erscheinen. Der Refraktionswinkel liegt im Bereich von Bogensekunden bis -minuten, ist also durch die Messung mit einem Sekundentheodoliten erfassbar. Das in den Grundlagenlehrveranstaltungen ausführlich behandelte Thema der Koordinatenänderungen kann so im Rahmen des Astronomischen Praktikums vergegenständlicht und praktisch vertieft werden.

Der Praktikumsversuch umfasst zwei verschiedenartige Praxisfelder: die Messung der scheinbaren Höhe verschiedener Teststerne und die Bestimmung ihrer wahren Höhe unter Zuhilfenahme von



Katalogen und Computerprogrammen. Der Refraktionswinkel ergibt sich dann aus der Differenz beider Höhen.

Ziel der Messung ist die Bestimmung des Refraktionswinkels in Abhängigkeit von der Höhe. Dazu sind die scheinbaren Höhen von ca. 20 Teststernen in verschiedenen Höhen zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  zu vermessen. Geschieht die **Höhenmessung genau im Meridian** (bei der unteren oder oberen Kulmination der Sterne), hat man den Vorteil, dass bei der anschließenden Berechnung der wahren Höhen  $h_{\text{wahr}}$  der Teststerne aus den Katalogkoordinaten eine sehr einfache Beziehung gilt ( $h_{\text{wahr}} = 90^\circ - \varphi + \delta$  (obere Kulmination) oder  $h_{\text{wahr}} = -(90^\circ - \varphi) + \delta$  (untere Kulmination),  $\varphi$  ... geografische Breite des Beobachtungsortes), bei der zudem die Zeit keine Rolle spielt. Die um alle weiteren Koordinatenänderungseffekte bereinigte Deklination  $\delta$  kann einem **speziellen Sternkatalog** entnommen werden oder sie muss mit einem **Computerprogramm** berechnet werden.



**Abbildung 4:** Astronomisches Praktikum mit einem Sekundentheodoliten.

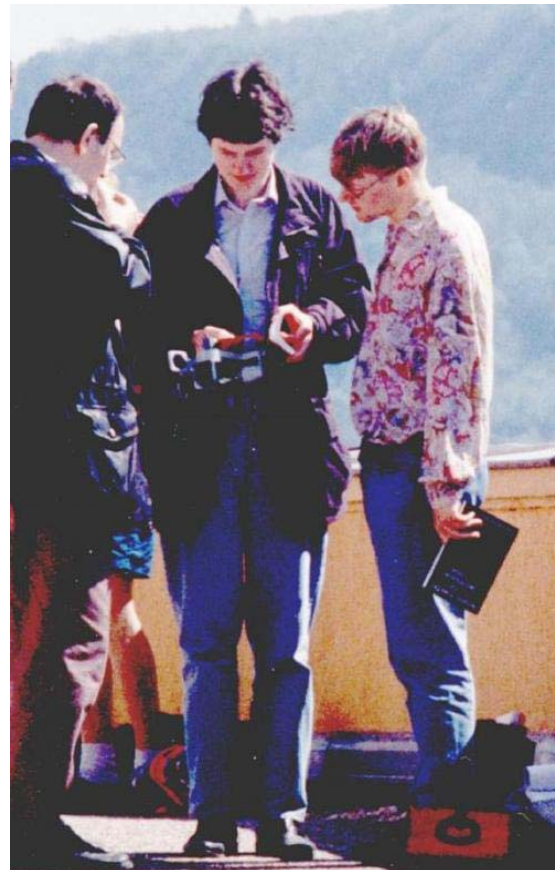
Die Messung im Kulminationspunkt stellt eine starke Einschränkung der möglichen Teststerne bzw. Beobachtungszeitpunkte dar, so dass eine **Höhenmessung ohne Beschränkung der Azimutrichtung** oftmals vorzuziehen ist. Hierbei wird die Messwertaufnahme und die folgende **Koordinatentransformation** komplexer, da nun auch die Messzeit von Bedeutung ist. Das Mehr an Komplexität bereitet einigen Studenten erfahrungsgemäß Probleme. Es sei deshalb an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass insbesondere auch beim Praktikum die Devise „der Weg ist das Ziel“ stets im Blick bleiben muss. Die zweite Messvariante hat auch den Vorteil, dass Sterne bei sehr geringen Höhen vermessen werden können. Durch den Horizontdunst erscheinen auch die hellsten Sterne so lichtschwach, dass sie nicht anpeilbar sind. Verfolgt man jedoch einen hellen Stern in den Dunst hinein, so bleibt er, durch die Optik betrachtet, beinahe bis zum Horizont sichtbar. Die Messwerte für geringe Gestirns Höhen sind besonders wichtig, um die Gültigkeit verschiedener **Atmosphärenmodelle** bei der Modellierung der Refraktion zu verdeutlichen.

Der Umgang mit Beobachtungsgeräten wie dem Theodoliten (siehe Abb. 4) sollte zuvor (bei guter Beleuchtung) geübt werden, wozu sich Praktikums-tage mit bedecktem Himmel eignen. Neben den Informationen im Buch zum Praktikum und in Gerätebeschreibungen kann Wissenswertes zu Aufbau und Handhabung von Theodoliten (und anderen Geräten) auch im Internet nachgelesen werden.

(Siehe z.B. <http://kgise.geo.tu-dresden.de/ig/lernprogramm/seiten/tus/theo.htm>).

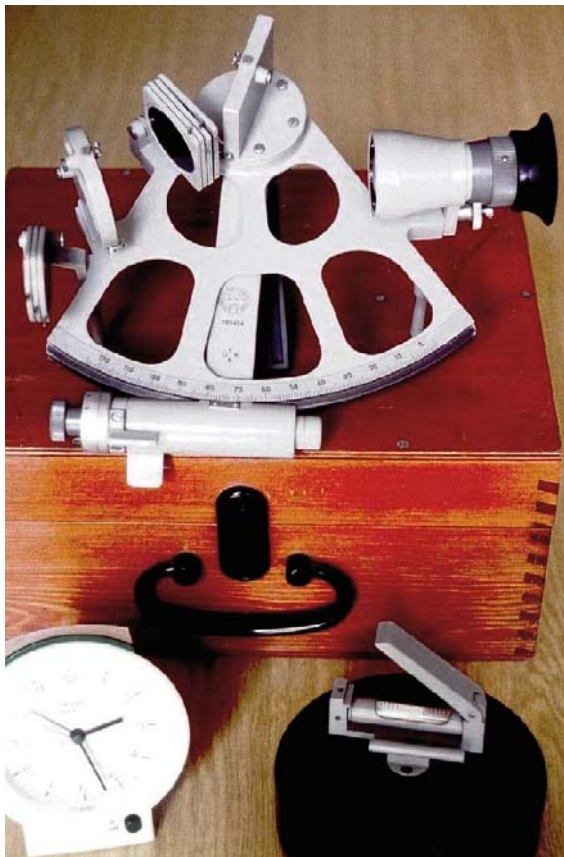
#### 4.3 Geografische Ortsbestimmung aus Sonnenbeobachtungen mit dem Sextanten

Die Bestimmung des geografischen Ortes ist wissenschaftshistorisch gesehen eine **Standardaufgabe der Astronomie**. Neben diesem Motivations-element bietet die Ortsbestimmung viele Anwendungsmöglichkeiten grundlegender sphärisch astronomischer Zusammenhänge (zwischen: geografischen und astronomischen (Äquator-)Koordinaten, Äquatorsystem und Horizontsystem, Kulmination und Meridiandurchgang für Fix- und Wandelsterne, Sonnenzeit und Sternzeit, Ortszeit und Zonenzeit, wahre und mittlere Sonnenzeit).



**Abbildung 5:** Vorbereitung der Messung der Sonnenhöhe mit Hilfe des Trommelsextanten. Ein Standort des Astronomischen Praktikums hoch über den Dächern von Jena ist das begehbare Dach des Hauses 1 der Physikalisch-Astronomischen Fakultät.

Aus astronomischer Sicht wäre die geografische Ortsbestimmung auf Grundlage der nächtlichen Beobachtung von Fixsternen einfacher und genauer. Aus didaktischen und organisatorischen Gründen wird der Versuch jedoch mit Hilfe von Messungen der Sonnenhöhe durchgeführt. Die Sonne als positionsveränderlicher Bezugspunkt hat den Nachteil (aus didaktischer Sicht ist es ein Vorteil), dass sie den höchsten Punkt ihrer scheinbaren täglichen Bahn (**obere Kulmination**) **nicht (!) im Meridian** erreicht. Diese Tatsache muss im Versuch Berücksichtigung finden. Die Sonne bietet zudem die Chance der Anwendung von Grundlagenkenntnissen zur astronomischen Zeitmessung. Insbesondere die Problematik des Unterschieds zwischen wahrer und mittlerer Sonnenzeit wird durch den Praktikumsversuch aufgegriffen und praktisch verarbeitet. (Im Versuch wird die **wahre Sonne** vermessen und mit der **mittleren Sonne** unter Anwendung der **Zeitgleichung** in Beziehung gesetzt.)



**Abbildung 6:** Hilfsmittel zur Vermessung der zeitlich abhängigen Sonnenhöhe  $h(t)$ : Trommelsextante zur Winkelmessung mit einer Genauigkeit von einer Bogenminute, künstlicher Horizont und Röhrenlibelle zu dessen Justierung, Funkuhr.

Die geografische Ortsbestimmung basiert auf 20 Messungen der zeitabhängigen Sonnenhöhe  $h(t)$  verteilt im Zeitraum von 2 h und zentriert um den Zeitpunkt des wahren Mittags am Beobachtungsort, d. h. je 10 Messungen vor und nach dem Meridiantdurchgang der Sonne. Die Messpunkte (inklusive

ihrer Fehlerbalken) markieren dabei ein Stück des Tagbogens der Sonne, der im Laufe der Auswertung durch die Praktikanten modelliert und analysiert werden muss (Bestimmung von Höhe und Zeitpunkt des Kurvenmaximums). An dieser Stelle sei etwas zum Verhältnis von Moderne zu Tradition in einer Lehrveranstaltung wie dem Praktikum gesagt. Die Auswertung der Messergebnisse könnte vollständig von einem geeigneten Computerprogramm übernommen werden. Die Aktivität der Studenten wird dadurch jedoch, insofern sie das Programm nicht selbst geschrieben haben, gelähmt. Ein traditionelles Verfahren zur Auswertung hat deshalb im Praktikum durchaus seine Berechtigung. Eine grafische Variante zur Bestimmung der Kulminationszeit aus den Messwerten bietet die **Methode der korrespondierenden Höhen**.

Neben der traditionellen „seemännischen“ Höhenmessung mit dem **Sextanten** erlernen die Studenten beim Versuch die Anwendung eines **künstlichen Horizonts**, eines Hilfsmittels, das bei fehlender Kimm als Bezugspunkt der Winkelmessung das Spiegelbild der Sonne liefert.

Der Versuch erlaubt die Bestimmung des geografischen Ortes mit einer Genauigkeit von wenigen hundert Metern. Ein Vergleich der Ergebnisse mit Angaben, die mittels genauerer Verfahren erzielt wurden (Angaben auf Messtischblättern oder GPS-Ergebnisse) ist ein guter Ausgangspunkt für die auch quantitative Diskussion der Fehler. Im Astronomischen Praktikum werden die in den physikalischen Praktika erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten in der **Fehlerrechnung** angewendet.

#### **4.4 Argelandersche Stufenschätzung an veränderlichen Sternen auf Photoplatten**

Die Argelandersche Stufenschätzung ist eine in der Amateur- und teilweise auch in der professionellen Astronomie genutzte Methode zur **relativen Photometrie**, die das Auge als Strahlungsempfänger nutzt. Im Rahmen eines Praktikumsversuchs bietet sie einen guten Zugang zum astrophysikalisch wichtigen Zweig der Photometrie, die in Folgeversuchen (siehe Abb.1) bis hin zur modernen CCD-Photometrie betrieben wird.

Die von Argelander entwickelte Methode kann sowohl direkt am Sternenhimmel als auch an Hand seiner Abbildung auf Photoplatten oder CCD-Bildern betrieben werden, was den Versuch für die Laborarbeit tauglich macht.

Bei der Methode der Argelanderschen Stufenschätzung wird die unbekannte Helligkeit eines Sterns im Idealfall zwischen den bekannten Helligkeiten zweier benachbart stehender Sterne „eingepasst“, wobei die Referenzsterne nicht all zuviel heller und schwächer als der Stern unbekannter Helligkeit sein müssen. Zur Erhöhung der Genauigkeit werden mehr als nur zwei Vergleichssterne herangezogen. Kann die zu schätzende Helligkeit nicht eingepasst werden (wenn kein hellerer oder schwächerer Stern in der Nähe zur Verfügung steht), dann kann mittels der persönlichen Schätzstufenhöhe auf die unbe-

kannte Helligkeit geschlossen werden. Die Bestimmung der **persönlichen Stufenhöhe** kann grafisch erfolgen, eine Methode, die im Rahmen des Praktikums sehr willkommen ist.

Die Anwendung der Argelanderschen Stufenschätzmethode konzentriert sich auf die Beobachtung von Objekten veränderlicher Helligkeit. Im vorliegenden Versuch steht die Aufgabe, die Periodendauer veränderlicher Sterne aus Helligkeitschätzungen abzuleiten. Dazu werden Photoplatten zur Verfügung gestellt, die in zeitlicher Folge von einem bestimmten Sternfeld gewonnen wurden. Eine Schwierigkeit besteht darin, die auf der Photoplatte abgebildeten Sterne auf der zur Verfügung gestellten Sternkarte zu identifizieren. Dazu muss der **Abbildungsmaßstab** bestimmt und angewendet werden. Nachdem mit Hilfe der Sternkarte der veränderliche Stern aufgesucht wurde, kommt zur Kontrolle der richtigen Identifikation ein **Stereo-komparator** zum Einsatz. Mit der Anwendung dieses Geräts wird gleichzeitig prinzipiell demonstriert, wie helligkeits- und ortsveränderliche Himmelsobjekte aufgefunden werden können.

Die Photoplatten als „Beobachtungskonserven“ erlauben in einer Art „Zeitraffer“ die Bestimmung der veränderlichen Helligkeit, wozu ansonsten in der Regel viele Beobachtungsabende nötig wären.

#### 4.5 Photographische Spektralklassifikation

Die **Spektroskopie** ist ein weiterer wesentlicher Zweig der Astrophysik, der im Astronomischen Praktikum Beachtung finden muss. Der dazu vorliegende Versuch wurde als Laborversuch konzipiert, weil die Gewinnung eines „ergiebigem“ Spektrums eines größeren Teleskops bedarf, welches dem Praktikum (zumindest in der gewünschten Ausstattung) nicht zur Verfügung steht. Die praktische Arbeit beginnt also damit, die auf Photoplatten vorliegenden Spektren zu registrieren, d. h., ihre Schwärzungsverläufe (Grad der Schwärzung in Abhängigkeit von der Plattenposition in Richtung des Spektrums gemessen) zu erfassen. Die eigene Registrierung der Schwärzungsverläufe erfordert von den Praktikanten die sachgerechte Anwendung eines **Schnellphotometers** und ermöglicht so direkte Berührungspunkte mit der Fehlerproblematik (Rauschen und Signal, Plattenfehler, ...).

Auch wenn die Spektren nicht selbst gewonnen wurden, so erlaubt die Auswertung der registrierten Schwärzungsverläufe den Praktikanten doch Rückschlüsse auf Eigenschaften des verwendeten Spektrographen (Dispersionskurve, spektrale Auflösung).

Die zentrale Tätigkeit der Spektrenauswertung ist die **Linienidentifikation**. Anders als im professionellen Bereich werden dazu jedoch keine Referenzspektren, die üblicherweise von einer Referenzquelle simultan zum Objektspektrum mit derselben Empfangsanordnung gewonnen werden, zu Rate gezogen. Lehrreicher erscheint der Weg, zwei Spektren zu registrieren, eins von einem unbekanntem Stern und eins von einem bekannten Stern,

dessen Spektraltyp derart ist, dass markante Spektrallinien offensichtlich sind (Balmerlinien bei einem A-Stern). Die aufgefundenen Balmerlinien erlauben die grobe Kalibrierung des registrierten Schwärzungsverlaufes (Erstellung einer Wellenlängenskala), die die Grundlage für das Auffinden weiterer Linien und die Verbesserung der Kalibrierung ist. Die Kontrolle, ob dieser Handlungsablauf den Praktikanten für die Versuchsauswertung klar ist, sollte zum Inhalt eines Praktikumsgesprächs gehören.

Mittels der erarbeiteten Wellenlängenskala können die Spektrallinien des unbekanntem Sterns aufgesucht werden. Das Vorhandensein bestimmter Linien und ihre Ausprägung geben dann die entscheidenden Hinweise auf den gesuchten Spektraltyp. Dazu lernen die Studenten ein eindimensionales Schema zur Grobklassifikation (**Handlungsanleitung**) kennen und praktizieren dieses.

Der Begriff der **Empfindlichkeitsfunktion** nimmt für die Praktikanten im Zusammenhang mit dem Schwärzungsverlauf konkrete Gestalt an. Auch wenn im Rahmen des Versuchs keine Transformation des registrierten Schwärzungsverlaufes in den spektralen Intensitätsverlauf praktiziert wird (dazu wäre die genaue Kenntnis der zudem noch wellenlängenabhängigen Schwärzungskurve nötig), so muss diese bei der Linienbeschreibung doch Beachtung finden.

#### 4.6 CCD-Aufnahmen eines offenen Sternhaufens mit dem 90-cm-Spiegelteleskop

Die Arbeit an einem „Großteleskop“ ist eine reizvolle Aufgabe, die in einem astronomischen Praktikum einen direkten Einblick in die professionelle Beobachtung gibt. Die Jenaer Universitäts-Sternwarte verfügt über ein 90-cm-Spiegelteleskop (Beobachtungsstation Großschwabhausen, siehe Abb. 8), welches als Schmidtspiegel (60 cm freie Öffnung bedingt durch die Größe der Korrekionsplatte nach Schmidt) einsetzbar ist und somit ein Bildfeld, besitzt, das groß genug zur Abbildung offener Sternhaufen ist. Als Empfänger dient eine CCD-Kamera. Das Teleskop bietet also die ideale Voraussetzung zur Sternhaufenphotometrie.

Mit der CCD-Technik lernen die Studenten, nach der historisch gesehen wichtigen Methode der Photographie, die **moderne Form der Datengewinnung** kennen. Die Kenntnis von Aufbau und Wirkungsweise einer CCD-Kamera wird ergänzt durch die Fähigkeit und Fertigkeit zur Reduktion von CCD-Daten. Relevante Begriffe, wie z. B. „Dunkelbild“, „Flatfield“, oder „Pixelsättigung“, erhalten beim Umgang mit der computergesteuerten CCD-Kamera auch auf praktischem Wege Bedeutung.

Viele in den Grundversuchen geübte Tätigkeiten sind beim vorliegenden Versuch von Bedeutung: die Bestimmung der Sternzeit, das Heraussuchen der Objektkoordinaten aus einem Jahrbuch, die Einstellung des Fernrohrs nach Koordinaten, der Umgang mit Umgebungskarten, ... Ein **neues Tätigkeitsfeld** eröffnet sich im Rahmen der Datenre-



duktion, die sich als zweiter Versuchsabschnitt der Datengewinnung anschließt. Hierbei lernen die Praktikanten die moderne Datenaufbereitung mit Hilfe der **computergestützten Bildverarbeitung** kennen, wobei sie den **Umgang mit einer typischen Bedienoberfläche** üben. Computergestützte Tätigkeiten sind im Lehrbetrieb jedoch nur sinnvoll, wenn sie mit Verständnis und nicht „rein mechanisch“ ausgeführt werden. Es gilt also, die Wirkungsweise von Bildverarbeitungsroutinen zumindest im Prinzip zu verstehen und ihre Handhabung gesondert zu trainieren, bevor sie als Werkzeuge zum Einsatz kommen können.



**Abbildung 7:** Ein Student identifiziert sein Beobachtungsobjekt am Sucherfernrohr des 90-cm-Teleskops der Universitäts-Sternwarte.



**Abbildung 8:** Beobachtungsstation der Universitäts-Sternwarte Jena in Großschwabhausen.

#### 4.7 Simulation der Lichtkurve eines Bedeckungsveränderlichen

Die Simulation der Lichtkurve eines bedeckungsveränderlichen Sterns legt den Schwerpunkt der Praktikumsarbeit auf die **Dateninterpretation** (Interpretation einer Lichtkurve). Der Versuch schließt sich direkt an den Versuch zur visuellen Photometrie mittels der Argelanderschen Stufenschätzmethode an, der verdeutlicht, wie eine Lichtkurve zustande kommen kann.

Die Interpretation einer Lichtkurve basiert auf einem Modell, dessen Anwendung bei Verwendung der richtigen Parameter die beobachteten Daten wiedergibt (simuliert). Die im Praktikumsversuch durchgeführte Lichtkurvensimulation (siehe Abb. 9) basiert auf dem Modell eines bedeckungsveränderlichen Doppelsternsystems mit verschiedenen variierbaren Parametern (Sterndurchmesser, große Bahnhalbachsen, Exzentrizität, Bahnneigung, ...). Ein derartiges Modell ist effektiv nur mittels eines Computerprogramms anwendbar. Der Versuch demonstriert so in überzeugender Art und Weise die Anwendung des **Computers als moderne Interpretationshilfe**.



**Abbildung 9:** Der Bildschirm des Praktikumscomputers zeigt die simulierte Lichtkurve des Sterns V 1143 Cyg, eines Bedeckungsveränderlichen vom Algol-Typ. Parameter der Simulation: Helligkeiten der Doppelsternkomponenten A und B:  $m_A=6,^m5$  und  $m_B=7,^m0$ ; Radien der Doppelsternkomponenten A und B in Einheiten der großen Bahnhalbachse:  $r_A=r_B=0,06$ , Bahnexzentrizität  $e=0,54$ ; Winkel zwischen der Apsidenlinie und der Projektion der Sichtlinie auf die Bahnebene  $\alpha_p=135^\circ$  (gemessen ausgehend vom Periastron); Winkel zwischen der Bahnebene und der Sichtlinie  $i=87^\circ$ .

Wie bereits erwähnt, muss der Nutzung eines Computerprogramms zu Lehrzwecken dessen Kennenlernen vorausgehen. Entsprechend ist die Aufgabenstellung zweigeteilt. Im ersten Versuchsabschnitt müssen die typischen Lichtkurven bedeck-



ckungsveränderlicher Sterne verschiedener Klassen (W-Ursae-Majoris-Sterne,  $\beta$ -Lyrae-Sterne, Algol-Sterne) in „Normalkonstellation“ simuliert werden. Die folgende Untersuchung des Einflusses der Bahnexzentrizität, der Bahnneigung und des Winkels zwischen Sicht- und Apsidenlinie ist wichtig, um die Konsequenzen der Abweichung von der „Normalkonstellation“ auf das Aussehen der Lichtkurve zu bestimmen. Im zweiten Versuchsabschnitt steht dann die Aufgabe, auf Grundlage der Simulation der vorgegebenen Lichtkurve eines unbekanntem Bedeckungsveränderlichen dessen Parameter zu bestimmen und den Stern letztlich zu klassifizieren. Der Umgang mit dem Simulationsprogramm erfordert die Anwendung der in der Grundlagenvorlesung erworbenen Kenntnisse zu **Bahnelementen von Doppelsternsystemen** und vertieft diese durch die anschauliche Sicht auf den Zusammenhang zwischen Bahnelementen und Lichtkurve.

#### 4.8 Erstellung und Interpretation von Polarisationskarten

Dieser Versuch repräsentiert einen modernen Zweig der Astrophysik – die **Polarimetrie**. Er komplettiert die im Praktikum betrachtete Vielfalt der Möglichkeiten der Informationsgewinnung aus der elektromagnetischen Strahlung der kosmischen Objekte.

Im Versuch werden Inhalte der Astrophysik aufgegriffen, die eher Stoff einer astrophysikalischen Spezialvorlesung und zum Teil Stoff von Vorlesungen der Experimentalphysik sind (kosmische Objekte mit polarisierter Strahlung, Polarisationsmechanismen, Messung der Polarisation, Beschreibung der Polarisation mit Hilfe der Stokes-Parameter, bipolare Reflexionsnebel, typische Muster in Polarisationskarten, ...). Womöglich fehlende Grundlagen gilt es daher durch eine ausführliche Darstellung im Praktikumsbuch (Reimann u. a. 2000) und durch eine **enge Praktikumsbetreuung** zu kompensieren. Ein zu Lehrzwecken erstelltes Computerprogramm (Döring, 1999), welches die Ausbreitung, die Transformation und die Analyse von polarisiertem Licht anschaulich simuliert, erleichtert den Studenten den Zugang zum Gebiet der Polarimetrie.

Aufgrund der Komplexität der Aufgaben findet dieser Versuch an zwei Praktikumstagen statt und zählt auch entsprechend doppelt. Zur Erstellung von Polarisationskarten bedarf es des Umgangs mit einer Reihe von Bildverarbeitungsrouitinen, deren Beherrschung es im Vorfeld zu erlernen gilt. Ziel des zweiten Versuchstages ist die **Erstellung und Anwendung eines kleinen Bildverarbeitungsprogramms**, das letztlich aus einer Reihe von nacheinander abzuarbeitenden Bildverarbeitungsrouitinen besteht.

Der Versuch basiert auf „Datenkonserven“, die zum Teil mit dem 3,5-m-Teleskop auf dem Calar Alto (Südspanien) gewonnen wurden. Die **Nutzung von Beobachtungsdaten der professionellen Astro-**

**nomie** gibt dem Praktikum eine offensichtliche Praxisnähe.

#### 5. Ausblick

Das Jenaer Astronomische Praktikum ist eine bewährte Lehrveranstaltung, die von der Tradition und von der Moderne lebt. Bewährt Lehrreiches wird fortgeführt, moderne Inhalte werden ergänzt oder im Austausch zu überkommenen eingefügt. Neue Versuche könnten z. B. den Blick auf die Astronomie bei anderen Wellenlängen (Allwellenastronomie) richten oder neuartige Möglichkeiten der Beobachtung mit ferngesteuerten Teleskopen nutzen. Aktuelle Ereignisse am Sternenhimmel wären auch Anlass zum Einschub passender Praktikumsprojekte.

In einer anderen organisatorischen Variante könnte das Astronomische Praktikum konzentriert als Blockpraktikum ablaufen. Der rote Faden im Praktikum käme dadurch weitaus besser zum Tragen, die Beobachtungen könnten ohne zeitliche Limitierung erfolgen, und wären nicht unbedingt auf einen Versuch beschränkt und es würde sofort Zeit für die Anfertigung der Protokolle zur Verfügung stehen. Das Blockpraktikum müsste in einem ca. zweiwöchigen Zeitraum während der vorlesungsfreien Zeit stattfinden. Hinsichtlich der Witterungs- und Helligkeitsverhältnisse bietet sich dazu der Monat September an (Nachtbeobachtung ab ca. 19.00 Uhr).

Die neuen Kommunikationsmöglichkeiten werden es den Studenten möglich machen, sich über das Stattfinden oder Nichtstattfinden einer Praktikumsveranstaltung zu informieren, so dass das Problem der verschiedenen Interpretation der Wetterverhältnisse gelöst werden kann.



**Abbildung 10:** Im Teleskop- und Gerätekontrollraum der Beobachtungsstation Großschwabhausen. Das Astronomische Praktikum läuft im engen Kontakt zwischen Betreuern und Studenten ab (rechts im Bild: der im Mai 2000 tödlich verunglückte Praktikumsleiter Hans-Georg Reimann).

## 6. Quellen und Literatur

- [1] Döring, R.: SIMPOL99, Simulationen zur Ausbreitung, Transformation und Analyse von polarisiertem Licht, Staatsexamensarbeit, FSU Jena, 1999
- [2] Reimann, H.-G., Fischer, O., Friedemann, Ch., Schielicke, R.: Kompendium für das Astronomische Praktikum, Universitäts-Sternwarte Jena, 2000, abrufbar unter:  
<http://www.astro.uni-jena.de/Sternwarte/presentation/pra2002/index.html>

*Der Autor widmet diesen Artikel seinem Kollegen Hans-Georg Reimann, Universitäts-Sternwarte Jena, der während einer Dienstreise im Auftrag der Europäischen Südsternwarte ESO in Chile tödlich verunglückte. Dr. Reimann leitete das Astronomische Praktikum seit mehr als zehn Jahren und entwickelte es in dieser Zeit maßgeblich weiter.*