

# Elektromagnetische Strahlung als Informationsquelle der Astronomen

Stefan Schmeja

Die elektromagnetische Strahlung stellt praktisch die einzige Informationsquelle der Astronomen/Astrophysiker dar. Im Gegensatz zum Experimentalphysiker, der in seinem Labor die gewünschten Objekte unter verschiedenen Bedingungen analysieren kann, kann der Astrophysiker seine Objekte weder direkt untersuchen, noch in irgendeiner Weise beeinflussen. Eine Ausnahme stellt die Planetologie dar, die jedoch auf Grund der Möglichkeit, die Planeten und Monde direkt zu besuchen und der dadurch engen Verbindung mit Geologie, Chemie etc. im Prinzip eine eigene Fachrichtung geworden ist.

Jahrtausende lang wurde lediglich das sichtbare Licht für astronomische Beobachtungen, anfangs mit bloßem Auge, später mit Teleskopen, verwendet. Erst mit den Theorien von Maxwell und Hertz ab Ende des 19. Jahrhunderts wurde klar, dass die damals entdeckten Strahlungsarten (Röntgenstrahlung, Radiowellen...) im Prinzip das selbe sind wie das sichtbare Licht und dieses lediglich einen kleinen Ausschnitt des elektromagnetischen Spektrums darstellt. Der größte Teil der aus dem Weltraum kommenden Strahlung wird freilich durch die Erdatmosphäre absorbiert und kann vom Erdboden aus gar nicht beobachtet werden. Die zwei Ausnahmen sind das optische Fenster im Bereich des sichtbaren Lichts und des nahen Infrarot (ca. 300 nm bis 20  $\mu\text{m}$ ) und das Radiofenster zwischen ca. 1 mm und 18 m (Abb. 1). Alle anderen Bereiche müssen mit Teleskopen außerhalb der Atmosphäre untersucht werden. Mit den zahlreichen Weltraumteleskopen steht den Astronomen mittlerweile das ganze Spektrum an elektromagnetischer Strahlung zur Verfügung.

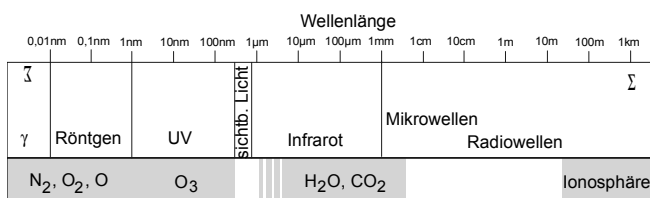


Abb. 1: Das elektromagnetische Spektrum und dessen Absorption durch die Erdatmosphäre (grau). Verantwortlich für die Absorption sind Atome und Moleküle bzw. die Ionosphäre.

## Forschungsmethoden

Um möglichst viel Information aus der Strahlung von astronomischen Objekten zu gewinnen, macht man sich die verschiedenen Eigenschaften der Strahlung zu Nutze. (Auf die Quantennatur des Lichts soll hier nicht näher eingegangen werden,

es werden auch die Begriffe "Licht", "Strahlung" und "Welle" mehr oder weniger synonym verwendet werden).

Eine der grundlegendsten Methoden der Astrophysik stellt die *Photometrie* (Helligkeitsmessung) dar. Als Helligkeit eines Objekts bezeichnet man seine Intensität bei einer bestimmten Wellenlänge. Die Differenz der Helligkeiten bei zwei unterschiedlichen Wellenlängen wird der Farbindex bzw. die Farbe eines Objekts genannt. Diese Farben sind oft charakteristisch für eine bestimmte Klasse von Objekten. Häufig werden die Farben und/oder Helligkeiten in einem Farben-Helligkeits-Diagramm oder Zwei-Farben-Diagramm aufgetragen, die zur Klassifikation dienen. Ein Beispiel ist das Hertzsprung-Russell-Diagramm, eines der grundlegendsten Werkzeuge in der Astronomie, um Evolutionsstadien von Sternen zu klassifizieren.

Das Prinzip der Interferenz von Wellen kann angewendet werden, indem zwei oder mehrere Teleskope zusammengeschaltet werden (*Interferometrie*). Wenn die Wellen die Teleskope in der selben Phase erreichen, verstärken sie einander, wenn sie in entgegen gesetzter Phase eintreffen, löschen sie sich aus. Das Prinzip findet v.a. in der Radioastronomie zur Verbesserung der Auflösung Anwendung. Das größte Instrument dieser Art ist das VLA (Very Large Array) in New Mexico (USA). Es besteht aus 27 Radioantennen mit jeweils 25 m Durchmesser, die in Y-Form angeordnet sind. Zusammengeschaltet erzielen sie die Auflösung eines Teleskops mit 36 km Durchmesser. Seit kurzem wird das Prinzip auch im optischen Bereich angewendet, z.B. bei den 4 Teleskopen des VLT (Very Large Telescope) der ESO in Chile. Wegen der kleineren Wellenlänge muss die Zusammenführung der Wellenzüge von den einzelnen Teleskopen mit wesentlich größerer Genauigkeit als im Radiobereich erfolgen. Wichtig für die Auflösung ist lediglich die Basislinie, also der Abstand zwischen den Teleskopen, die Fläche dazwischen braucht nicht ausgefüllt zu sein. Damit ergibt sich die Möglichkeit für große Abstände (Erddurchmesser, Satelliten in großen Entfernungen). In diesem Fall (genannt "very long baseline interferometry") werden die Instrumente nicht direkt zusammen geschaltet, sondern die Einzelmessungen werden mit Zeitmarken versehen und später korreliert.

Die wellenlängen-abhängigen Phänomene von Beugung und Brechung macht sich die *Spektroskopie* zu Nutze. Das Licht wird durch zweimalige Brechung in einem Prisma (in der Astronomie kaum verwendet) oder Beugung an einem Gitter spektral zerlegt. Die Spektren von astronomischen Objekten zeigen auf einem kontinuierlichen Hintergrund (Kontinuum) eine Anzahl von Linien (Abb. 2). Ein glühender fester oder flüssiger Körper oder Gase unter sehr hohem Druck erzeugen ein Kontinuum. Leuchtende Gase unter geringem Druck verursachen Emissionslinien, wobei jedes chemische Element ganz typische Linien hervorruft. Wenn das Kontinuums-Licht eines Objekts durch ein kühleres Gas läuft, kommt es zur Bil-

Mag. Stefan Schmeja, Institut für Astrophysik der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Technikerstr. 25, 6020 Innsbruck, stefan.j.schmeja@uibk.ac.at

Dieser Artikel ist eine Zusammenfassung des Vortrags, der bei der 55. Fortbildungswoche am 28.02.2001 in Wien gehalten wurde.

Die Unterlagen des Vortrags (mit zahlreichen Illustrationen) sind abrufbar unter: <http://astro.uibk.ac.at/~schmeja>



gebnis mitteln. Mit Hilfe der Dispersion kann  $\Delta\lambda$  von nm in Å umgerechnet werden. Aus der Dopplerformel ergibt sich

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c,$$

wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist ( $3 \cdot 10^8$  m/s).

Da wir die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen dem östlichen und dem westlichen Saturnrand (also von  $-v_r$  bis  $+v_r$ ) gemessen haben, muss das Ergebnis halbiert werden. Ein weiterer Faktor  $\frac{1}{2}$  ist anzubringen, weil Saturn das Licht nicht selbst emittiert, sondern Sonnenlicht reflektiert, das bereits beim Auftreffen auf Saturn Doppler-verschoben wurde.

Für die Rotationsgeschwindigkeit des Saturn erhalten wir also:

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{4\lambda} c$$

Mit dem Radius des Saturn (60 000 km) und der Formel  $T = 2\pi r/v_r$  lässt sich schließlich die Rotationsperiode des Planeten berechnen. (Der tatsächliche Wert beträgt ca. 10,5 Stunden am Äquator.)

**3. Übung:** Abschätzung der Masse des Saturn aus der Rotationsgeschwindigkeit des Ringes. Wegen der oben gezeigten Kepler-Rotation des Ringes lässt sich das dritte Kepler'sche Gesetz anwenden:

$$M = \frac{v_r^2}{G}$$

mit  $G$  als Gravitationskonstante ( $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ sec}^{-2}$ ).

Die Linienverschiebung kann wieder wie oben berechnet werden, der mittlere Radius des Ringes beträgt etwa 110 000 km. Der tatsächliche Wert der Saturnmasse beträgt  $5,7 \cdot 10^{26}$  kg.

## Astronomie und Navigation

### 4. Sommerschule der EAAE in Tavira (Portugal), 3. - 8. Juli 2000

Arntraud Bacher

Stellen Sie sich vor, Sie sind irgendwo weit draußen im Meer auf einer kleinen Insel oder auf einem Schiff. Sie kennen die geographischen Koordinaten ihres Ziels, nicht aber die des aktuellen Aufenthaltsortes. Noch dazu hat das GPS seinen Geist aufgegeben. Was tun?

Diese und andere Fragen wurden letztes Jahr auf der Sommerschule der EAAE beantwortet, und zwar mit Ideen, wie diese Themen im Schulunterricht durchgenommen werden können.

EAAE steht für *European Association for Astronomy Education*. Diese Vereinigung hat es sich zum Ziel gesetzt, Astronomie in der Bildung zu fördern. Es sind mehrere Arbeitsgruppen eingerichtet, die sich mit verschiedenen Themen befassen, wie astronomische Konzepte, didaktisches Material, usw. Das Gebiet der Arbeitsgruppe 3 ist die Lehrerfortbildung. Rosa M. Ros aus Spanien leitet diese Gruppe und organisiert mit anderen Mitgliedern der EAAE seit vier Jahren eine einwöchige Sommerschule.

Diese Sommerschule hat einerseits das Ziel, dass Personen, die in irgendeiner Weise - sei es in der Schule oder in anderen Bildungseinrichtungen - Astronomie unterrichten, ihre Erfahrungen austauschen können. Andererseits will die Sommerschule Lehrern naturwissenschaftlicher Fächer helfen, sich astronomische Grundlagen anzueignen und Ideen für eine Einbindung der Astronomie in ihr Unterrichtsfach zu sammeln. In wenigen Ländern gibt es einen eigenen Astronomieunterricht.



Abb. 1: Quadrant

Astronomische Themen werden daher meist in anderen naturwissenschaftlichen Fächern untergebracht.

Nach Spanien, Italien und Frankreich war heuer Portugal Gastgeber.

Der Ort der Veranstaltung war Tavira, ein Städtchen an der Algarve. Der Unterricht fand in der Mittelschule der Stadt statt. Die Teilnehmer setzten sich zusammen aus Lehrern und Personen, die sich mit Astronomie in der Ausbildung beschäftigen, z.B. Professoren von Universitäten. Die Teilnehmer kamen aus den verschiedensten Ländern Europas wie Frankreich, Spanien, Lettland - um nur einige zu nennen - und aus Brasilien angereist. Ich selbst habe Mathematik und Physik

(Lehramt) studiert und beginne eine Doktorarbeit im Bereich Didaktik der Physik und Astrophysik. Bereits bei der 3. Sommerschule hatte ich viel Neues gelernt und sehr viele Ideen für meinen zukünftigen Unterricht erhalten. Ich konnte auch wichtige Kontakte knüpfen, die mir speziell während meiner Dissertation sehr von Nutzen sein werden. Deshalb entschloss ich mich, auch dieses Jahr an der Veranstaltung teilzunehmen. Wie schon im letzten Jahr war ich wieder die einzige österreichische Teilnehmerin.

Der Tagesablauf war folgender: Um 8 Uhr morgens gab es Frühstück, danach der Bustransfer zur Mittelschule. Zwei Unterrichtseinheiten zu je eineinhalb Stunden am Vormittag, dann Mittagessen in der Kantine. Zum Leidwesen mancher Teilnehmer wurde die Siesta nicht praktiziert, und gleich nach dem Essen folgten zwei weitere Unterrichtseinheiten und dann der Transfer zurück zum Hotel. Um 19 Uhr fanden wir uns zum Abendessen ein, danach fanden Himmelsbeobachtungen statt.

Für den unterrichtsfreien Tag war eine Bootsfahrt entlang der Algarve organisiert. Vielen Touristen an Bord, die nicht zur Sommerschule gehörten, werden die Leute in Erinnerung bleiben, welche sich mit "eigenartigen" Geräten beschäftigten. Diese Geräte waren Quadrant und Jakobsstab, mit denen wir die Höhe der Sonne über dem Ozean bestimmten.

In einem Workshop zu Beginn der Woche erklärte uns der spanische Lehrer Simon Garcia die Funktionsweise dieser Geräte und wie man sie selbst nachbauen konnte. Abb. 1 zeigt einen Quadranten. Man visiert einen Stern durch die beiden Metallplättchen an, welche ein kleines Loch in der Mitte haben. Am Faden hängt ein Gewicht, das den Gesetzen der Schwerkraft folgend immer zum Erdmittelpunkt zeigt. An der Skala am Außenrand des Viertelkreises kann man dann die Höhe des Sternes über dem Horizont in Grad ablesen. Will man die Höhe der Sonne über dem Horizont bestimmen, so ist es nicht ratsam, mit den Augen durch die Metallplättchen durchzusehen. Als Hilfsmittel verwendet man z.B. ein Blatt Papier oder die eigene Hand, wie es in Abb. 1 zusehen ist.

Das Gerät ist für Schüler leicht nachzubauen. Man braucht ein Stück Holz, aus dem man einen Viertelkreis ausschneidet. Die Skala von 0 bis 90 Grad ist leicht einzuzeichnen. Wichtig ist, dass bei Plättchen, ob sie aus Metall oder Karton sind, spielt keine Rolle, das Loch an derselben Stelle haben. Ein Faden mit einem Gewicht dran ist schnell angebracht und fertig ist der Quadrant.

Der Jakobsstab ist ein weiteres Instrument zur Bestimmung der Höhe eines Sterns über dem Horizont. In Abb. 2 wird die Verwendung vorgeführt. Der Querstab ist verschiebbar. Er wird so lange hin und her geschoben, bis sein unterer Rand auf den Horizont weist und der obere zum Stern. Der Stab selbst ist sozusagen die Winkelhalbierende. Auf ihm ist die Höhe des Sterns ablesbar. Wieder ist die Beobachtung der Sonne mit Vorsicht durchzuführen. Ein Jakobsstab kann auch zur Winkelabstandsmessung zwischen zwei Sternen verwendet werden, wie man ebenfalls in Abb. 3 sehen kann.

Die weiteren Unterrichtseinheiten waren Workshops, die von verschiedenen Lehrern abgehalten wurden. Zusätzlich fanden Diskussionen, Posterpräsentationen und - wie schon oben erwähnt - Beobachtungen des Sternenhimmels statt.



Abb. 2: Bestimmung der Sonnenhöhe mit dem Jakobsstab

Die Eröffnungsvorlesung hatte historischen Charakter. Professor Agostinho aus Lissabon erzählte von den Anfängen der Ortsbestimmung auf See und untermalte seine Worte mit passenden Bildern. Er zeigt auch die Probleme auf, welche die Seefahrer vor einigen Jahrhunderten zu bewältigen hatten und an die heute keiner mehr denken würde. Z. B. waren lange Zeit Sanduhren, die alle halben Stunden umgedreht werden mußten, die einzige Möglichkeit für eine ungefähre Zeitbestimmung an Bord. Doch war es garantiert, dass diese wirklich alle halben Stunden umgedreht wurden? Laut Schiffsaufzeichnungen sollen manche Nächte auf stürmischer See nur vier Stunden gedauert haben.

Die Leiter der Workshops waren in der Regel Lehrer eines naturwissenschaftlichen Faches, die als einen ihrer Unterrichtsschwerpunkte die Astronomie gewählt haben. Viele von ihnen leiten an ihrer Schule auch Zusatzkurse über dieses Themengebiet. Während den anderthalb Stunden, stellten sie Projekte vor, die sie selbst bereits durchgeführt hatten.



Abb. 3: Alte Zeichnung, welche die Verwendung des Jakobsstabes demonstriert (aus: <http://www.akg.de/astro/text/228684.htm>)

Irma Hannula und Sakari Ekko, beide aus Finnland, stellten die Konstruktion eines Modells des Tierkreiszeichen-Erde-Sonne-Systems vor. Dazu teilten sich die Teilnehmer in 12 Gruppen auf. Jede Gruppe wählte sich ein Tierkreiszeichen und erhielt dazu eine Zeichnung aus dem Mittelalter, welche die zugehörige Sternkonstellation zur damaligen Zeit darstellte. Diese wurde auf ein weißes Papier abgepaust. Auf einer Overheadfolie hatten wir die Sternkonstellationen der Tierkreiszeichen von heute zur Verfügung. Mit Hilfe des Overheadprojektors und der Tafel brachten wir die beiden Bilder übereinander. Wir stellten fest, dass die Sternabstände sich verändert haben.

Als weiteren Teil der Aufgabe stellten sich Vertreter jeder Gruppe mit dem abgepausten Blatt Papier in einem Kreis auf

und zwar so, wie die Tierkreiszeichen einander am Himmel folgen. Ein weiterer Teilnehmer stellte die Sonne dar und stellte sich in den Mittelpunkt des Kreises, ein anderer Teilnehmer durfte die Erde darstellen. Dieser ging innerhalb des gebildeten Kreises auf einer Kreisbahn um die "Sonne" herum. Und wenn er stehen blieb, waren die Teilnehmer dazu aufgefordert, das Sternzeichen zu bestimmen. Dieser Unterrichtsvorschlag eignet sich besonders für jüngere Schüler, um ihnen anschaulich näher zu bringen, was hinter der Aussage "Ich wurde im Sternzeichen X geboren." steckt.

In Abb. 4 sieht man Roland Boninsegna aus Belgien, wie er eine Methode zur Bestimmung von Norden und Süden demonstrierte. Ein etwa 2,5 m langer Stab wird so fixiert, dass er nicht umfallen kann. Man nimmt ein Stück Schnur und steckt ein Stück Kreide dran. Über die Mittagzeit beobachtet man den Schatten des Stabes. Eine halbe bis eine dreiviertel Stunde vor Sonnenhöchststand markiert man das Ende des Schattens und zeichnet einen Halbkreis mit der Schattenlänge als Radius. Man wartet bis der Sonnenhöchststand vorüber ist und der Schatten wieder die Länge des Kreisradius hat. Diese Stelle markiert man wieder. Die Streckensymmetrale der Verbindungslinie beider markierten Punkte weist die Nord-Süd-Richtung auf. Wählt man den Zeitpunkt zu kurz vor dem Sonnenhöchststand, so ist die Strecke relativ kurz und die Ungenauigkeit wird dadurch größer.



Abb. 4: Bestimmung der Nord-Südrichtung

Ich möchte hier kurz die Inhalte von einigen weiteren Workshops vorstellen:

- Wie man mit einem 2,5m hohen Stab und wenigen anderen einfachen Hilfsmitteln durch die Beobachtung nur eines Sternes die geographischen Koordinaten des Beobachtungspunktes ermitteln kann.
- Wie funktioniert ein GPS?

- Herstellung von 3D-Modellen verschiedenster Sternbilder. Dadurch fällt es den Schülern leichter festzustellen, dass helle Sterne nicht unbedingt näher sein müssen.
- Herstellung eines Sonnenbewegungsemonstrators und welche Fehlvorstellungen von Schülern bei Verwendung dieses Geräts ausgelöscht werden können.
- Vorstellung von Modellen, die das Verstehen der Gezeitenbewegung erleichtern.

Zentrales Thema jeder Unterrichtseinheit war natürlich: Wie kann man das in den Unterricht einbringen? Welche Erfahrungen haben die Lehrer selbst damit gemacht? Was hat den Schülern große Schwierigkeiten bereitet?

Die Vorlesung am Ende der Schule hielt Herr Vena von der ESA (European Space Agency). Er stellte die verschiedensten Weltraummissionen vor. Leider ging er nicht auf die Bildungsprogramme der ESA ein, was die Zuhörer besonders interessiert hätte, aber er bot uns an als Vermittler zu wirken, falls wir Informationen für die Schule benötigen würden.

Viele Teilnehmer stellten Poster über eigene astronomische Aktivitäten mit Schülern aus. Ich brachte ein Poster über meine Tätigkeit beim Projekt *EducationalPackage* der Mondmission *LunarSat* mit.

Die Beobachtungen fanden an zwei Abenden im Observatorium von Tavira statt. Alexandre de Costa von der Arbeitsgruppe 3 stellte noch zwei weitere Teleskope zur Verfügung und erklärte Interessierten die Handhabung des Geräts. Im Observatorium gibt es auch ein Planetarium, wo Führungen stattfanden. An den anderen Abenden beobachteten wir in der Nähe des Hotels mit freiem Auge.

Die Inhalte der Vorlesungen und der Workshops sowie die Zusammenfassungen der Poster wurden in einem Tagungsband veröffentlicht, den jeder Teilnehmer zu Beginn der Woche erhielt.

Für nähere Informationen über die EAAE und ihre Aktivitäten besuchen Sie die EAAE-Homepage (<http://www.astro-eaae.org/>) oder kontaktieren Sie den nationalen Vertreter ihres Staates, welcher ebenfalls auf der EAAE-Homepage zu finden ist. Im Jahre 2003 wird die Sommerschule in Österreich stattfinden.

Am Ende meines Berichts möchte ich allen InstruktorInnen für die interessanten Workshops und Vorlesungen danken. Mein spezieller Dank gilt Rosa M. Ros und Felisbela Martins, den HauptorganisatorInnen und Hauptverantwortlichen dieser Sommerschule.