

BEITRAG AUS DER REIHE:

Karl-Heinz Lotze, Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik Band 5 Naturphänomene und Astronomie

ISBN 3 - 7896 - 0666 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 2002

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Helmut Zimmermann

Warum Astronomieunterricht in den Schulen?

1 Allgemein Astronomie im Unterricht

Im Schulunterricht müssen, wenn er irgendwelche Beziehungen zum Leben haben soll, einige elementare astronomische Phänomene besprochen und erklärt werden, zum Beispiel der Wechsel von Tag und Nacht, der Phasenwechsel des Mondes, der Wechsel der Jahreszeiten oder auch, weshalb es nur gelegentlich zu Sonnen- und Mondfinsternissen kommt. Es sind dies von jedermann wahrnehmbare und wahrgenommene Naturerscheinungen, denen rein astronomische Vorgänge zugrunde liegen. Diese Erscheinungen sollten und werden ja wohl auch im obligatorischen Schulunterricht in den unteren Klassenstufen besprochen. Vielfach geschieht das innerhalb eines übergreifenden Faches, etwa „Heimatkunde“. Dabei scheint mir wesentlich zu sein, dass bei den Schülern die Erkenntnis geweckt wird, dass die Erde nicht allein in der Welt existiert - Welt im umfassendsten Sinn verstanden -, sondern dass Sonne und Mond wie die Erde auch materielle Körper sind, Himmelskörper, die in ihren Bewegungen bestimmten Regeln, Gesetzen, unterworfen sind, und dass diese Gesetze erkannt und aus den Beobachtungen hergeleitet werden können. Das Ziel derartiger Betrachtungen sollte sein, dass die Schüler wenigstens andeutungsweise eine Vorstellung von der Welt außerhalb der Erde gewinnen.

Über diese leicht zu verstehenden und leicht zu erklärenden astronomischen Erscheinungen hinaus gibt es unvergleichlich mehr weiterführende und tieferliegende astronomische Phänomene und Probleme, die außerordentlich interessant und vor allem lehrreich sind. Auch wenn von ihnen in den Schulen nur ein kleiner Bruchteil behandelt werden kann, sollte darauf auf keinen Fall verzichtet werden. Die Schüler haben - davon bin ich überzeugt - einen Gewinn, einen geistigen Gewinn davon. Die Blickweise auf die Welt, in der wir leben, und die Vorstellungen von ihr - also die „Welt-Anschauung“ im ursprünglichen Sinn des Wortes - werden ganz wesentlich geformt und erweitert.

Es ist kaum anzunehmen, dass in den Grundschulen diese tiefergehenden astronomischen Probleme, an die ich denke, behandelt werden können. Die folgenden Bemerkungen beziehen sich daher im wesentlichen auf höhere Klassenstufen innerhalb der weiterführenden Schulen.

2 Astronomie ein Bildungsziel?

Wenn man sich, wie es gelegentlich geschieht, auf den Standpunkt stellt, die Schule sollte im wesentlichen der Vorbereitung auf das spätere berufliche Leben dienen, dann wird man von der Besprechung komplizierterer astronomischer Themen kaum etwas halten. Wann braucht ein Normalsterblicher in seinem Berufsleben schon einmal astronomische Kenntnisse? Wenn als Kriterium für ein Schul-

fach allein die Anwendbarkeit für das spätere Berufsleben gelten sollte, könnte man auch auf Fächer wie Musik, Kunsterziehung oder Literaturgeschichte verzichten, denn Kenntnisse über diese Gebiete werden im späteren Berufsleben gleichfalls kaum gebraucht.

Der Verzicht auf derartige allgemeinbildende Fächer kann keine Frage sein. Das Bildungsziel unserer Schulen sollte ganz generell mehr als nur die kurzfristige Nützlichkeit für ein künftiges Berufsleben sein, zumal sich die Berufsbilder rasch und immer rascher ändern. (Dies scheint im übrigen kein spezielles Phänomen unserer Zeit zu sein. Anscheinend hatte man auch schon früher diesen Eindruck. Unlängst fand ich folgendes Zitat aus den „Wahlverwandtschaften“: „Es ist schlimm genug..., dass man jetzt nicht mehr für sein ganzes Leben lernen kann. Unsere Vorfahren hielten sich an den Unterricht, den sie in ihrer Jugend empfangen; wir aber müssen jetzt alle fünf Jahre umlernen, wenn wir nicht ganz aus der Mode kommen wollen.“

Auch schon vor 190 Jahren hatte man offenbar den Eindruck, dass das Schulwissen in sehr kurzer Zeit veraltet. Wenn man daher über das zu lehrende Wissen nachdenkt, sollte man grundsätzlich die Zukunft im Auge haben.) Es liegt mir fern, hier auf eine Diskussion über Bildungsideale und Bildungsziele einzugehen, also darüber, was ein durch die Schule „gebildeter“ junger Mensch unserer Tage wissen und können sollte, um auf das spätere Leben „vorbereitet zu sein“, wie es so schön heißt. Zweifellos ist es eine unverzichtbare Aufgabe der Schule, die Schüler und Schülerinnen mit den Grundlagen bekannt und vertraut zu machen, die unser Leben ganz wesentlich bestimmen.

Ohne die Bedeutung der Geistes- und Sozialwissenschaften im geringsten zu unterschätzen, bin ich der Meinung, dass den Naturwissenschaften in dieser Hinsicht eine große und immer größer werdende Bedeutung zukommt. Physik, Chemie, Biologie und die Mathematik spielen heute eine geradezu überragende Rolle in unserem Leben und werden das auch in Zukunft tun. Besonders für Deutschland, einem an natürlichen Rohstoffen armen Land, stellen die geistigen Fähigkeiten der Menschen einen überaus kostbaren Fundus dar, der bereits in der Schule erschlossen werden sollte.

Das Ziel muss sein, junge Menschen zu befähigen, ihre geistigen Möglichkeiten und Fähigkeiten möglichst umfassend nutzen und anwenden zu können. Wir leben im Übergang von einer Industriegesellschaft zu einer Wissensgesellschaft, was in einer veränderten Form der Wertschöpfung deutlich wird. Wir sind auf Innovationen in Wissenschaft und Technologie angewiesen, um nicht nur für uns, sondern vor allem für unsere Kinder und Enkel die materiellen Voraussetzungen für ein gesichertes Leben zu erhalten. Die Naturwissenschaften spielen dabei eine herausragende Rolle. Das naturwissenschaftliche Denken muss deshalb ganz allgemein gestärkt werden.

3 Weshalb gerade Astronomie?

In der „Third International Mathematics and Science Study“ (TIMSS) von 1997 wurden die Leistungen in Mathematik und den naturwissenschaftlichen Fächern von Schülern und Schülerinnen aus verschiedenen Industrieländern miteinander verglichen. Danach kommt unseren Schulen nur ein mäßiger mittlerer Platz zu. Das recht ernüchternde Urteil gilt auch für die Physik, für die, wie die Studie feststellt, nur eine geringe Akzeptanz in unserer Gesellschaft vorhanden ist. Das Interesse an Physik sei, so die Studie, deutlich geringer als an Mathematik und Biologie und nimmt ab der 7. Klasse spürbar ab. Unter anderem wurde als ein Mangel angesehen, dass unsere Schüler Schwierigkeiten beim Erkennen mathematischer Strukturen in neuen Kontexten haben. Wenn das Urteil richtig ist, und mir sind keine gravierenden Gegenargumente bekannt, muss es unsere Aufgabe sein, dem entgegenzuwirken und die Physik - zum Beispiel mit Hilfe der Astrophysik - für die Schüler so attraktiv wie nur irgend möglich zu machen. Das Nachdenken über astrophysikalische Probleme beinhaltet, dass sich die Schüler mit neuen physikalischen Gegebenheiten auseinandersetzen müssen, deren Beschreibung auch neue mathematische Ansätze erfordert. Das Einbeziehen astrophysikalischer Themen in den Unterricht ist also geeignet, genau das zu überwinden, was als ein Mangel unseres gegenwärtigen Physikunterrichts empfunden wird.

4 Astronomieunterricht machbar?

Für die Naturwissenschaften und die Mathematik hat die Schule eine Schlüssel-funktion. Versäumnisse in diesen Fächern werden später nur relativ selten ausgeglichen. Wir sollten daher für eine möglichst effektive Stärkung der Naturwissenschaften ganz allgemein, über die Stärkung des Physikunterrichts hinaus, sorgen. Sollte dabei auch die Astronomie, diese doch recht brotlose Kunst, einbezogen werden? Zunächst eine Erfahrung hinsichtlich der Machbarkeit: In den „Neu-Bundesländern“ war Astronomie in DDR-Zeiten über Jahrzehnte selbständiges Unterrichtsfach, in den meisten dieser Länder ist sie es auch noch jetzt. Den Streit im nachhinein darüber, ob allein fachliche oder auch oder nur ideologische Gründe für die Einführung der Astronomie in den Schulen der DDR maßgebend waren, halte ich für wenig fruchtbar. Wichtig ist: Jahrzehntelange Erfahrungen lehren, dass Astronomie in der Schule durchaus - auch als selbständiges Fach - angesiedelt werden kann. Astronomie als Schulfach ist möglich.

5 Welche Begründung für den Astronomieunterricht?

Die positiven Erfahrungen bezüglich des Astronomieunterrichts in unseren Schulen entheben uns nicht der Pflicht, darüber nachzudenken und kritisch zu prüfen, ob Astronomie in Zukunft weiterhin gelehrt beziehungsweise neu eingeführt werden soll. Als Begründung für die Beibehaltung oder Neueinführung kann man etwa Friedrich Adolf Diesterweg zitieren. Er meinte: „Kein Schüler sollte die Schule verlassen, ohne einige grundlegende Kenntnisse über den Himmel zu bekom-

men.“ Dabei soll hier nicht untersucht werden, was Diesterweg unter „grundlegenden Kenntnissen“ verstand und was „grundlegende Kenntnisse“ heute, 150 Jahre später, sind. Zur Begründung des Astronomieunterrichts kann man auf die herausragende Rolle der Astronomie hinweisen, die sie unter den Naturwissenschaften gespielt hat und noch spielt. Etwa im vorigen Jahrhundert, als sie aus den Beobachtungen der Bewegung bekannter Planeten unter Anwendung physikalischer Gesetze auf das Vorhandensein eines weiteren, bisher unbekanntes Planeten schloss und dieser am vorberechneten Ort tatsächlich gefunden wurde. Welch ein Triumph für die Theorie!

Man kann genauso auf herausragende wissenschaftliche Leistungen in unserem Jahrhundert verweisen, zum Beispiel auf die enorme Erweiterung des durch Beobachtungen erfassten Raumes, als es gelang, die Entfernungen extragalaktischer Objekte zu bestimmen. Man kann auf die unser Weltbild revolutionierende Entdeckung verweisen, dass das Weltall als Ganzes expandiert, dass es sich verändert, es also eine „Geschichte“ hat - so wie alle Dinge in ihm. Es existiert nicht schon seit aller Ewigkeit, sondern hat ein Alter, wobei man dieses zwar noch nicht mit der erstrebenswerten Genauigkeit, aber doch innerhalb gewisser Fehlergrenzen angeben kann.

Zur Begründung einer stärkeren Verankerung des Astronomieunterrichts in unseren Schulen ließe sich die Liste herausragender astronomischer Erkenntnisse beliebig verlängern. Erkenntnisse, die unsere Vorstellungen vom Weltall sowie von der Vielfalt der vorhandenen Körper und Felder sowie der sich abspielenden Prozesse enorm erweitert und unsere „Welt-Sicht“ bzw. „Welt-Erkenntnis“ verändert haben. So berechtigt es ist, auf die bisher erbrachten Leistungen der Astronomie hinzuweisen, als eine überzeugende Begründung für mehr Astronomieunterricht in unseren Schulen scheint mir dies nicht zu genügen. Die Begründungen sollten weniger rückgewandt, mehr auf die Zukunft gerichtet sein, die Zukunft unserer Kinder und Enkel. Die gegenwärtige Astronomie ist vor allem Astrophysik, sie wird es auch in Zukunft sein. Astrophysik ist die Anwendung der in irdischen Labors entdeckten physikalischen Gesetze auf außerirdische Objekte. In der Astrophysik zeigt sich die umfassende Gültigkeit dieser Gesetze in Raum und Zeit. Damit ist etwas über die Einordnung der Astrophysik in den großen Bereich der Naturwissenschaften gesagt wie auch etwas über ihre erkenntnistheoretische Bedeutung.

Physikalische Gesetze beruhen auf einer Verallgemeinerung von Beobachtungen und stellen theoretische Zusammenfassungen bestimmter Erkenntnisse dar. Wir sprechen dann von Gesetzen, wenn die erkannten Zusammenhänge allgemeingültig sind und neue, bisher nicht deutbare Phänomene erklärt werden können. Die Allgemeingültigkeit wird meist stillschweigend als gegeben angesehen. Die Astronomie aber ist in der Lage, den Beweis zu erbringen, dass es sich bei den auf der Erde gefundenen physikalischen Gesetzen um Gesetze handelt, die unabhän-

gig von Raum und Zeit Gültigkeit besitzen: Bei allen Untersuchungen setzt die Astronomie die Allgemeingültigkeit voraus und die erzielten Erfolge beweisen die Berechtigung dieser Annahme. Beim Besprechen astrophysikalischer Probleme im Unterricht erfahren junge Menschen also etwas, was über die begrenzten irdischen und zeitlichen Erfahrungen hinausreicht: Die im Weltall ablaufenden physikalischen Prozesse gehorchen Gesetzen, die der Mensch auf Grund seiner geistigen Kräfte zu erkennen in der Lage ist. Möglicherweise ist noch beeindruckender: Auf Grund der aus Laborbeobachtungen hergeleiteten Gesetze lässt sich auch die Entwicklung von Himmelskörpern bestimmen, obwohl diese sich unseren unmittelbaren, direkten Untersuchungen entziehen. Es lässt sich sogar die Entwicklung des Weltalls als Ganzes untersuchen und angeben. Wenn in anderen Wissenschaften von Entwicklung gesprochen wird - in diesem Zusammenhang verstanden als irreversible Zustandsänderung eines Einzelobjekts -, können im allgemeinen nur qualitative Veränderungen aufgezeigt werden. Die Astronomie kann im Gegensatz dazu auch quantitative Veränderungen angeben. Sie nimmt damit eine hervorragende Rolle unter den Wissenschaften ein. Ein weiteres Argument: Die physikalischen Zustände, die wir auf der Erde antreffen und in den Labors verwirklichen können, überdecken jeweils eine bestimmte Spanne. In einem Labor werden gezielte Fragen an die Natur gestellt, indem man bestimmte Größen einer physikalischen, chemischen oder auch biologischen Anordnung verändert und sieht, was sich ergibt. Gerade das ist dem Astronomen verwehrt: Er kann nur observieren, nicht experimentieren. Im Weltall aber, das manchmal, meiner Meinung nach zu unrecht, als Labor bezeichnet wird, ist die Spannweite der physikalischen Zustände im allgemeinen um ein Vielfaches größer als im Labor realisierbar, dies sei am Beispiel Dichte erläutert: Beim besten bisher im Labor erreichten Vakuum befinden sich rund 100 000 bis 200 000 Atome in einem Kubikzentimeter, im interstellaren Raum ist es im Mittel hingegen nur ein einziges Atom, im intergalaktischen Raum sind es noch viel weniger. Das Element mit der höchsten Dichte von $22,5 \text{ g/cm}^3$ ist Osmium, in den Weißen Zwergen erreichen die Dichten etwa 10^6 g/cm^3 , in Neutronensternen sogar bis zu 10^{15} g/cm^3 .

Ob man z.B. Temperaturen, Energiedichten, Magnetfeldstärken etc. betrachtet, die im Weltall herrschenden Bedingungen sind im Vergleich zu den irdischen vielfach extrem anders. Das erfordert ein Nachdenken, ein Umdenken, auch ein Neudenken bezüglich der Gesetze, mit denen diese physikalischen Zustände beschrieben werden müssen. Dass eine Beschreibung gelingt, dass vernünftige, wohlbegründete Aussagen gemacht werden können, zeigt die Kraft der auf der Allgemeingültigkeit beruhenden physikalischen Prinzipien. Auch für chemische Gesetze gilt die Allgemeingültigkeit im hier gemeinten Sinn, was durch astrophysikalische Beobachtungen gezeigt wird.

Noch nicht gelungen ist dieser Beweis für allgemeine Lebensprozesse. Sie gehen von physiko-chemischen Prozessen aus und sollten gleichfalls allgemein in Raum

und Zeit gelten. Man hat daher auch kaum Zweifel, dass es Leben nicht nur auf der Erde gibt. Die Entwicklungsstufe ist dabei gleichgültig, es kann sich um ganz einfache, primitive Lebensformen handeln, es können aber auch irgendwo im Weltall höhere Lebensformen existieren. Die Suche nach außerirdischem Leben ist Aufgabe der Astronomie. Sollte es gelingen, extraterrestrisches Leben definitiv nachzuweisen, wäre dies von außerordentlicher Bedeutung und würde unsere Anschauungen über die uns umgebende Welt grundlegend beeinflussen. Die Astronomie wird mithin ihre Eigenschaft als eine unsere „Welt-Anschauung“ wesentlich beeinflussende Wissenschaft auch in Zukunft behalten.

Astrophysikalische Phänomene sind schwieriger zu verstehen als die eingangs genannten elementaren astronomischen Erscheinungen. Sie stellen für die Schüler wesentlich höhere Herausforderungen dar und können nur erfasst werden, wenn ein breites, hauptsächlich physikalisches und mathematisches Grundwissen vorhanden ist. Andererseits: Mit der Etablierung der Astrophysik im Unterricht ist die Möglichkeit gegeben, Kenntnisse in anderen Fächern - zum Beispiel in Physik und Mathematik - zu rekapitulieren, zu vertiefen und ihnen neue hinzuzufügen. Wenn die Astrophysik verstärkt in unseren Schulen Eingang findet, dann sollte sie als übergreifendes Fach aufgefasst und unterrichtet werden. Der Unterricht sollte nicht allein der Vermittlung astronomischer Sachkenntnisse dienen, er sollte problemorientiert sein, was die Einbeziehung auch nicht-naturwissenschaftlicher Kenntnisse etwa geschichtlicher oder philosophischer Art einschließt. Die enge Verknüpfung einer Wissenschaftsdisziplin mit anderen ist ein wesentliches Charakteristikum einer modernen Wissenschaft, speziell einer modernen Naturwissenschaft.

Die Astrophysik, in diesem Sinne in unseren Schulen etabliert, kann den Schülern vor Augen führen, welche Tendenzen in den Naturwissenschaften der Gegenwart vorherrschen. Ein weiterer Pluspunkt für die Astronomie ist, dass neben der Vermittlung von Sachkenntnissen es eine Hauptaufgabe unserer Schulen ist, den Schülerinnen und Schülern das Denken zu lehren, unter anderem also das möglichst selbständige Erfassen von Problemen und komplexen Zusammenhängen sowie das Erkennen, wie Informationen und vorhandene Sachkenntnisse zum Bearbeiten und Lösen von neuen Problemen genutzt werden können. In keinem Fach könnte dies besser gelingen als in einem, das als übergreifend auf viele angrenzende Gebiete gelehrt wird. Der Astronomieunterricht ist damit keine Ausbildung am Arbeitsmarkt vorbei - ein Vorwurf, der unseren Schulen und Hochschulen gern gemacht wird. Im Gegenteil, ein Fach, in dem das Auseinandersetzen mit zunächst ungewohnten Vorstellungen und das Einbeziehen von Sachkenntnissen aus unterschiedlichen Fächern fast selbstverständlich ist, bildet für die Wissensgesellschaft, damit für den Arbeitsmarkt der Zukunft aus. Astronomieunterricht spielt auch in dieser Hinsicht keine unwichtige Rolle.

Schließlich noch ein Punkt, den ich persönlich für wichtig halte: Die Schule sollte

auch die Freude vermitteln und wecken, die das Nachdenken über und die Lösung von Problemen bereitet. Das gelingt sicher am besten dann, wenn Schülerinnen und Schüler sich mit Dingen beschäftigen, die sie interessieren und möglichst faszinieren. Das trifft, wie ich meine, auf astronomische Dinge recht häufig zu. Nutzen wir diese Chance! Bereiten wir den Schülern Freude am Unterricht!

6 Astronomie als übergreifendes Fach

Ich habe bisher reichlich abstrakt den übergreifenden und gleichzeitig integrierenden Charakter der Astrophysik betont, ohne dies tiefer zu begründen. Ein Beispiel soll zeigen, was ich darunter verstehe. Es ließen sich viele sehr attraktive andere Beispiele anführen, doch scheint mir bei dem hier gewählten das, was ich darstellen will, recht überzeugend zum Ausdruck zu kommen. Das Beispiel ist dabei keinesfalls als so etwas wie eine Vorlage für eine Unterrichtsgestaltung gedacht. Es berücksichtigt weder die in einem bestimmten Schultyp und in einer bestimmten Klassenstufe vorhandenen physikalischen und mathematischen Kenntnisse, noch berücksichtigt es in irgendeiner Weise die verfügbare Zeit. Es soll nur die vielen Möglichkeiten zeigen, die es gibt, von Alltagsproblemen auf astronomische Fragen und von diesen auf Probleme in anderen Wissenschaftsbereichen zu kommen. Es soll auf Beispiele von Querverbindungen aufmerksam machen und wie sich an astrophysikalischen Fragestellungen andere Gedankengänge anfügen lassen.

Als Einstieg soll das Energieproblem dienen, ein Alltagsproblem, das wahrscheinlich mit zu den auch für junge Menschen wichtigen Gegenwarts-, vor allem auch Zukunftsproblemen gehört. Die Ausgangsfrage könnte sein: Auf welche Energiequellen greifen wir zurück, wenn wir elektrischen Strom nutzen oder Erdgas, oder wenn wir Benzin in einem Motor verbrennen? Wir verbrauchen - außer beim Atomstrom, der Erdwärme und der in Gezeitenkraftanlagen gewonnenen Energie - immer Sonnenenergie. Bei den sogenannten nachwachsenden Energien geschieht die Umwandlung in die für uns nutzbare Form in der Gegenwart, bei den fossilen Brennstoffen geschah dies vor vielen Jahrmillionen. Die von Wind- und Wasserkraftanlagen stammende Energie ist ebenfalls umgewandelte Sonnenenergie, da ja alle meteorologischen Prozesse durch die Sonnenenergie ausgelöst und gesteuert werden.

Selbst mit der Nahrung nehmen wir umgewandelte Sonnenenergie auf. Verbindungen zur Biologie und Chemie bieten sich an, indem man die bei der Photosynthese ablaufenden chemisch-biologischen Prozesse erörtert. Vor allem ergeben sich aber Verbindungen zur Physik, beispielsweise zum generellen Problem des Energietransports. Von der Sonne bis zur Erde erfolgt er durch Strahlung. Die Strahlungsenergie wird in der Erdatmosphäre oder am Erdboden absorbiert und hauptsächlich in Wärmeenergie umgesetzt, diese durch Konvektion (wie bei den meteorologischen Prozessen) oder infolge von Wärmeleitung weitertransportiert oder auch wieder ausgestrahlt, dann als Wärmestrahlung in einem anderen, län-

gerwelligen Spektralbereich. Um die Strahlungsabsorption genauer zu verstehen, benötigt man Kenntnisse aus der Atomphysik, die an dieser Stelle reaktiviert oder neu erarbeitet werden könnten. Es bietet sich weiter an, die Strahlungsgesetze zu besprechen und in Verbindung damit ein Gegenwartsproblem, den Treibhauseffekt: Die Sonnenstrahlung hat ihr Energiemaximum im sichtbaren Spektralbereich, für den die Erdatmosphäre durchlässig ist. Das Energiemaximum der Wärmestrahlung des Erdbodens liegt hingegen im Infrarotbereich, für den die Erdatmosphäre nahezu undurchlässig ist. Die Wärmestrahlung kann daher nur schwer in den Weltraum entweichen, sie heizt die Erdatmosphäre auf. Bei der Verfolgung weiterer Gedankengänge zur Sonnenenergie kommt man wieder zur Astrophysik: Wie viel Sonnenenergie fällt in Erdentfernung auf einen Quadratmeter senkrecht zur Richtung zur Sonne? Wie lässt sich diese Energie messen und wie groß ist die Gesamtausstrahlung der Sonne, ihre Leuchtkraft? Zur Bestimmung benötigt man außer der sogenannten Solarkonstanten die Entfernung der Erde von der Sonne und den Sonnenradius.

Wie misst man diese Größen? Kennt man sie, kennt man außer der Leuchtkraft auch die Abstrahlung je Quadratmeter „Sonnenoberfläche“. Die Strahlungsgesetze liefern daraus die Temperatur dieser „Sonnenoberfläche“, der Photosphäre, aus der praktisch die gesamte sichtbare Strahlung kommt. Hier könnte man den Temperaturbegriff genauer diskutieren: Worüber sagt Temperatur etwas aus, wie ist sie exakt definiert? Aus der Photosphärentemperatur folgt, dass die Materie dort gasförmig ist, was auf Grund thermodynamischer Gesetze dann auch für die Sonnenmaterie unterhalb der Photosphäre zutrifft.

Man kommt also zur Aussage: Die Sonne ist ein riesiges gasförmiges Gebilde, das infolge der radialsymmetrisch auf das Zentrum hin gerichteten Gravitationskräfte kugelförmig ist. Die nächsten Fragen, die sich stellen: Warum erscheint dieser Gasball scharf begrenzt? Würde man wegen der nach außen hin stetig abfallenden Gasdichte nicht einen unscharfen Rand erwarten? Warum kann man nicht sehr tief in die Sonne hineinschauen? Woraus besteht die Sonne überhaupt, wie ist ihre chemische Zusammensetzung? Wie kann man diese nachweisen? Die Verbindung zur Chemie, zur quantitativen Spektralanalyse ist offensichtlich: Zur Bestimmung dient ein im Labor gängiges Analyseverfahren, nun auf einen Himmelskörper angewandt. Eine weitere astronomische Frage:

Wie groß ist die Masse der Sonne, wie bestimmt man sie? Und schließlich: Woher kommt die Energie der Sonne? Was sind ihre Energiequellen? Wo liegen sie?

Zur Beantwortung muss man auf den inneren Aufbau der Sonne eingehen. Obwohl das Sonneninnere, in dem nahezu die gesamte Masse vereinigt ist, mit herkömmlichen Mitteln prinzipiell unbeobachtbar ist, lassen sich wohlbegründete Aussagen machen, nur ist jetzt die Theorie gefragt. Es zeigt sich, dass ein Gasball wie die Sonne im Grunde ein physikalisch recht einfach zu beschreibendes Gebilde ist: Man kann davon ausgehen, dass sie sich in einem hydrostatischen Gleich-

gewicht befindet; es lassen sich nämlich langfristig keine Radiusänderungen nachweisen. Was hydrostatisches Gleichgewicht bedeutet, ließe sich an der Erdatmosphäre erläutern, die sich gleichfalls in einem großräumigen langzeitlichen hydrostatischen Gleichgewicht befindet. In der Sonne herrscht weiterhin ein energetisches Gleichgewicht: Die außen abgestrahlte Energie wird zum gleichen Betrag im tiefen Innern freigesetzt. Zum Berechnen des Dichte-, Druck- und Temperaturverlaufs im Sonneninnern müssen die Gleichgewichtsbedingungen in mathematische Formeln umgesetzt, also mathematische Strukturen physikalischer Sachverhalte gesucht werden.

Das Ergebnis sind drei leicht herleitbare Differentialgleichungen. Eine vierte derartige Gleichung, die den Energietransport in der Sonne beschreibt, ist schwieriger zu formulieren; im Unterricht müsste sie als gegeben hingenommen werden. Zu diesen Differentialgleichungen kommen noch normale algebraische Gleichungen, die angeben, wie Materie bei bestimmten Temperatur- und Dichteverhältnissen reagiert.

Eine dieser Materialgleichungen ist die ideale Gasgleichung, eine andere bezieht sich auf die Energiefreisetzungsprozesse. Das sind bei der Sonne Kernprozesse, bei denen Wasserstoff in Helium umgewandelt wird. Der Energiegewinn bei der Bildung eines Heliumkerns aus jeweils vier Wasserstoffkernen lässt sich berechnen, wenn die Energie-Masse-Äquivalenz, ein Grundpostulat der Speziellen Relativitätstheorie, herangezogen wird. Aus der bei der Bildung eines Heliumkerns gewonnenen Energie ergibt sich sofort die Masse des je Sekunde zur Aufrechterhaltung der Sonnenleuchtkraft umgewandelten Wasserstoffs. Nimmt man die aus den Beobachtungen der Photosphäre abgeleitete chemische Zusammensetzung für die gesamte Sonne an, lässt sich der innere Aufbau der Sonne, ein „Sonnenmodell“, berechnen. Mit den Energiefreisetzungsprozessen ändert sich die chemische Zusammensetzung der Materie im Sonneninnern. Dieser Vorgang ist irreversibel, die Sonne ändert, sie „entwickelt“ sich. Aus der Erkenntnis, dass die Sonne einer „Entwicklung“ unterworfen ist, wird man fragen: Wie ist die Sonne entstanden? Was geschieht, wenn der Wasserstoffvorrat in den Zentralgebieten der Sonne aufgebraucht ist? Kann Helium in andere Elemente umgewandelt werden, wird dabei auch Energie frei? Wann wird das geschehen? Welchem Endzustand, bei dem keinerlei Energiequellen mehr zur Verfügung stehen, strebt die Sonne zu? Wann wird dieser erreicht sein?

Alles das lässt sich berechnen, wenn auch sicherlich nicht im normalen Schulunterricht. Eines lässt sich aber vermitteln, wie ich glaube: Obwohl das Sonneninnere mit optischen Mitteln grundsätzlich nicht beobachtbar ist, lässt sich der gegenwärtige Zustand der Sonne wie auch ihre Entwicklung berechnen. Selbstverständlich taucht auch die Frage auf: Wie sicher sind diese Aussagen, wie zuverlässig ist die Theorie? Wendet man sie zum Beispiel auf die Sterne eines Sternhaufens an, lassen sich viele Beobachtungstatsachen in eindrucksvoller Weise deu-

ten. Wieder: Welch ein Triumph für die Theorie! Aber auch: Welch ein Beweis für die Allgemeingültigkeit der angewandten physikalischen Gesetze!

Ich hoffe, ich konnte klarmachen, was ich unter dem „übergreifenden und integrierenden Charakter der Astronomie“, den es im Unterricht zu nutzen gilt, verstehe, auch wie man zu astronomischen Fragestellungen kommen könnte, welche Verknüpfungen zu anderen Fächern existieren, und welcher Erkenntnisgewinn zu erwarten ist. Das wahrhaft schwierige Unterfangen, die Aufbereitung der astronomischen und astrophysikalischen Themen für den Schulalltag, das Auswählen von Einzelthemen und das Abwägen gegen andere ist Aufgabe erfahrener Lehrer und Lehrerinnen, die über das notwendige astronomische Fachwissen verfügen.

7 Astronomieunterricht - Herausforderung für Lehrer

Es werden viele Lehrerinnen und Lehrer mit umfassendem Fachwissen benötigt. Es sind komplizierte Sachverhalte zu vermitteln. Der Wissensstand der Schüler zwingt zu Vereinfachungen. Diese müssen einerseits dem Wissensstand und dem Fassungsvermögen der Schüler angepasst, sie müssen aber gleichzeitig wissenschaftlich vertretbar sein. Diese Gratwanderung, die ein Lehrer zu bestehen hat, erfordert eine gründliche Fachausbildung, was im Rahmen eines normalen Fachstudiums, aber auch im Rahmen intensiver Weiterbildungsveranstaltungen geschehen kann.

Sowohl für eine Hochschulausbildung von Astronomielehrern als auch für eine externe Weiterbildung auf astronomischem Gebiet gibt es Erfahrungen. An der Friedrich-Schiller-Universität in Jena wurden über Jahrzehnte Astronomielehrer im Direktstudium ausgebildet. Als Zusatzstudium für angehende Physiklehrer wird dies auch gegenwärtig angeboten. Weiterbildungsveranstaltungen in Astronomie werden in vielfältiger Form und an vielen Orten durchgeführt. Es sind Lehrbücher für den Astronomieunterricht vorhanden. Eine Zeitschrift speziell für Astronomielehrer steht zur Verfügung, auch andere Zeitschriften können genutzt werden. Hinsichtlich all dieser Erfordernisse braucht man also nicht beim Punkt Null anzufangen, man kann auf guten Fundamenten aufbauen.

8 Worüber muss nachgedacht werden?

Wenn der Astronomieunterricht eine stärkere Verankerung in unseren Schulen erfahren soll, stehen einige schwierige und umstrittene Fragen zur Diskussion. Unter anderem muss geklärt werden, in welcher Altersstufe der Astronomieunterricht erteilt werden soll, ob mit einer festen Lehrplanbindung oder ob man dem Lehrer in der Stundenplanung größere Freiheiten lässt, was einschließt, dass individuelle Vorlieben zu unterschiedlichen Schwerpunktbildungen führen. Es muss über den vorzusehenden Stundenumfang diskutiert werden, womit gleichzeitig über die zu erreichende Stofftiefe entschieden wird. Einerseits wird man möglichst viele Stunden wünschen, andererseits muss man anerkennen, dass die Astronomie im Wettbewerb mit anderen Fächern steht. Physik, Mathematik, Che-

mie spielen eine größere Rolle sowohl im Bewusstsein der Allgemeinheit als auch der für die Erarbeitung eines Gesamtlehrplans zuständigen Schulpolitiker. Wegen ihrer größeren Bedeutung für die Gesellschaft, werden diese Fächer stärker im Unterricht vertreten sein und sein müssen. Diesem Interessenkonflikt muss sich die Astronomie stellen, wobei die Lösung als Ziel immer die beste Förderung der Schüler haben muss. Ebenfalls ist zu diskutieren, ob Astronomie ein eigenständiges Fach sein soll, was den Vorteil hat, dass sie im Stundenplan auftaucht und damit ins Bewusstsein der Schüler und Lehrer kommt.

Andererseits wird sie wegen der sicherlich geringen Stundenzahl leicht als eine Verschwindungsgröße im Kanon der Fächer abgetan und verschwindet wieder mehr oder minder aus dem Bewusstsein. Will man die Astronomie als selbständiges Fach etablieren, muss auch eine entsprechende Fachlehrausbildung mit allem, was dazu gehört, in Betracht gezogen werden. Die andere Möglichkeit, die Astronomie als einen verbindlichen, im Lehrprogramm der Physik mit einer festen Stundenzahl und einem festen Lernziel verankerten Teil vorzusehen, könnte den Vorteil haben, dass der Charakter der Astrophysik als Anwendung physikalischen Wissens augenfällig zum Ausdruck kommt. Auch scheint mit der Integration in den übrigen physikalischen Stoff eine größere Flexibilität erreichbar. Andererseits besteht die Gefahr, dass die Astronomie wenig Beachtung findet, da andere physikalische Probleme konkurrieren, vor allem dann, wenn der Physiklehrer für Astrophysik kein besonderes Interesse aufbringt. Bei der Integration der Astronomie in den Physikunterricht müssen zwar keine speziellen Astronomielehrer ausgebildet werden, die Ausbildung der Physiklehrer muss aber einen entsprechenden astronomisch-astrophysikalischen Bestandteil erhalten. Alle diese wichtigen, sehr komplizierten Fragen müssen durch Schulleute und Praktiker mit langjähriger Unterrichtserfahrung beantwortet werden.

Eine Schlussbemerkung: Profunde Fachkenntnisse und die Begeisterung eines Lehrers für sein Fach sind die Voraussetzungen, um die Schüler für dieses Fach zu gewinnen. Dies trifft sicher und besonders auch für die Astronomie zu. Sie ist eine schöne und interessante Wissenschaft. Es gibt viele Lehrer, die einen hervorragenden Astronomieunterricht erteilen und erteilen können, einen Unterricht, der den Schülern eine moderne Wissenschaft nahebringt, der zum Nachdenken anregt und der außerdem auch noch Freude bereitet. Und Freude, innere Teilnahme bei Lehrern und Schülern gehört nun einmal zum guten Unterricht. Also: Astronomieunterricht in unseren Schulen? Meine Antwort: Ja!

Nach einem Vortrag im Arbeitskreis Astronomie im Deutschen Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e.V. gehalten am 25. Oktober 1999 in Buxtehude.