Naturwissenschaftliche Bildung und Medien

Vortrag am 25.11.98–Akademiker-Zentrum, Lämmerstr. 2

Gerhard Börner

Max-Planck-Institut für Astrophysik

Karl-Schwarzschild-Str. 1, 85748 Garching

Das Thema "Naturwissenschaftliche Bildung und Medien" ist weit gespannt, deshalb kann ich nur einige der wesentlichen Punkte aus dem Fragenkomplex ansprechen:

Was heißt naturwissenschaftliches Denken und damit auch naturwissenschaftliche Bildung? In welcher Weise können Neue Medien hier einwirken?

Unter dem Begriff "Neue Medien" möchte ich mich auf den nicht mehr so neuen Computer beschränken und auf die vielfältigen Anwendungen bei Modellbildung, Simulationen, bildgebenden Verfahren und besonders die wirklich neuen Möglichkeiten der Nutzung des Internet, des einfachen Zugriffs auf das Wissen unserer Zeit.

Nicht betrachten möchte ich die technische Anwendung, bei der die Rolle der Computer ganz offensichtlich ist – in den Konstruktionsverfahren, den Optimierungslösungen –, sondern einige Aspekte der Grundlagenforschung. Sie werden mir hoffentlich verzeihen, daß ich dabei meine eigene Disziplin, die Astronomie, speziell die Kosmologie, und die Physik als Beispiele heranziehe.

1 Naturwissenschaftliche Bildung

Die Naturwissenschaften an sich lassen sich nicht einfach in summarischer Eindringlichkeit zusammenfassen. Eine wesentliche Eigenschaft aller Bereiche, von der Biologie über die Chemie zur Physik, ist wohl die frappierende Geschwindigkeit, mit der Erkenntnisse der Grundlagenforschung in praktische Anwendungen umgesetzt werden – Anwendungen, die unser alltägliches Leben umfassend verändert haben und es weiter umgestalten werden. Ich erwähne hier nur Gentechnik und Kernspaltung. Dieser rasche Fortschritt löst je nach Temperament begeisterte Zustimmung oder auch Ängste aus. Es ist bestimmt wünschenswert, diese Gefühle durch eine gute wissenschaftliche Allgemeinbildung auf den Boden der Rationalität zu bringen. Dies ist besonders erstrebenswert in einer Demokratie, denn politische Entscheidungen, die ja immer häufiger mit Anwendungen der Naturwissenschaften zu tun haben, können nur dann sachgerecht getroffen werden, wenn zumindest Grundkenntnisse der Sache bei den Bürgern vorhanden sind.

Dabei sollte man sich auch darüber im Klaren sein, dass die Naturgesetze absolut gültig sind. Der naturgesetzliche Ablauf ist ein Sachzwang, der nicht durch Wünsche oder Meinungen beeinflusst werden kann.

Neben dem Wissen um die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse – speziell der Neuzeit– stellt auch die Kenntnis der naturwissenschaftlichen Methode ein Bildungs- und Kulturgut ersten Ranges dar, das im allgemeinen Bewusstsein verankert sein sollte.

Die Naturwissenschaften vertiefen den rein beschreibenden Zugang zu den Phänomenen der Welt durch das Aufzeigen von Zusammenhängen und Gesetzmäßigkeiten. Dabei wird zunehmend von der Alltagserfahrung abstrahiert und eine in sich stimmige mathematische Formulierung angestrebt. Die Modelle und Arbeitshypothesen der Naturwissenschaften werden durch Experimente bestätigt oder falsifiziert.
Dies ist wohl der einzig zuverlässige Weg, um etwas Wahres über die Welt zu erfahren. Die modernen Naturwissenschaftler haben dabei in der Überwindung des mechanistisch-deterministischen Weltbildes des 19.Jahrhunderts durch Quantentheorie und Relativitätstheorie deutlich erkannt, dass nicht unmittelbar alle Bereiche der Wirklichkeit in ihr Begriffssystem einzugliedern sind. Die Zusammenhänge in der Wirklichkeit, z.B. die wir mit den Worten "Geist" und "Bewusstsein" kennzeichnen, verschließen sich noch weitgehend der naturwissenschaftlichen Methode. Die Einsicht in die Besonderheit des naturwissenschaftlichen Zugangs zur Welt öffnet somit erfreuliche Möglichkeiten zum Dialog mit anderen Disziplinen. Einige Male war ich selbst an sehr anregenden Diskussionen mit Theologen beteiligt, bei denen das Verhältnis von christlichem Schöpfungsglauben und moderner Naturwissenschaft erörtert wurde.
Es ist geradezu ein Charakteristikum der modernen Naturwissenschaft, dass sie die Grenzen der Erkenntnis deutlich macht. Um es mit den Worten Werner Heisenbergs zu sagen: "Die Fähigkeit des Menschen, zu verstehen, ist unbegrenzt; es wird keinen Bereich der Wirklichkeit geben, in dem der menschliche Geist nicht schließlich doch einen Weg finden wird. Aber es wird nie eine endgültige Grundlage der Erkenntnis geben, wie ein festes System von Begriffen, das für alle Bereiche der Erkenntnis genügt. Das Verstehen der Welt ist ein unendlicher Prozess, von dem wir uns weder Anfang noch Ende denken können und der doch immer voranschreitet."
So leidet der moderne Naturwissenschaftler, im Gegensatz zu seinen Kollegen aus dem 19. Jahrhundert, nicht unter der Einbildung, eine vollständige Welterklärung zu besitzen.
Der Bildungswert der Naturwissenschaften liegt somit einerseits in dem gesicherten Wissen von der Welt, das sie uns bieten, und andererseits in der Methode, die Denkansätze immer aufs neue dem kritischen Experiment auszusetzen und sich nicht mit den Dogmen und Meinungen von Autoritäten zu begnügen.
Bei aller Bescheidenheit und Selbstbeschränkung sind die Erfolge der naturwissenschaftlichen Methode enorm. C.F.von Weizsäcker bezeichnet sie als "den harten Kern unserer Kultur".

Eine Ethik der Naturwissenschaften kann allerdings nicht aus diesen selbst begründet werden. Das Wertesystem, das unsere Kultur prägt, muss bei der technischen Anwendung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse die Leitlinien bestimmen. Vor allem dem Machbarkeitswahn müssen Grenzen gesetzt werden.
Zwei Beispiele seien noch erwähnt, die für die Umwälzung des naturwissenschaftlichen Weltbildes in diesem Jahrhundert stehen. Die Physiker haben Erkenntnisse über den Aufbau der Materie gewonnen, die weit über unsere alltäglichen Erfahrungen hinausweisen: Die Vielfalt der Erscheinungsformen der Materie wird zurückgeführt auf die Strukturgesetze, nach denen sich Elektronen, Protonen und Neutronen zu Atomen und größeren Verbänden organisieren. Die solide Erscheinung eines Tisches verwandelt sich dann im Wesentlichen in ein Vakuum, die gesamte Masse ist in winzig kleinen und sehr dichten Atomkernen konzentriert, die zusammengepackt nur ein zehnbillionstel des Tischvolumens ergäben. Wir selbst sind natürlich ebenso löchrige Systeme, vom Standpunkt eines Atomkerns aus betrachtet, und deshalb erscheint uns der Tisch als fester Körper.

Die Kosmologie macht Aussagen über die Entstehung und Entwicklung der Welt als Ganzes und kommt zu dem Schluss, dass auch Raum und Zeit nicht für immer bestanden, sondern vor etwa 15 Milliarden Jahren in einer Urexplosion ihren Anfang nahmen. Dieser Urzustand des Kosmos, aus dem sich das Universum, wie es jetzt beobachtet wird, entwickelt hat, war geprägt von den Gesetzen, die im Reich der Elementarteilchen, der kleinsten Bausteine der Materie, gelten. Mit Staunen und Begeisterung erkennt man den Zusammenhang, der hier besteht zwischen dem Mikrokosmos der Elementarteilchen und den größten in der Astronomie beobachteten Strukturen, den Haufen und Superhaufen von Galaxien.

2 Die Rolle der Mathematik

Solche Ideen lassen sich ganz zwanglos in mathematischer Sprache beschreiben, bereiten aber der Vorstellung große Schwierigkeiten. Der ausgeprägte Drang zur abstrakten mathematischen Formulierung macht es für Nicht–Naturwissenschaftler schwer, die Fragestellungen und die Erfolge der Naturwissenschaften zu verstehen.Trotzdem wäre es wohl der Mühe wert, sich den Schwierigkeiten zu stellen.
Auch die Neuen Medien selbst stellen eine Folge der praktischen Umsetzung mathematischer Erkenntnisse dar, beginnend mit Leibniz, der den binären Zahlencode entwickelt hat. In der FAZ vom 29.08.98 hat Hans Magnus Enzensberger in einem lesenswerten Aufsatz das Parodoxon geschildert, daß unsere Zivilisation zwar bis in den Alltag hinein von mathematischen Methoden durchdrungen und von ihnen abhängig ist, dass aber andrerseits die mathematische Allgemeinbildung in geradezu grotesker Weise hinter der mathematischen Forschung zurückbleibt. Natürlich gehören auch Naturwissenschaftler zu den

Zurückgebliebenen, aber sie verwenden immerhin die Mathematik, die Mitte des vorigen Jahrhunderts entwickelt wurde. Den meisten aber ist nicht mehr bekannt, als den Griechen vor 2000 Jahren, und der Anblick einer mathematischen Formel versetzt sie in Panik. Enzensberger benützt, um diesen Zustand zu charakterisieren, das Bild der Zugbrücke, die hochgezogen ist zwischen Mathematikern und Naturwissenschaftlern auf ihrer Insel und dem Rest der Menschheit. Doch gibt es auch einen Hoffnungsschimmer. Einige mathematische Problemstellungen, wie Fermats letzter Satz, sind ohne weiteres allgemeinverständlich. Die Entwicklung der experimentellen computergestützten Mathematik hat auch dieses Fach aus seinem Elfenbeinturm herausgeholt. Es gibt eine Reihe erfolgreicher Ansätze, abstrakte mathematische Objekte bildlich darzustellen, wenn auch manche Übersetzungsversuche, wie die Chaostheorie, modisch überzeichnet scheinen.

Die Probleme, die bei der Übersetzung von Konzepten aus der Mathematik und den exakten Naturwissenschaften in Begriffen der Alltagssprache auftreten, sind witzig illustriert in einem fiktiven Gespräch, das Enzensberger zitiert (nach Ian Stewart):

Der Mathematiker:	Es handelt sich um eine der wichtigsten Entdeckungen des letzten Jahrhunderts.
Der Laie:	Können Sie mir das in Worten erklären, die für gewöhnliche Sterbliche verständlich sind?
Mathematiker:	Das geht nicht. Sie können keinen Eindruck davon bekommen, wenn Sie die technischen Details nicht verstehen. Wie soll ich über Mannigfaltigkeiten sprechen, ohne zu erwähnen, dass die Sätze, um die es geht, nur dann funktionieren, wenn diese Mannigfaltigkeiten endlich- - dimensional, parakompakt und hausdorffsch sind und wenn sie einen leeren Rand haben?
Laie:	Dann lügen Sie ein bisschen.
Mathematiker:	Das liegt mir nicht.
Laie:	Warum denn nicht? Alle anderen lügen doch auch.
Mathematiker:	Aber ich muss bei der Wahrheit bleiben.
Laie:	Sicher. Aber Sie könnten sie ein bisschen verbiegen, wenn dadurch verständlicher wird, was Sie eigentlich treiben.
Mathematiker:	Es käme auf einen Versuch an.

3 Die Neuen Medien und ihr Einfluss auf die Naturwissenschaftliche Methode

Cartoon: Schon eine ungefähre Orientierungshilfe kann nützlich sein.

Die mathematische Beschreibung der modernen Physik und Astronomie lässt sich ohne die Hilfe des Computers gar nicht durchführen. Selbst wenn die Grundgesetze und die mathematischen Gleichungen, in denen sie formuliert sind, die Phänomene adäquat beschreiben, erschließt sich das wirkliche Verhalten des Systems erst durch die Lösungen, die man durch den Einsatz des Computers gewinnt. Das numerische Experiment, die numerische Simulation von Modellen gewinnt neben dem normalen Laborexperiment immer größere Bedeutung. So gelingt es etwa, Einsichten über die Entstehung und Verteilung der Galaxien im Kosmos zu erhalten durch das Durchspielen möglicher Strukturierungen in einem System mit 10 Millionen Teilchen, die sich gegenseitig auf Grund ihrer Masse anziehen, aber auch der Ausdehnung des Weltalls folgend gleichmässig auseinanderstreben. Noch besser wäre es, 10 Milliarden Teilchen numerisch zu studieren, aber dazu sind die Computer noch zu klein. Auch die Bildung einer einzelnen Galaxie aus Gas, Staub und Sternen kann im numerischen Experiment untersucht werden. Probleme, wie die oft verwickelte Strömung von Flüssigkeiten, oder gar die Explosion eines Sterns, können ohne numerische Modellbildung überhaupt nicht untersucht werden. In all diesen Fällen ist der Computer ein Werkzeug, das ständig effizienter wird und das im Kampf mit der Komplexität der Welt hilft.

Besonders augenfällig wird dies bei den bildgebenden Verfahren, in denen eine Vielzahl von Daten – lange Zahlenkolonnen – in attraktiv gefärbte Bilder und Filme übersetzt wird. Häufig gewinnt der Forscher aus der Betrachtung dieser Bilder neue Erkenntnisse oder Ansätze für neue Untersuchungen. (Abbildungen 1,2 und 3)

Für astronomische Beobachtungen ist die Bildverarbeitung essentiell, doch auch in anderen Bereichen, beispielsweise in der Hirnforschung, erhofft man sich neue Erkenntnisse von der bildlichen Darstellung (mit hoher Auflösung) aktiver Gehirnregionen. Es war schon immer ein Kennzeichen der Naturwissenschaften, Hilfsmittel zu benützen, die über die unmittelbare Sinneserfahrung hinausweisen: Fernrohre, Mikroskope, Beschleuniger für Elementarteilchen, Apparate für Kernspinresonanz. Die neuen Medien sind ein weiterer effektiver Mittler in dieser Reihe.

Die eindrucksvollen Darstellungen auch sehr abstrakter und der unmittelbaren Erfahrung unzugänglicher Prozesse ermöglichen es, diese Vorgänge in einem gewissen Sinne – als "virtuelle Realität" – der sinnlichen Erfahrung zugänglich zu machen. Vielleicht öffnet sich auf diese Weise ein natürlicher Zugang zum Verständnis neuer Erkenntnisse. Allerdings muß man der Verführung durch diese Bilder auch die kritische Distanz entgegensetzen, durch die eine Unterscheidung zwischen Wirklichkeit und virtueller Realität ermöglicht wird.

4 Das Internet

Der Computer dient nicht allein als Instrument der Forschung, er verändert die naturwissenschaftliche Bildung durch die weltweit direkt verfügbaren Informationsnetze, wie das "world-wide-web". Die Möglichkeit in einem PC ganze Bibliotheken verfügbar zu haben, der durch das Internet gegebene direkte Zugriff auf das aktuelle Wissen unserer Zeit – dies sind Fortschritte, die vor gar nicht langer Zeit noch ins Reich der Träume und Wünsche gehörten.

Das Internet ist auch ein sehr demokratisches Medium. Jedermann sind diese Wissensschätze zugänglich.

Es ist gut möglich, dass sich dadurch auch der Bildungsbegriff wandeln wird. Zumindest eine Grundvoraussetzung für Bildung wird die Fähigkeit sein, das Internet effektiv zu nutzen, um mit diesem Werkzeug das weltweite, aktuelle Wissen abzurufen.

Unter den Wissenschaftlern sorgt das Internet für einen extrem raschen Informationsaustausch. Neue Forschungsergebnisse werden als elektronische Vorabdrucke in "preprint servers" vorgestellt und von Fachkollegen kommentiert und ergänzt. Eine Reihe von Fachzeitschriften erscheinen auch in elektronischer Form, und es wird bereits überlegt, zumindest in manchen Bereichen auf die Ausgaben in bedrucktem Papier zu verzichten. Viele experimentelle Ergebnisse werden ebenfalls sofort im Internet publik gemacht. So erscheinen dort regelmässig die neuesten astronomischen Bilder, fast unmittelbar nachdem die Beobachtungen am Teleskop durchgeführt wurden. Das Weltraumteleskop "Hubble" hat hier die Rolle eines Vorreiters: Gerade in diesen Tagen werden die Bilder eines tiefen Blicks in den Weltraum im Internet platziert.

Gelegentlich möchte eine Forschergruppe ihre neuen Resultate zwar ankündigen, aber gewisse sensible Daten noch geheimhalten. Diese werden einfach durch einen speziellen Code geschützt. Die Wirkungen dieses Neuen Mediums auf die Art und Weise, in der Wissenschaft betrieben wird, lassen sich nicht absehen. Klar ist, dass eine sehr schnelle Aufarbeitung und Durchforstung neuer Ideen und experimenteller Resultate stattfindet. Dies kann dazu führen, dass die schnelle oberflächliche Anmerkung an Wertschätzung gewinnt gegenüber den Arbeiten, die auf solide, lange Zeit gültige Resultate abzielen.

5 Ein Schulbeispiel

Für die naturwissenschaftliche Allgemeinbildung zeichnen sich große Chancen ab, sofern die Neuen Medien vernünftig genützt werden.

Schon jetzt wird an bayerischen Gymnasien, wie ich aus meiner Beteiligung an Lehrer-Fortbildungsveranstaltungen weiß, im Wahlfach Astronomie viel mit Computern gearbeitet, besonders interaktiv in graphischen Darstellungen astronomischer Vorgänge.

An dieser Stelle möchte ich auch ein neues Projekt erwähnen, das vom Sonderforschungsbereich "Astro-Teilchenphysik" mit bayerischen Gymnasien durchgeführt wird. Auch mein Institut, das Max-Planck-Institut für Astrophysik, gehört zu diesem Forschungsverbund. Das "Hands on the Universe" (HOU) genannte Projekt wurde in Berkeley gegründet. Es enthält:

- Programme zur Bildverarbeitung am PC, um astronomische Aufnahmen auszuwerten
- ein Bildarchiv mit vielen digital gespeicherten Teleskop–Aufnahmen
- ein Curriculum für den Unterricht an Gymnasien
- die Möglichkeit per Internet Bilder von einem Teleskop anzufordern.

In Zukunft soll dazu ein Netzwerk von Teleskopen in den USA, Australien, Japan und Schweden gehören. Durch dieses Programm soll den Schülern nicht nur der sinnvolle Umgang mit Computern, Daten, Internet, Physik und Mathematik nahe gebracht werden, sondern es sollen auch internationale Kontakte zwischen Schulen gefördert werden.

Es gibt z.B. ein Projekt, in dem Schüler die Himmelsaufnahmen der wissenschaftlichen Supernova-Suche ("Deep Supernova Search") nach Asteroiden durchforschen. Jeweils zwei Schulen arbeiten dabei in einer Partnerschaft zusammen. Im kommenden Jahr soll dies auch an den bayerischen Gymnasien versucht werden, die sich für HOU interessieren. 23 Gymnasien in München und Umgebung sind inzwischen mit HOU bekannt gemacht worden. Ihre Zahl soll in naher Zukunft ausgeweitet werden.

In den USA wird versucht, die Schulen sogar in die wissenschaftliche Kollaboration einzubinden. Bei der "Deep Supernova Search" müssen in Himmelsaufnahmen tausende von Galaxien durchmustert werden, um die plötzlich aufflammenden Lichtpunkte der Supernovae zu finden. Schulklassen können, wenn sie sich entsprechend verpflichten, einige Galaxien "übernehmen". Die beteiligten Schüler sind dann gleichberechtigte Mitglieder der Kollaboration und stehen auch als Mitautoren auf den Veröffentlichungen.

6 Zukunftsperspektiven

Die unmittelbare Beteiligung von Schülern an der Forschung ist sicher ein interessanter Weg, um die naturwissenschaftliche Bildung zu fördern. Auch außerhalb der Schule und über die Schulzeit hinaus bieten die Neuen Medien einen vielversprechenden Weg, die Fortschritte der Naturwissenschaften mitzuverfolgen.

Die unmittelbare Teilnahme an faszinierenden Beobachtungen, die auch ästhetisch ansprechende bildliche Darstellung neuer Erkenntnisse, der relativ bequeme Zugang zu den Informationen – all dies kann die Motivation, sich mit den Naturwissenschaften zu beschäftigen, kräftig steigern.

Auch wenn sich manche Ergebnisse nicht mit letzter Exaktheit vermitteln lassen, so sollte man dies in Kauf nehmen, wenn dafür die Zugbrücke zu einer Schutzkammer unserer Kultur herabgelassen wird.

- **Abb.1:** Aus der numerischen Modellierung von dunkler Materie, Gas, Sternen und Staub entstand dieses Bild einer Spiralgalaxie (Zur Verfügung gestellt von Volker Springel, MPA).
- **Abb.2:** Gezeigt ist ein halbkreisförmiger Ausschnitt aus der Berechnung einer Sternexplosion. Das Innere des Sterns ist zu einer extrem kompakten Konfiguration zusammengestürzt, eine Stoßwelle bewegt sich nach außen. Dahinter steigt heiße Sternenmaterie (rot/gelb) auf und kühle Materie (schwarz/blau eingefügt) fällt nach innen (Zur Verfügung gestellt von Thomas Janka, MPA).
- **Abb.3:** Die numerische Simulation des Gravitationslinseneffektes zeigt (l.o.) die Massenverteilung eines Galaxienhaufens in Höhenlinien und die verformten Bilder der Galaxien, deren Licht durch den Galaxienhaufen abgelenkt wird. Die Instruktionen an den Computer, das Bild einzufärben, bestehen aus Tabellen, wie die drei hier abgebildeten. Insgesamt wären 580 dieser Tabellen notwendig, um die im Farbbild enthaltene Information darzustellen (Zur Verfügung gestellt von Matthias Bartelmann, MPA).