

„Musik“ in der Kinematik:

Untersuchung von Bewegungsvorgängen beim Fahrrad mit Hilfe der Soundkarte

Ein Unterrichtsprojekt für den Physikunterricht der Klasse 9

Gert Braune, Manfred Euler, Sönke Schaal, Dean Zollman

1. Zu den Hintergründen des Projekts

Computer als Werk- und Denkzeug für den naturwissenschaftlichen Unterricht

Computer sind zu einem integralen Bestandteil der physikalisch-technischen und der gesellschaftlichen Realität geworden. Sie haben sich zu universellen Werkzeugen entwickelt, die zunächst das Rechnen, dann das Messen, Steuern und Regeln und schließlich das Schreiben, das Kommunizieren sowie die Beschaffung von und den Umgang mit Information grundlegend verändert haben und noch immer umgestalten. Ihre Wandlung von Werkzeugen zu „Denkzeugen“ oder gar zu „neuen Flügeln des Geistes“ ist Gegenstand aktueller Diskussionen (vgl. z.B. [1]). Läßt man sich auf die Verlockungen der Informationsgesellschaft ein (und es ist unmöglich, hier im Abseits zu verbleiben), so ist die Wandlung zur Wissensgesellschaft der nächste notwendige Schritt. Allerdings stellt der in Aussicht stehende Paradigmenwechsel von der Information zum Wissen (das auch Können und Handeln einschließt) ein bislang „uneingelöstes Versprechen [2]“ der modernen Welt dar; wir alle müssen an sinnvollen Lösungen mitwirken.

Nur zögernd stellt sich unser Bildungssystem auf die Herausforderung durch die Computer und die darauf basierenden neuen Informations- und Kommunikationstechnologien ein. Wie kann der Fachunterricht der Schule sich der Herausforderung stellen, auf die Chancen vorbereiten und für die Risiken sensibilisieren, die mit diesen Technologien verbunden sind? Ein Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Systematische Einbeziehung von Medien, Informations- und Kommunikationstechnologien in Lehr- und Lernprozesse [3]“ benennt drei Bereiche, die den Kontext für die Nutzung der neuen Medien in der Schule bilden, und zwar Computer und neue Medien als:

- Innovative „Tools“ im Sinne von Werkzeugen für den Unterricht,
- Anlass für die Entwicklung und Anwendung neuer Lehr-Lernformen,
- Unterrichtsgegenstand mit dem Ziel der Medienkompetenz durch Medienerziehung (vgl. dazu auch [4]).

Unter fachdidaktischer Perspektive bieten die neuen Medien die Chance, den Lernenden eine aktivere Rolle einzuräumen und einen Wandel in den traditionellen Formen der Vermittlung physikalischen Wissens herbeizuführen, die sich bislang stark auf lehrerzentrierte Interaktionsformen und fragend-entwickelnde Unterrichtsskripts fokussieren. Wohlgermerkt kann es nicht darum gehen, den lehrerzentrierten Unterricht zu ersetzen, doch insgesamt ist eine bessere Balance zwischen Instruktion und Konstruktion beim Lehren und Lernen von Physik erforderlich. Auf der Seite physikdidaktischer Forschung gibt es für den Bereich der Newton'schen Mechanik außerordentlich starke Evidenzen für die Überlegenheit aktiver Konstruktionsprozesse im Vergleich zur konventionellen Instruktion, die den Erfolg einer

interaktiven Einbindung der Lernenden überzeugend belegen („interactive engagement“ [5]), Erfahrungen, die auch auf computergestützte Lernumgebungen übertragbar sind.

Die Benutzung des Computers als kognitives Tool, also als ein Werkzeug, das in einem allgemeinen Sinn Lehr-Lernprozesse unterstützt, erhält aus physikdidaktischer Sicht eine entscheidende Erweiterung. Der Computer selbst ist ein Werkzeug im physikalischen Erkenntnisprozess, das sowohl bei der Theoriebildung als auch beim Experimentieren eine wichtige und noch immer wachsenden Rolle spielt. Die aktive Auseinandersetzung mit dem Computer als Werkzeug ist somit geeignet, authentische Erfahrungen zu erwerben, die sehr nahe an dem sind, wie in der Praxis physikalische und technische Erkenntnisse gewonnen und angewandt werden. Allerdings erfordert dies eine geeignete instruktionale Einbettung des Mediums, so dass die Lernenden nicht überfordert werden und die im Vergleich zur konventionellen Herangehensweise durchaus komplexeren Ziele erreichen können.

Leitvorstellungen für das Projekt

Während es für den Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe eine Reihe von überzeugenden Beispielen für eine gelungene Einbeziehung des Computers in Lehr- und Lernprozesse gibt, sind Anwendungen für die Sekundarstufe I noch immer eher rar. Dies ist insofern nachvollziehbar, als Konsens darüber besteht, dass in dieser Phase des physikalischen Wissenserwerbs computerbasierte Medien die primäre Erfahrung und das unmittelbare Erleben physikalischer Phänomene nicht ersetzen können. Außerdem sind die Lernenden im Prozess der mathematischen Modellbildung noch nicht weit genug fortgeschritten, als dass Computer hier eine wesentliche unterstützende Funktion übernehmen könnten.

Als Experimentierwerkzeuge, als Mess-, Aufzeichnungs- und Auswertegeräte bieten Multimedia-Computer eine Reihe interessanter Möglichkeiten, die bislang noch zu zögerlich genutzt werden. Für den Bereich der Sek. I erscheint es uns besonders vordringlich, den Computer in solchen Bereichen einzubeziehen, in denen sich die Nutzung als Werkzeug ganz zwanglos ergibt und weiter führt, als es im konventionellen Unterricht möglich ist. Die Anwendung sollte Spass machen, zu einer aktiven Auseinandersetzung anregen und zugleich überdauernde Wissensstrukturen aufbauen. Sie sollte allen Schülerinnen und Schülern vergleichbare Chancen bieten und nicht dazu führen, dass sich die Distanz zwischen „Computer-Freaks“ und dem Rest der Klasse vergrößert.

Bei dem nachfolgend beschriebenen Unterrichtsprojekt für den Physikunterricht einer 9. Klasse eines Gymnasiums geht es darum, eine einfache, computergestützte Mess- und Auswertungsmethode zu erproben und in Form einer in sich geschlossenen Unterrichtseinheit in das durch den Lehrplan vorgegebene Kinematik-Thema einzubetten.

- Auf der *technischen* Seite verfolgen wir das Ziel, eine preiswerte und ausbaufähige Methode der Erfassung, Verarbeitung, Auswertung und Darstellung von Messdaten zu entwickeln, die den Lernenden transparent ist und nicht als geheimnisvolle „black box“ angesehen wird.
- In *unterrichtlicher* Hinsicht wollen wir ein Projekt gestalten, welches die Eigentätigkeit und –verantwortlichkeit der Schülerinnen und Schüler fördert. Es soll verschiedene Lernkanäle ansprechen und über praktische und handlungsorientierte Zugänge Wissen vermitteln und festigen.
- Eine weitere Leitvorstellung ist es, den Schüleraktivitäten *Reiz und Bedeutung* zu verleihen, indem Messungen nicht in künstlichen Laborsituationen durchgeführt werden. Von der Untersuchung des Fahrrads in authentischen Betriebssituationen und dem unmittelbaren Bezügen zur Alltagswelt (Verkehrssicherheit) erhoffen wir eine Steigerung der Motivation der Schülerinnen und Schüler.

- Auf einer *allgemeinen Ebene* geht es darum, „*hands-on*“- und „*minds-on*“-Aktivitäten zu verknüpfen. Die praktische physikalische Erfahrung von Bewegungsvorgängen und ihrer Messung wird mit der Auswertung der Messdaten, dem Erarbeiten von verschiedenen Repräsentationen der Daten und der Interpretation der Zusammenhänge verbunden.

Das Projekt entstand im Rahmen des BLK-Modellversuchprogramms zum Einsatz neuer Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht [6] und des internationalen Fahrradprojekts [7]. Es wurde vom Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel wissenschaftlich begleitet.

2. Musik und der Beginn moderner Experimentiertechnik: Auralisieren von Bewegungsvorgängen

Es sind in den letzten Jahren einige computergestützte Verfahren entwickelt worden, um Bewegungsvorgänge außerhalb des Labors mit Hilfe einer Video-Analyse zu untersuchen. Dabei wird die Bewegung visualisiert, bevor sie zur quantitativen Auswertung kommt. Unsere Methode geht von einem anderen Ansatz aus. Sie macht Bewegungsvorgänge nicht sichtbar, sondern hörbar. Bewegung wird „auralisiert“. Diese Methode hat gewisse archaische Züge und ist nahe an der Intuition, denn der „natürliche“ Kanal für die Repräsentation von Ereignissen in der Zeit ist unser Gehör (vgl. [8]). Zeitstrukturen lassen sich akustisch unmittelbar erleben; der gleichmäßige Strom von akustischen Ereignissen in der Zeit vermittelt intuitiv das Gefühl eines besonderen, regulären Prozesses.

Diese Fähigkeit unseres akustischen Sinns für die Wahrnehmung von Zeitstrukturen machte sich bereits *Galileo Galilei* zunutze, als er die beschleunigte Bewegung entlang der Fallrinne hörbar machte, indem er die Kugel über verschiebbare Bünde als Hindernisse entlang der schiefen Ebene hinabrollen ließ. Eine gleichförmige Bewegung entlang der waagrecht gestellten Rinne erzeugt bei konstantem Abstand der Bünde einen regulären Takt mit einer konstanten Taktrate. Die beschleunigte Bewegung in der geneigten Fallrinne führt dagegen zu einer Zunahme der Taktrate. Gibt es eine Regularität „hinter“ der Veränderung? Anders ausgedrückt: Gibt es eine einfache Gesetzmäßigkeit bei der beschleunigten Bewegung in der Fallrinne?

Das Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung läßt sich via Gehör „auf musikalische Weise“ auffinden, indem man den Takt „regularisiert“. Man muß die Abstände zwischen den Bündeln so einrichten, dass eine konstante Taktrate auftritt. Dies ist genau dann der Fall, wenn die Abstände der Bünde wie die Folge der ungeraden Zahlen 1 : 3 : 5 : 7 usw. zunehmen. Durch Aufsummieren ergeben sich die Quadratzahlen 1, 4, 9, 16 und somit ein quadratischer Weg-Zeit-Zusammenhang bei der beschleunigten Bewegung.

Das Bemerkenswerte an *Galileo Galileis* Zugang zur Kinematik der gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist der enge Bezug zur Musik [9]. Die als „mechano-akustischen Wandler“ benutzten verschiebbaren Bünde waren ihm vom Lautenspiel her vertraut; sein Vater war ein bekannter Lauten-Virtuose, der auch systematische Experimente mit schwingenden Saiten durchführte. Die Bedeutung kleiner ganzer Zahlen und rationaler Zahlenverhältnisse für die musikalischen Intervalle war seit den *Phytagoreern* bekannt, und ihr Zustandekommen wurde nun experimentell genauer untersucht. Allgemein kann man sagen, dass die harmonischen Strukturen in der Musik und ihre Beziehung zu mathematischen Strukturen (Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen) als Modell für physikalische Gesetze dienten. Die Musik war demnach sowohl bei der Experimentiertechnik als auch bei der Theoriebildung Patin des Schlüsselexperiments, das den Beginn der neuzeitlichen Physik markiert.

Von *Galileos* musikalisch inspiriertem Zugang zur Kinematik und zur physikalischen Experimentiertechnik führt ein ganz natürlicher Weg ins Multimedia-Zeitalter. Computer als

Geräte zur Aufzeichnung, Wiedergabe und Bearbeitung von Musik sind bei den Jugendlichen außerordentlich beliebt. Nichts liegt näher, als die durch die Bewegungsvorgänge ausgelösten akustischen Ereignisse mittels Sound-Karte aufzuzeichnen. Anders als *Galileos* flüchtige Höreindrücke lassen sie sich beliebig oft abspielen und stehen für weitere quantitative Auswertungen im Computer zur Verfügung.

Hier ergibt sich insbesondere die Möglichkeit eines unmittelbaren Zugangs zur physikalischen Messtechnik. Die Aufzeichnung von Ereignissen in Abhängigkeit von der Zeit ist *das* Grundprinzip vieler physikalischer Messungen. Früher waren dafür teure Schreiber oder Oszilloskope erforderlich. Heute läßt sich jeder Multimedia-Computer in ein solches Gerät umfunktionieren. Jeder, der über einen Computer verfügt, besitzt damit auch ein Oszilloskop und kann ohne große Vorkenntnisse durch praktischen Umgang (*learning by doing*) die Prinzipien der Aufzeichnung von Signalen erlernen.

3. Zeitmessung mit Reed-Kontakt, Kassettenrecorder und Sound-Karte

Die dem Messwandler zu Grunde liegende Idee haben wir dem Fahrrad-Computer abgeschaut: Ein (im Ruhezustand offener) Reed-Kontakt, an dem die Spannung 1,5 V anliegt, wird an der Gabel des Fahrrades befestigt. An einer Speiche wird ein kleiner Magnet angebracht. Immer, wenn der Magnet den Reed-Kontakt passiert, schließt er ihn, so dass die Spannung kurzzeitig auf 0 V zurückgeht. Ein solcher Spannungseinbruch geschieht genau einmal während einer vollen Umdrehung des Rades. Schafft man es also, die Zeitpunkte dieser Ereignisse zu ermitteln, kann man (mit Hilfe des Raddurchmessers) Wegstrecke und Zeit zueinander in Beziehung setzen und die Bewegung des Fahrrades analysieren.

Für die Aufzeichnung der Spannungseinbrüche verwenden wir ein einfaches selbstgebautes Interface und einen tragbaren Kassettenrecorder (Bild 1). Das Interface enthält eine 1,5 V-Mignonzelle und einen Schutzwiderstand. Mignonzelle, Widerstand, Reed-Kontakt und Line-In-Eingang des Kassettenrecorders (über einen DIN-Stecker) sind einfach in Reihe geschaltet. Der Kassettenrecorder wird während des Messvorgangs auf „Aufnahme“ gestellt. Das Band hält jedes Schließen des Reed-Kontaktes als deutlich hörbaren „Klick“ fest.

Zur Auswertung wird der Inhalt der Kassette über die Soundkarte in den Computer überspielt. Nun kann man sich die Aufzeichnung mit Hilfe eines geeigneten Programms anhören und anschauen (z.B. mit CoolEdit, einem Audio-Editierprogramm, Bild 2). Die rein „körperliche“ Erfahrung von Bewegungsvorgängen („Wie fühlt es sich an, wenn ich beschleunige oder bremse? Was ist, wenn ich mit konstanter Geschwindigkeit fahre?“) muß mit anderen Repräsentationsformen, die der Computer bereitstellt, in Beziehung gesetzt werden. Bewegung ist hörbar und sichtbar; sie wird „auralisiert“ und „visualisiert“.

Die physikalischen Ereignisse in Abhängigkeit von der Zeit liegen nun in einer solchen Form vor, dass sie weiter quantitativ ausgewertet werden können. Ein von uns geschriebenes kleines Auswertungsprogramm namens „Timer“ geht jetzt die (nunmehr ja in digitaler Form vorliegenden) Spannungswerte durch und registriert mit Hilfe der Sample-Rate die Zeitpunkte, bei denen die Spannung unterhalb eines geeignet gewählten Schwellenwertes lag, bei denen also ein Spannungseinbruch registriert wurde. Eine Plausibilitätsabfrage sorgt dafür, dass eng benachbarte Werte mit geringer Spannung dem selben (und nicht dem nächsten) Ereignis zugeordnet werden: Eine Zeitdifferenz von weniger als 0,2 s zwischen zwei Ereignissen hätte bei üblichen Raddurchmessern zur Folge, dass die Geschwindigkeit über 40 km/h betragen würde; sie wird daher ignoriert.

Die ermittelten Zeitpunkte werden von dem Programm in eine weitere Datei geschrieben, die ein einfaches ASCII-Textformat besitzt und z.B. in eine Spalte einer EXCEL-Tabelle importiert werden kann (Bild 3). Anschließend ist eine Auswertung mit EXCEL möglich,

beispielsweise in Form eines Weg-Zeit- und eines Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms (Bilder 4 und 5). Die Bilder gehören alle zu ein- und demselben Messbeispiel, bei dem ein Fahrrad zunächst beschleunigt wurde, dann eine kurze Zeit näherungsweise gleichförmig weiterrollte und schließlich bis zum Stillstand abgebremst wurde.

4. Das Unterrichtsprojekt: Bestimmung der Anhaltewege von Fahrrädern

Verlauf des Projekts

In einer dem eigentlichen Projekt vorangestellten Einführungsphase wurden in Form von lehrerzentriertem Unterricht mit (Labor-)Schülerübungen die benötigten Begriffe („Geschwindigkeit“, „Beschleunigung“) und Zusammenhänge („gleichförmige Bewegung“, „beschleunigte Bewegung“) erarbeitet. Um eine rechnerische Auswertung der Projektdaten zu ermöglichen, wurden den Schülerinnen und Schülern außerdem die entsprechenden Bewegungsgesetze plausibel gemacht (d.h. aus Versuchen gewonnen). Der Bau der Interfaces erfolgte durch eine Gruppe von Freiwilligen in einer nachmittäglichen Sonderaktion.

Das eigentliche Projekt mit dem Thema „Der Anhalteweg meines Fahrrades“ erstreckte sich über 4 Doppelstunden. Zu Beginn der ersten Doppelstunde erhielten die Schülerinnen und Schüler einen Projektplan, der Angaben über Ziele, Pflichten, Verlauf und Informationsquellen enthielt und mit der Klasse besprochen wurde (Bild 6). Nach der Einteilung der Gruppen wurden diese sich selbst überlassen. Auch in den folgenden Doppelstunden fand nur zu Beginn eine gemeinsame Besprechung statt, um aufgetretene Fragen zu klären oder um notwendige Informationen zu geben, ansonsten arbeiteten alle Schülerinnen und Schüler selbstständig in ihren Gruppen. Dabei ergab sich in der Regel folgende Zeiteinteilung: Erste Doppelstunde: Vorbereitung, Planung; zweite Doppelstunde: Montierung der Messapparatur, Durchführung der Messung; dritte Doppelstunde: Auswertung der Messungen mit dem Computer; vierte Doppelstunde: Abfassung des Berichtes. Alle 9 Gruppen schafften es, rechtzeitig einen Bericht abzugeben.

Bild 7 zeigt einen (unkorrigierten) Ausschnitt aus einem der Berichte.

Ergebnisse des Projektes – eine erste qualitative Wertung

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung wurden vor Beginn und nach Ende des eigentlichen Projektes je zwei Fragebogen-Untersuchungen durchgeführt, die die fachlichen Kenntnisse und die Einstellung zur Arbeit am Computer in Erfahrung bringen sollten. Über diese Ergebnisse wird an anderer Stelle berichtet. Folgende qualitative Erfahrungen erscheinen uns bemerkenswert und sollen Leser zur Nachahmung ermutigen:

- Die Aufnahme und Verarbeitung der Messwerte gelang auch im unterrichtlichen Einsatz einwandfrei, alle Schülergruppen erhielten auf Anhieb brauchbare Messwerte. Lediglich das „Timer“-Programm arbeitete recht langsam, was daran gelegen haben könnte, dass Daten und Programme auf dem zentralen Server lagen und von fast allen Gruppen gleichzeitig beansprucht wurden, so dass es zum Datenstau kam. Gegebenenfalls müssen wir auch das Programm verbessern.
- Unserer Beobachtung nach fiel es den Schülerinnen und Schülern leicht, die Messmethode zu verstehen und anzuwenden. Grundsätzliche Fähigkeiten im Umgang mit Programmen und Daten wurden durch „learning by doing“ erworben. Auch waren keinerlei Vorbehalte oder Hemmschwellen feststellbar, wie sie Erwachsene manchmal zeigen: Computer sind für Jugendliche nicht fremdartig oder gewöhnungsbedürftig, sondern bereits beinahe so selbstverständlich wie Buch und Taschenrechner.

- Auffällig war, dass zwei Mädchengruppen, die geringe Vorkenntnisse im Umgang mit dem Computer besaßen, besonders große Fortschritte machten und am Ende des Projektes sehr sicher mit Betriebssystem und mit EXCEL umgehen konnten. Offenbar fühlten sich die Mädchen durch die gewählte Art der Behandlung des Themas besonders angesprochen. Auch die Tatsache, dass sie in eigenen Gruppen arbeiten konnten, mag dabei eine nicht unerhebliche Rolle gespielt haben.
- Die gewählte, die Eigentätigkeit betonende Unterrichtsform wurde von allen Beteiligten als positiv empfunden: von den Schülern und Schülerinnen, weil sie aktiv sein konnten, und von den Unterrichtenden, weil sie sich auf die Rolle als Berater (statt als Lenker) konzentrieren konnten.
- Die Unterscheidung von gleichförmiger und beschleunigter Bewegung, die den Lernenden am Anfang häufig schwerfällt, stellte für keine Gruppe ein Problem dar. Wir vermuten, dass die Einbeziehung verschiedener Wahrnehmungskanäle und Repräsentationsformen, die unsere Methode ja beinhaltet, hier eine wichtige Rolle spielt: Jedem, der die Folge der gespeicherten „Klicks“ abhört, ist der Bewegungstyp unmittelbar klar. Man kann ganz intuitiv „herauszuhören“, ob es sich um eine beschleunigte oder um eine gleichförmige Bewegung handelt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Wir erwarten, dass die Einbettung des Themas und die Verbindung von Zugängen auf der intuitiven Ebene (Sehen, Hören, Erleben von Bewegungen) und auf der rationalen Ebene (Messen, Auswerten, grafisch Darstellen, Wechsel zwischen unterschiedlichen Repräsentationsformen) für die betrachtete Altersstufe nicht nur affektiv bedeutsam ist, sondern auch zu langfristig stabilen Lerneffekten führt. Um diese Effekte empirisch abzusichern, sind allerdings breiter angelegte Untersuchungen erforderlich.

Durchweg wird die eigenverantwortliche Arbeitsweise als neue Lernform positiv bewertet. Der Computer sollte daher wie eingangs ausgeführt als Chance begriffen werden, um mehr dieser aktiven Phasen in den Unterricht einzubeziehen. Das Verhältnis von Fördern und Fordern gewinnt dabei an Dynamik: Das Fördern der Eigenaktivität bei den Lernenden ist durchaus kompatibel mit erhöhten Anforderungen, die mit dieser Lernform einhergehen. Offenbar wird auch „nebenher“ einiges gelernt, indem man anderen Gruppen über die Schulter schaut.

Die Schülerinnen und Schüler der Erprobungsklasse kommen sehr gut mit der Anwendung des Computers als Messwerkzeug zurecht und mit der Vorgabe, sich mit einer komplexen Aufgabenstellung über einen größeren Zeitraum hinweg zu beschäftigen und selbständig Lösungen zu erarbeiten. Obwohl sie dabei mit zum Teil noch nicht bekannten Softwarewerkzeugen umgehen müssen, gelingt dennoch eine sinnvolle Nutzung, und es wird sehr zielstrebig gearbeitet. Die dabei gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit dem Computer als Mess- und Auswertwerkzeug kann man als „authentisch“ bezeichnen, denn sie entsprechen der Standardmethode der Datenerfassung in Naturwissenschaft und Technik. Diese ersten Erfahrungen mit der Aufnahme und der Analyse von Messdaten sind tragfähig und können im weiteren Unterricht nach und nach ausgebaut werden, beispielsweise indem zunehmend der Grad der Mathematisierung vertieft wird und Aspekte der Modellbildung einbezogen werden.

In fachlicher Hinsicht gelingt auf der qualitativen Ebene eine gute Verankerung grundlegender physikalischer Begriffe. Die genaue quantitative Auswertung mit Hilfe der

Bewegungsgesetze fällt allerdings vielen Schülerinnen und Schülern schwer und sollte eher dem 11. Jahrgang vorbehalten bleiben. Trotzdem muß man sich nach unserer Überzeugung nicht mit einer ausschließlich qualitativen Betrachtung zufriedengeben.

Das Projekt liefert für gute wie auch für schwächere Schülerinnen und Schüler Lernanreize und bietet ein Spektrum von Entfaltungsmöglichkeiten, das es erlaubt, unterschiedlichen Fähigkeiten gerecht werden. Die durchweg gute Resonanz ist für uns Anlaß, den eingeschlagenen Weg weiter zu verfolgen und die Benutzung des Computers als authentisches physikalisches Werkzeug im Unterricht zu intensivieren, als ein Tool, das zugleich auch wesentlich aktivere Formen des Lehrens und Lernens und der interaktiven Einbindung der Lernenden ermöglicht. Wir denken hierbei insbesondere an den Einsatz für fachübergreifende Projekte im Bereich der Schwingungen und Wellen, der Physik und Musik, der Akustik sowie der (biologischen und technischen) Informationsverarbeitung. Hier kann der Computer in einer sehr umfassenden und tiefen Weise dazu beitragen, die Welt draußen und die Welt im Kopf besser zu verstehen (vgl. dazu [10]).

6. Weitere Informationen: Materialien und Links

Weitergehende Informationen zur verwendeten Hardware (Bauplan für die Interfaces, Kosten der verwendeten Komponenten, Beschaffungshinweise), zu den benutzten Programmen und zur Durchführung und Auswertung des Projekts können dem BLK-Server entnommen werden: <http://planet.ipn.uni-kiel.de/projekte1999/braune/>. Hier steht auch das Timer-Programm zum Download bereit. Eine Shareware-Version des Audio-Editors CoolEdit findet man unter <http://www.syntrillium.com>. Ein vollständiger Satz Messapparaturen (Kassettenrecorder, Reed-Kontakte, Interfaces) kann beim Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) ausgeliehen werden (E-Mail-Adresse: blk-media@ipn.uni-kiel.de).

Über Rückmeldungen und Anregungen würden wir uns freuen. Unsere E-Mail-Adressen befinden sich ebenfalls auf dem BLK-Server.

1 K. Mainzer, Computer – Neue Flügel des Geistes?, Berlin, 1995

2 J. Mittelstraß, Information oder Wissen – Vollzieht sich ein Paradigmenwechsel?
Physikalische Blätter **54** (1998) 445

3 H. Mandl, G. Reinmann-Rothmeier, C. Gräsel, Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Systematische Einbeziehung von Medien, Informations- und Kommunikationstechnologien in Lehr- und Lernprozesse“, BLK-Kommission, Heft 66, Bonn (1998)

4 G. Tulodziecki, Medien in Erziehung und Bildung, Bad Heilbrunn, 1997

5 R. R. Hake, Am. J. Phys. **66** (1998) 64

6 <http://planet.ipn.uni-kiel.de>

7 <http://www.wins.uva.nl/research/amstel/bicycle>

8 M. Euler in: H. Atmanspacher, E. Ruhnau (Eds.), "Time, Temporality, Now: Experiencing Time and Concepts of Time in an Interdisciplinary Perspective", Berlin (1997)

9 S. Drake, Scientific American **232** (1975) 98

10 M. Euler, Biologie in unserer Zeit **26** (1996) 313, **30** (2000) 45