
Ein Konzept für die Informationstechnische Grundbildung im Rahmen des Physikunterrichts

Verfasser: Prof. Friedrich Herrmann, Institut für Didaktik der Physik, Universität Karlsruhe, Kaiserstraße 12, 7500 Karlsruhe und Dr. Peter Schmälzle, Mörke-Gymnasium, Karlstraße 19, 7140 Ludwigsburg

Es wird ein Konzept für die Behandlung der verschiedenen Aspekte der Datenübertragung, -speicherung und -verarbeitung im Physikunterricht der Sekundarstufe I vorgestellt. Das Konzept beruht darauf, daß die physikalische Größe Datenmenge (das Shannonsche Informationsmaß) eine ähnlich gebietsübergreifende, ordnende Funktion hat, wie die Energie. Die Datenmenge spielt hier aber nicht nur für die physikalischen Grundlagen der modernen Techniken, wie Elektronik, Videotechnik und Datenverarbeitung, eine wichtige Rolle, sondern auch in den klassischen Disziplinen Optik und Akustik.

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren wurde am Institut für Didaktik der Physik an der Universität Karlsruhe ein Konzept für die Informationstechnische Grundbildung (ITG) im Rahmen des Physikunterrichts entwickelt. In einer Rohfassung war das Konzept zunächst mit zwei Schulklassen erprobt worden. Daraufhin entstand ein Schülerskriptum mit Aufgaben, sowie ein Text mit Unterrichtshilfen für den Lehrer. Dieses Material liegt in Form eines Buches vor [1].

Das ITG-Konzept ist Teil eines neuen Physikkurses für die Sekundarstufe I. Der gesamte Sek-I-Kurs, und damit auch der ITG-Teil, wird zur Zeit in einem »Großversuch« mit etwa 1200 Schülern an mehreren Gymnasien in Baden-Württemberg und in Rheinland-Pfalz erprobt. Wir möchten hier den ITG-Teil den Lesern von MNU vorstellen.

Die Unterrichtseinheiten zur ITG umfassen insgesamt etwa 25 Stunden Unterricht. Dieser Unterricht deckt aber auch Teile des normalen Physikstoffs ab. Das Unterrichtskonzept ist außerdem so angelegt, daß man verkürzte Versionen davon unterrichten kann. Bereits eine Unterrichtssequenz von nur 8 Stunden ist durchaus sinnvoll und erfüllt wesentliche Ziele der ITG.

In Abschnitt 2 werden an Hand einiger Leitideen zunächst die Ziele vorgestellt, die wir uns für die Entwicklung des Unterrichts gesetzt hatten. In Abschnitt 3 wird der Inhalt der 7 Kapitel des Unterrichtsentwurfs kurz zusammengefaßt dargestellt.

2 Leitideen für das Unterrichtskonzept

2.1 Themen, die im Rahmen der ITG im Physikunterricht behandelt werden

Das Hauptanliegen der ITG ist es, den Schülern die moderne Informations- und Datentechnik nahezu bringen, d. h. Techniken zu behandeln, die mit Datenverarbeitung, Datenspeicherung und Datentransport

zu tun haben. Zu diesen Themen gehören nicht nur der Computer. Hierzu gehören auch viele andere technische Entwicklungen, die immer mehr an Bedeutung gewinnen: Hifi-, Video- und Fernsehtechnik, die verschiedensten Dienste der Post, wie Telefon, Telex, Teletex, Btx und Fax, außerdem moderne Meß- und Abbildungstechniken, wie etwa Radar und Tomographie.

Zur »Datenphysik« gehören aber nicht nur diese neuen Bereiche der Technik. Datenphysik gibt es schon seit langer Zeit: Auch die altherwürdige Optik und die Akustik befassen sich mit Datenübertragung, -speicherung und -verarbeitung. Und auch diese Tatsache soll im Rahmen der ITG deutlich werden.

Schließlich kann die ITG den fächerübergreifenden Unterricht fördern: Interessante und aktuelle Anwendungen von »Datentechnik« gibt es auch in biologischen Systemen, und hier gleich auf zwei Ebenen: 1) Die Nerven dienen dem Datentransport, das Gehirn der Datenspeicherung und -verarbeitung; 2) die DNS ist ein faszinierendes und gleichzeitig einfaches Beispiel eines Datenspeichers.

2.2 Die Datenmenge als Basisgröße

Wenn man daran gehen will, alle Erscheinungen und technischen Einrichtungen, die wir zur Datentechnik zählen, physikalisch einheitlich zu beschreiben, braucht man ein geeignetes Werkzeug. Die wichtigsten Werkzeuge des Physikers sind die physikalischen Größen. Wir brauchen also eine Größe, die für die Beschreibung der im vorigen Abschnitt angesprochenen Phänomene benutzt werden kann.

Unsere Situation ist ähnlich zu der um die Mitte des vorigen Jahrhunderts. Damals waren die wissenschaftlichen Beschreibungen von Mechanik, Elektrizitätslehre und Wärmelehre noch recht unabhängig voneinander, obwohl längst klar war, daß es Zusammenhänge geben mußte. Diese Zusammenhänge konnten aber von der Theorie erst erfaßt werden, nachdem

eine neue physikalische Größe konstruiert worden war: die Energie.

Daß die Energie ihre große Bedeutung erlangt hat, hängt unter anderem damit zusammen, daß sie »mengenartig« ist. Der Umgang mit mengenartigen Größen ist besonders einfach, weil sie die folgenden Eigenschaften haben: (1) Ihr Wert ist einem Raumbereich zugeordnet, d. h. man kann zu jeder solchen Größe eine Dichte bilden; (2) sie können strömen. Beides zusammen kann man auch so ausdrücken: Für mengenartige Größen kann man Bilanzen aufstellen.

Angesichts des Erfolgs, den die Einführung der Energie der Physik gebracht hat, wäre es wünschenswert, eine Größe mit Mengencharakter zu konstruieren, die die Zusammenfassung der verschiedenen Bereiche der Datentechnik ermöglicht. Wir sind nun in der glücklichen Lage, daß eine solche Größe gar nicht mehr konstruiert zu werden braucht, es gibt sie schon seit etwa 40 Jahren: das von C. SHANNON eingeführte Maß für die Informations- oder Datenmenge [2].

Diese Größe hat sich in der Nachrichtentechnik längst bewährt, und sie ist die zentrale Größe einer eigenen Theorie, der Informationstheorie, geworden. Von der Möglichkeit, mit ihrer Hilfe die Datentechnik systematisch zu ordnen, wurde aber bisher kaum Gebrauch gemacht.

Das Shannonsche Informationsmaß, oder kurz die Datenmenge, ist definiert als

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \text{ld } p_i \text{ bit.} \quad (1)$$

Diese Größe ist ein Maß für die Menge an Daten (gemessen in bit), die von einem Zeichen getragen wird. N ist die Gesamtzahl der zur Verfügung stehenden, unterschiedlichen Zeichen. p_i ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Zeichens mit der Nummer i . Wir benutzen »ld« als Abkürzung für den Logarithmus zur Basis zwei. Mit Gleichung (1) läßt sich sowohl die Menge der in einem Speicher enthaltenen Daten, als auch die Menge der durch eine Leitung in einer vorgegebenen Zeit übertragenen Daten berechnen.

Auf den ersten Blick sieht es so aus, als sei diese Größe so schwierig, daß sie für den Elementarunterricht ungeeignet ist. Setzt sie nicht ein Verständnis sowohl des Logarithmus als auch des Wahrscheinlichkeitsbegriffs voraus? Bei näherer Betrachtung merkt man, daß sich für den Ausdruck (1) eine elementare Form finden läßt, und daß die Größe H dann sogar besonders einfach wird.

Man wird sich nämlich zunächst auf Situationen beschränken, bei denen alle N auftretenden Symbole gleich wahrscheinlich sind, bei denen also gilt:

$$p_1 = p_2 = \dots = p_N = 1/N.$$

Damit wird aus Gleichung (1)

$$H = \text{ld } N \text{ bit.} \quad (2)$$

In diesem Ausdruck treten keine Wahrscheinlichkeiten mehr auf. Zwar steht in dieser Gleichung noch der Logarithmus, aber Gleichung (2) ist äquivalent zu

$$2^{H/\text{bit}} = N.$$

Damit können Schüler, die den Logarithmus noch nicht kennen, den Wert von H leicht bis auf ein bit bestimmen: Sie müssen nur nachsehen, welcher Zweierpotenz der Wert von N am nächsten ist.

Ein Beispiel: Bei einer Datenübertragung sollen die Buchstaben des Alphabets, und zwar nur die Großbuchstaben, verwendet werden; außerdem einige Satzzeichen, so daß sich insgesamt 32 Zeichen ergeben. Nun ist $32 = 2^5$; also ist die Datenmenge pro Zeichen $H = 5$ bit.

Damit sind wir bei einer Eigenschaft der Datenmenge, die sie zu einer besonders umgänglichen Größe macht. Während man die Werte anderer Größen oft nur durch komplizierte Meßverfahren gewinnen kann, erhält man die Werte von H im wesentlichen durch Abzählen.

Ein weiterer Grund dafür, daß der Umgang mit H nicht schwierig ist, liegt in der schon erwähnten Mengenartigkeit der Größe.

2.3 Die Analogie zwischen Energie und Datenmenge

Zwischen Energie und Datenmenge existiert eine sehr weitgehende Analogie. Zunächst stellt man fest, daß beide Größen extensiv oder »mengenartig« sind, sie sind bilanzierbar.

Daß man Energie auf verschiedene Arten transportieren kann – mit elektrischen Kabeln, mit heißem oder unter Druck stehendem Wasser durch Rohre, über Treibriemen oder mit Hilfe brennbarer Gase – kann man folgendermaßen beschreiben: Man sagt, die Energie habe verschiedene »Träger« [3, 4]. Elektrizität, heißes Wasser, Treibriemen und Propangas sind verschiedene Energieträger. Herkömmlich spricht man in diesem Zusammenhang von verschiedenen Austauschformen der Energie.

Auf dieselbe Art wie Energietransporte kann man auch Datentransporte nach ihrem »Träger« klassifizieren. Überträgt man Daten mit einer Telefonleitung, so ist der Datenträger Elektrizität. Wenn man spricht, gibt man Daten mit dem Träger Schall ab, etc.

Die Klassifizierung von Energietransporten gestattet die Zuordnung der entsprechenden Vorgänge zu bestimmten Teilgebieten der Physik. So gehört die Energieübertragung mit Elektrizität in die Elektrizitätslehre, die mit Treibriemen oder rotierenden Wellen in die Mechanik und die mit heißem Wasser oder heißer Luft in die Thermodynamik.

Aufentsprechende Art kann man Datentransporte, je nach Datenträger, verschiedenen physikalischen Gebieten zuordnen. Die Optik befaßt sich mit dem Datenträger Licht, die Akustik mit dem Datenträger Schall, die Elektronik mit dem Datenträger Elektrizität und der Datenträger Radiowellen gehört in die Elektrodynamik.

Die Analogie zwischen Energie und Datenmenge wird in unserem Unterrichtsvorschlag für die ITG ausgenutzt. Der Grund ist derselbe wie bei jeder Analogie, die im Unterricht behandelt wird: Es ist erstens lernökonomisch vorteilhaft, zweitens ist das Erkennen der Analogie ein lohnendes Bildungsziel.

3 Überblick über den Kurs

3.1 Daten und Datenträger

In einer vorangehenden Unterrichtseinheit wurde festgestellt, daß für einen Energietransport immer ein »Energieträger« notwendig ist: »Energie fließt nie allein.« Beispiele für Energieträger waren: Elektrizität, heißes Wasser, Preßluft, Treibriemen, Licht. Jeder Energietransport kann dargestellt werden durch ein Flußdiagramm (Abb. 1: links die Energiequelle, der Heizkessel einer Zentralheizung, rechts der Energieempfänger, der Heizkörper). Von der Quelle zum Empfänger fließt Energie, außerdem fließt noch der Energieträger (im Beispiel in einem geschlossenen

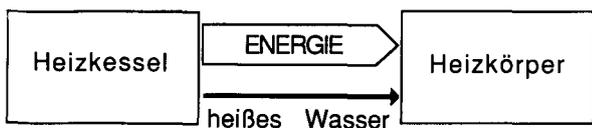


Abb. 1. Der Heizkessel ist die Energiequelle, der Heizkörper der Energieempfänger. Energieträger ist das heiße Wasser.

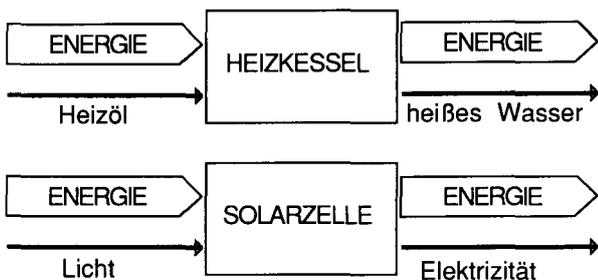


Abb. 2. Im Heizkessel wird Energie von Heizöl auf heißes Wasser umgeladen, in einer Solarzelle von Licht auf Elektrizität.

Kreislauf). Viele Geräte dienen dem Zweck, Energie von einem Energieträger auf einen anderen »umzuladen« (Abb. 2). Im Heizkessel wird die Energie von Heizöl auf heißes Wasser umgeladen, in einer Solarzelle von Licht auf Elektrizität.

Im ersten Abschnitt über Datentransporte wird festgestellt, daß Datenübertragungen eine ganz ähnliche Struktur haben. Für jeden Datentransport ist ein Datenträger notwendig: Elektrizität, Licht, Schall, Radiowellen, oder auch Briefe und Zeitungen. Auch bei jedem Datentransport kann man eine Quelle und einen Empfänger ausmachen (Abb. 3). Und viele Geräte haben die Funktion, Daten von einem Träger auf einen anderen umzuladen (Abb. 4). Ein echter, technischer Datentransport besteht oft aus einer langen Kette hintereinandergeschalteter Datenumlader (Abb. 5).

3.2 Die Datenmenge

In welchem Fall werden mehr Daten übertragen: durch ein Telegramm, das eine Seite lang ist oder bei einem einminütigen Telefongespräch? Wir brauchen ein Maß für eine Menge von Daten, für die »Datenmenge«.

Es wird festgestellt, daß vor jeder Datenübertragung zwischen Quelle und Empfänger eine Sprache, ein Code vereinbart werden muß. Falls der Code nur 2 verschiedene Zeichen enthält, wird mit jedem Zei-

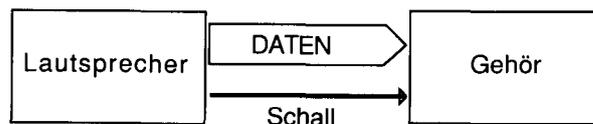


Abb. 3. Der Lautsprecher ist die Datenquelle, das Gehör einer Person der Datenempfänger. Datenträger ist der Schall.

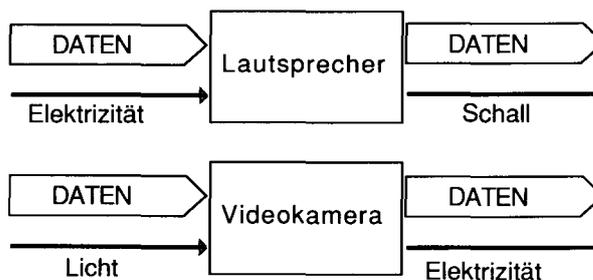


Abb. 4. Im Lautsprecher werden Daten von Elektrizität auf Schall umgeladen, in der Videokamera von Licht auf Elektrizität.



Abb. 5. Kette von Datenumladern bei einer Fernsehübertragung.

chen die Datenmenge $H = 1$ bit übertragen: 1 bit ist diejenige Datenmenge, die mit einem »Binärzeichen« übertragen wird.

Von dieser Festlegung gelangt man über schrittweise Folgerung zu der Aussage: Beträgt die Zahl der verschiedenen verfügbaren Zeichen 2^n , so werden pro Zeichen n bit übertragen. Mit diesem Ergebnis kann die Datenmenge pro Zeichen für die verschiedensten Transporte berechnet werden.

Ein Buchstabe, den man auf der Schreibmaschine schreibt, trägt etwa 7 bit, ein chinesisches Schriftzeichen ungefähr 12 bit. Ein gewöhnlicher Türschlüssel ist ein Datenträger, er hat etwa 29 bit. Ein wichtiges Ergebnis ist die Datenmenge eines (einigen) Bildes des Fernsehbildschirms. Wir finden im Unterricht eine Datenmenge von 4 Mbit.

3.3 Die Datenstromstärke

Es waren früher schon andere Stromstärken eingeführt worden. Eine Stromstärke ist immer eine Menge pro Zeit. Entsprechend definieren wir die Datenstromstärke I_H als Datenmenge pro Zeit:

$$I_H = H/t.$$

Wir berechnen Datenstromstärken für einige Datentransporte, für andere gibt sie der Lehrer an: für eine Morseübertragung, für Telex, für Telefon und Radio, und für das Fernsehen. Besonders wichtig sind die Werte für das Radio, nämlich

$$I_H \approx 100 \text{ kbit/s}$$

und für das Fernsehen

$$I_H \approx 100 \text{ Mbit/s}.$$

Die Biologen versichern uns, daß die Datenstromstärke vom Ohr zum Gehirn etwa 100 kbit/s und vom Auge zum Gehirn (durch den dicken Sehnerv) etwa 100 Mbit/s beträgt. Die Übereinstimmung mit den Werten für das Radio bzw. Fernsehen ist kein Zufall. Radio- und Fernsehtechnik sind der Kapazität unserer Sinnesorgane gerade angepaßt. Wir schließen: Bei der akustischen Wahrnehmung fließt ein Datenstrom von etwa 100 kbit/s, bei der optischen fließt ein Datenstrom von etwa 100 Mbit/s.

3.4 Datenspeicher

Man stellt fest, daß zahlreiche Einrichtungen, die auf den ersten Blick kaum eine Gemeinsamkeit erkennen lassen, demselben Zweck dienen: der Speicherung von Daten. Datenspeicher sind etwa

- Video- und Tonbandkassette,
- Film für Photoapparat und Filmkamera,
- Diapositiv,
- Folie für Schreibprojektor,
- Schallplatte,

- Kompaktschallplatte,
- Bildplatte,
- Buch, Zeitung,
- Notizbuch,
- Wandtafel,
- Noten,
- Lochstreifen für Fernschreiber,
- Lochkarten für Computer,
- Lochbänder für Leierkasten und automatisches Klavier,
- Walze einer Spieluhr,
- Diskette und Magnetband für Computer,
- elektronische Speicher im Computer und im Taschenrechner,
- Gehirn von Mensch und Tier.

Wir klassifizieren die Datenspeicher nach verschiedenen Kriterien, z. B. danach, ob sie löschar sind und wiederverwendet werden können (Schreib-Lese-Speicher) oder ob sie nur einmal mit Daten geladen werden können (reine Lesespeicher).

Für viele Speicher wird die gespeicherte Datenmenge berechnet oder abgeschätzt. Ein besonders interessantes Beispiel ist die DNS.

3.5 Verstärker

Wir stellen fest, daß jeder Datentransport von einem Energietransport begleitet ist, daß aber von der Energie auf dem Transportweg und beim Umladen stets etwas verloren geht.

Um die Energieverluste auszugleichen, um die Daten mit neuer »Wegzehrung« zu versehen, benutzt man Verstärker. Je nach Datenträger kann man elektrische, optische, akustische Verstärker unterscheiden. Abbildung 6 zeigt das Flußbild eines elektrischen Verstärkers.

3.6 Datenverarbeitung

Dies ist das längste Kapitel. Hier wird der Computer behandelt. Er wird beschrieben auf den verschiedensten Ebenen der Hierarchie (»Zwiebelschalenmo-

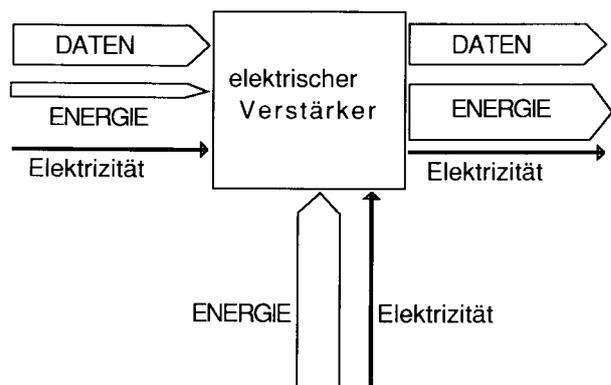


Abb. 6. Flußbild eines elektrischen Verstärkers.

dell«): auf der Ebene der Transistoren, der Chips und der größeren Baueinheiten. Da diese Behandlung auf konventionelle Art geschieht, wollen wir hier darauf nicht eingehen.

Wir wollen nur eine Besonderheit bei unserer Behandlung des Computers ansprechen, die sich dadurch ergibt, daß wir Bilanzen mit der Größe Datenmenge aufstellen.

Wir stellen fest, daß ein Computer die Datenmenge stets reduziert: Die Menge der herauskommen- den Daten ist (mit ganz wenigen Ausnahmen) kleiner als die der hineinfließenden. Dieses Ergebnis folgt aus einer einfachen Rechnung. Man erkennt es aber auch schon daran, daß man im allgemeinen aus den Daten am Ausgang die Daten am Eingang nicht rekonstruieren kann.

Wir stellen fest, daß diese Datenreduktion eines der wichtigsten Anliegen des Menschen ist, wenn er den Computer benutzt. Und wir lernen, daß auch das Gehirn ständig damit beschäftigt ist, Datenmengen zu reduzieren. Ein wesentlicher Teil der Zeichenerkennung oder allgemeiner, der Wahrnehmung, ist die Datenreduktion.

3.7 Verallgemeinerung der Definition der Datenmenge

Im bisherigen Unterricht wurde bei der Berechnung von Datenmengen und Datenstromstärken angenommen, daß alle Zeichen gleich wahrscheinlich sind. Treten aber, etwa bei einer Übertragung mit Binärzeichen, die beiden Zeichen mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit auf, so ist die Datenmenge pro Zeichen nicht mehr 1 bit, sondern kleiner als 1 bit.

Es ist nicht schwer, dies an Hand von Beispielen einzusehen. Wir erarbeiten den Satz: Mit einem Binärzeichen wird nur dann 1 bit übertragen, wenn die beiden Zeichen des Zeichenvorrats gleich wahrscheinlich sind. In allen anderen Fällen wird weniger als 1 bit übertragen.

Dieses Ergebnis hat interessante Anwendungen. Es gestattet zum Beispiel, für verschiedene »Ratenspiele« die optimale Strategie zu finden.

4 Schlußbemerkung

Wir möchten abschließend noch einmal das Ziel der in Abschnitt 3 beschriebenen Unterrichtseinheit diskutieren.

Die Schüler lernen, daß es zwischen vielen, äußerlich sehr verschiedenen Vorgängen eine Gemeinsamkeit gibt: Bei all diesen Vorgängen werden Daten von einer Stelle zu einer anderen übertragen. Außerdem wird gezeigt, daß die Struktur dieser Datentransporte dieselbe ist wie die von Energietransporten.

Den Schülern soll klar werden, daß viele Geräte und sogar Organe von Mensch und Tier, nämlich die

Sinnesorgane und die Stimme, analoge Funktionen haben.

Dabei geht es im wesentlichen um solche Geräte und Gegenstände, die die Schüler schon kennen, d. h. die sie schon gesehen haben oder von denen sie schon gehört haben, und von denen sie wissen, wozu man sie benutzt. Ein Teil dieser Gegenstände wird im weiteren Verlauf des Unterrichts noch im Detail behandelt, andere aber nicht. Es ist wichtig, daß hier auch solche Gegenstände eingeordnet werden, die später im Unterricht nicht mehr auftauchen. Im Unterricht kann so wieso nur eine kleine Auswahl von Geräten und Erscheinungen eingehend behandelt werden. Über viele Dinge, die eigentlich gut in den Physikunterricht paßten, erfahren die Schüler daher normalerweise gar nichts. Bei dem hier vorgeschlagenen Vorgehen lernen sie aber etwas Wesentliches auch über das, wofür sonst keine Zeit ist. Falls später zum Beispiel der Lautsprecher, nicht aber das Mikrophon behandelt wird, erwerben die Schüler doch einige sehr brauchbare Einsichten über das Mikrophon:

- daß das Mikrophon einfach eine Art Umkehrung des Lautsprechers ist;
- daß das Mikrophon für den Datenträger Schall das ist, was die Videokamera für den Datenträger Licht ist.

Unter den angesprochenen Geräten sind auch solche, die den Schülern vor dem Unterricht noch nicht bekannt waren, und die auch später nicht mehr behandelt werden.

Dieses Vorgehen, nämlich bei vielen Geräten nur ihre Rolle in einem größeren Zusammenhang anzusprechen, ist keine Notlösung. Wir halten vielmehr die Erkenntnis übergreifender Strukturen für ein sehr wichtiges Unterrichtsziel. Es wird gelegentlich mit der etwas kritischen Bezeichnung »Blackbox-Physik« versehen. Ein Unterricht, in dem ausschließlich solche übergreifenden Ordnungsprinzipien behandelt werden, wäre tatsächlich nicht wünschenswert. Die entgegengesetzte, reduktionistische Methode, die im traditionellen Unterricht manchmal anzutreffen ist, ist aber sicher auch keine gute Lösung. Sie beruht auf der Auffassung, daß man die Welt versteht, wenn man sie auf das mechanische Zusammenspiel möglichst kleiner Teile zurückführt.

Wir wissen aber, daß man in jeder Blackbox, die man öffnet, weitere, kleinere Blackboxen findet. Der Glaube, einmal an ein Ende zu kommen, wurde immer wieder enttäuscht. Es gibt viele hierarchisch angeordnete Ebenen der Betrachtung. Auf jeder von ihnen gelten eigene Gesetze. Diese sind zwar mit denen auf anderen Ebenen stets verträglich, aber die Begründung der Gesetze der einen Ebene aus denen der anderen ist oft nicht sehr ergiebig.

Die Kenntnis globaler Strukturen der Datentechnik ist a priori nicht weniger fundamental als die

Kenntnis der Funktionsweise eines Flipflops oder eines p-n-Übergangs.

Die Informationstechnische Grundbildung soll Allgemeinbildung sein, und wir meinen, daß es ein wichtigeres Ziel von Allgemeinbildung ist, Strukturen zu kennen, als die Funktionsweise eines speziellen Bauelements, etwa einer Triode oder eines Transistors. Allerdings steht diese Alternative hier gar nicht zur Diskussion. Unser Vorgehen sieht vielmehr so aus: Es werden übergreifende Strukturen behandelt, und es werden Details behandelt. Wegen der großen Zahl der technischen Details wird aber eine Auswahl getroffen. Nur ein Teil der bei der Behandlung der Strukturen an-

gesprochenen Erscheinungen und Geräte wird später im Einzelnen behandelt. Der Unterricht ist hier also exemplarisch.

Literatur

- [1] F. HERRMANN - P. SCHMÄLZLE: Daten und Energie. - Stuttgart: J. B. Metzler und B. E. Teubner 1987.
- [2] C. E. SHANNON - W. WEAVER: The mathematical theory of communication. - Urbana: University Press 1949.
- [3] G. FALK - F. HERRMANN: Neue Physik - das Energiebuch. - Hannover: Schroedel 1981.
- [4] G. FALK - F. HERRMANN - G. B. SCHMID: Energy forms or energy carriers. - American Journal of Physics **52** (1984) 794. □