

Heinz Muckenfuß  
Pädagogische Hochschule Weingarten

## **Elektrizitätslehre: Ein pädagogisch begründetes Unterrichtskonzept. Begriffsbildung mit Hilfe handgetriebener Generatoren**

### **Zusammenfassung<sup>1</sup>**

*Wozu sollen Schülerinnen und Schüler Elektrizitätslehre lernen, die in ihrem künftigen Leben weder im Beruf noch im Alltag jemals eine elektrische Stromstärke messen oder einen Widerstand berechnen werden? – Von der Antwort auf diese Frage hängt nicht nur ab, was wir im Unterricht lehren, sondern auch wie es gelehrt und gelernt werden soll. Der Vortrag handelt von einem Unterrichtskonzept, das ein Verstehen elektrischer Stromkreise als Systeme zur Energieübertragung anstrebt, nicht nur ein fachliches Verständnis, sondern auch die Einsicht in die gesellschaftliche und kulturelle Bedeutung der damit verbundenen Objektivationen. Das Problem der Veranschaulichung abstrakter Größen wird in dem Unterrichtsgang dadurch zu lösen versucht, daß die Erfahrung physiologischer Energieumsätze gezielt angestrebt wird. Der größte Teil aller Unterrichtsexperimente ist so gestaltet, daß die Schülerinnen und Schüler „ihren Strom selber machen“, mit dafür entwickelten handgetriebenen Generatoren.*

### **Vorbemerkung**

Das Konzept zum Elektrikunterricht, das vorzustellen ich gebeten wurde, hat schon eine kleine Geschichte hinter sich. Es wurde in seinen Grundzügen im Anschluß an unterrichtliche Erprobungen an Haupt- und Realschulen 1988 ausformuliert und seither über Vorträge, Fortbildungsveranstaltungen und Publikationen der Fachöffentlichkeit zur kritischen Bewertung, Erprobung und Weiterentwicklung anempfohlen. Zahlreiche Rückmeldungen haben zu vielerlei förderlichen Modifikationen des Unterrichtsvorschlages beigetragen. Möglicherweise kennen manche unter Ihnen die Kerngedanken unseres Konzepts bereits aus Veröffentlichungen, vielleicht haben Sie auch praktische Erfahrungen damit sammeln können. Es würde mich freuen, käme es infolgedessen im Verlauf dieser Tagung zu Diskussionen und Gesprächen.

Unsere\* Arbeit an diesem Konzept hatte verschiedene Wurzeln und „Vorläufer“, auf die ich hier nicht näher eingehen kann. Die pädagogische Fragestellung, von der alles seinen Ausgang nahm, möchte ich anhand einer kleinen Anekdote verdeutlichen:

Anfang der 80iger Jahre habe ich an einer Realschule Elektrik unterrichtet, um Ideen zu erproben, die wir an der Hochschule entwickelt hatten. Ein Jahr nach Abschluß des Projektes ließen wir im Rahmen einer Examensarbeit die Rudimente „ausgraben“, die als Spuren des Unterrichts in den Köpfen der Schülerinnen und Schüler noch nachzuweisen waren. Das Ergebnis war ziemlich ernüchternd. Ich war besonders davon überrascht, daß vor allem *Schülerinnen*, die während des Unterrichts mit herausragenden Leistungen gegläntzt hatten, ein Jahr später blanke Unkenntnis auch elementarster Zusammenhänge dokumentierten. Ich versuchte – bewaffnet mit dem Cassettenrecorder – die Gründe für die erstaunliche Vergessensleistung zu erheben. Sylvia, eines der Mädchen, die im Physikzeugnis damals eine „Eins“ hatten, merkte mir die Enttäuschung über ihren Kenntnismangel

---

<sup>1</sup> Manuskript eines Vortrages, der vom Verfasser im 5. Oktober 1994 auf einer Tagung in Heidelberg und in ähnlicher Form auch auf anderen Tagungen gehalten wurde.

an und versuchte mich mit den Worten zu trösten: „Aber das macht doch nichts, das braucht doch keiner!“ Als ich dies meinem Kollegen Prof. A. Walz erzählte, meinte er lapidar: „Da hat sie allerdings recht“.

Wozu braucht jemand Kenntnisse in Elektrizitätslehre, der – wie die Mehrheit unserer Schülerinnen und Schüler – weder Physiker noch Ingenieur noch Techniker wird? Dies scheint eine triviale Frage zu sein, auf die wir alle mehr oder weniger ausgefeilte Antworten zur Verfügung haben; dennoch: Vielfach fallen diese Antworten pauschal aus, etwa in dem Sinne: „Wir leben in einer durch und durch technisierten Welt, in der sich zurechtzufinden voraussetzt, daß man über elementare Kenntnisse aus der Physik verfügt.“ Dabei wird leicht übersehen, daß für die rein *praktische* Bewältigung des Alltags gerade ein so gefahrenträchtiges Gebiet wie die Elektrizität technisch geradezu „narrensicher“ gestaltet wird. Man braucht von Reihen- und Parallelschaltungen, von Stromstärke und Spannung nichts zu verstehen um eine Glühlampe auszuwechseln oder die Stereoanlage zu bedienen. Nur in Ausnahmefällen wird die alltäglich notwendige Handlungskompetenz durch fehlende fachliche Kenntnisse eingeschränkt. Darum kann es also nicht gehen, eher schon um die *intellektuelle* Bewältigung im Sinne eines aufgeklärten geistigen Umgangs mit den technischen Objektivierungen unserer Zeit. Aber hier sind wir alle zu Kompromissen gezwungen, weil wir mit unseren biologisch begrenzten Möglichkeiten und der uns zur Verfügung stehenden Zeit nur einen Bruchteil der in unserer Kultur faktisch wirksamen Geisteswelt zu fassen kriegen. Man kann ohne weiteres viel Verantwortung übernehmen, z. B. Bundeskanzler werden, ohne etwas von Elektrizitätslehre zu verstehen. Wie können wir es Schülerinnen und Schülern verdenken, wenn sie – recht zahlreich, wie wir wissen – ausgerechnet der Physik nur eingeschränkte subjektive Relevanz in ihrer Lebensplanung zuschreiben?

Natürlich bin ich wie Sie der Überzeugung, daß es gut ist, wenn möglichst viele möglichst viel von den Naturwissenschaften verstehen. Ich halte aber die oben angedeuteten pauschalen Rechtfertigungen für bestimmte Inhaltsbereiche für unpädagogisch. Denn sie setzen die Wissenschaft als etwas Fertiges, Gegebenes voraus, in das die Schülerinnen und Schüler einzuführen seien, wozu dann didaktisches Geschick, Elementarisierung, Beschränkung auf „das Wesentliche“ usw. notwendig sind. Dem korrespondiert die meist unausgesprochene Auffassung, daß fehlende Einsicht in die Sinnhaftigkeit unserer Lehrabsichten und Unterrichtsinhalte ursächlich mit den noch fehlenden Kenntnissen der Schülerinnen und Schüler zusammenhängen, sich im Erfolgsfalle aber als Ergebnis des Lernprozesses posthum einstellen werde. Bis dahin sind spezifische Motivationstechniken, pädagogischer Eros der Lehrkraft, gelegentliche Anwendungsbezüge u.ä. als Gleitmittel im quietschenden Getriebe eines sich von Stunde zu Stunde, von Begriff zu Begriff vorwärtmühenden Unterrichts unentbehrlich. Das Dumme ist nur, daß erfolgreiches und dauerhaftes Lernen selten stattfindet, solange die Klassenarbeiten und Noten den wesentlichen und alleinigen Ansporn bilden. Der für die Sinnerschließung unseres Tuns notwendige Erfolg stellt sich dann erst gar nicht ein. Am Ende steht für allzu viele die Abwendung.

Das hier angerissene Feld pädagogischer Schwierigkeiten kann nicht Gegenstand des Vortrages sein. Es soll lediglich die Perspektive andeuten, unter der unsere didaktischen Bemühungen stattfinden. (An anderer Stelle habe ich mich mit diesen Grundsatzfragen ausführlich beschäftigt [1].)

Die physikalischen Begriffe, Gesetze, Modelle usw. bilden in unserem Konzept nur das Baumaterial, aus dem im Prozess des Unterrichts für möglichst viele Schülerinnen und Schüler ein aktuell als lebenspraktisch bedeutsam wahrgenommenes Kompetenzgefüge geformt wird. Etwas schlichter ausgedrückt: Wir wollen nicht einfach „die Elektrizitätslehre“ (was ist das?) vermitteln, sondern deren Inhalte so auswählen, aspektieren und aneinanderfügen, daß bei den Schülerinnen und Schülern die Frage „wozu muß ich das lernen?“ erst gar nicht aufkommt, weil die Bedeutung jederzeit einsehbar ist. Das mag – je nach Standpunkt – überzogen anspruchsvoll oder trivial klingen. Im Sinne einer di-

daktischen *Zielvorstellung* für die Konstruktion von Curricula habe ich in verschiedenen Arbeitsfeldern mit dieser Maxime befriedigende Erfahrungen gemacht, auch wenn das Ziel sich gelegentlich als unerreichbar erweist.

### **Zur pädagogischen Problematik der Elektrizitätslehre**

Die Elektrizität begegnet den Schülerinnen und Schülern weit überwiegend in Form kultureller bzw. technischer und geistiger Artefakte. Im Lernprozess geht es nicht – wie es z. B. in der Optik, Wärmelehre oder Mechanik zumindest möglich ist – um die Genese von Theorie ausgehend von der sinnlich wahrgenommenen Natur. Nicht die Natur selbst ist Gegenstand der Auseinandersetzung und Ausgangspunkt für Begriffe, Gesetze und Modelle, sondern die komplexe Theorie zu einer technisch überformten „Natur“. Alle konkreten Gegenstände des Unterrichts, vom Konstantendraht über die Glühlampe bis hin zum Meßinstrument sind bereits Produkte dieser Theorie, setzen also vollständig voraus, was mit ihnen erst erschlossen werden soll. Gleiches gilt für die Begriffe und Gesetze, die wir ja mit Hilfe dieser „theoriehaltigen“ Mittel erarbeiten. Genetisches Lehren im Sinne Wagenscheins ist dadurch zumindest erschwert wenn nicht gar unmöglich. Dies sollte man sich bewußt eingestehen, auch wenn dadurch manch didaktisches Credo hinsichtlich der „naturwissenschaftlichen Methode“, die unserem Unterricht angeblich zugrunde liegt, in Frage gestellt wird. Es geht im Elektrizitätsunterricht um didaktisch zubereitete, lernpsychologisch effiziente und pädagogisch sinnvolle Mitteilungen zu dieser Theorie. Ich halte es aus diesem und anderen Gründen für falsch, wenn der Physikunterricht – wie es z. B. der Baden-Württembergische Lehrplan für Realschulen vorsieht – mit der Elektrizitätslehre beginnt.

Der erwähnte Umstand schlägt auch bei den „Alltagsvorstellungen“ zu Buche, die das Lernen im Bereich der Elektrizität nach mancher Leute Ansicht erschweren. Denn eben weil Elektrizität im Alltag von Bedeutung ist, hat sich dort eine an dieser Bedeutung orientierte Sprache entwickelt, die sich ebenfalls nicht auf sinnlich wahrnehmbare Natur bezieht, sondern auf jene Aspekte der Theorie, in der die Alltagsbedeutung aufgehoben ist. Ich führe einige Beispiele an:

- „... Bislang wurden nur kleinere Windenergieanlagen gefördert, die in der Regel bis zu 250 Kilowatt Strom erzeugen ...“ (Pressemitteilung des BMFT).
- „... Mit Zinssubventionen für die Umstellung auf Stromheizung werben Fachverbände und Stromerzeuger dafür, Strom in Nachtstromspeicheröfen und Durchlauferhitzern zu verheizen ...“ (ap).
- „Das neue Umspannwerk sorgt dafür, daß immer ausreichend Strom in die Steckdosen der Haushalte und Betriebe ... fließt. Der Leiter der Abteilung Hochspannung betonte, daß der Strombedarf von 9200 Kilowatt im Jahr 1980 auf derzeit 13500 Kilowatt gestiegen sei.“ (Schwäbische Zeitung 16.5.92).
- „Strom steht immer für Sie bereit – sauber, vielseitig und genau in der Menge, die Sie benötigen ...“ (Werbung der IZE).

Es macht keine Mühe, ähnliche Zitate aus täglich in Haus flatternden Informationen zusammenzustellen. „Falsches“ wird hier nur unter der Voraussetzung formuliert, daß es die Ladungsströmung sei, die mit dem Strombegriff gemeint ist. Aber gerade diese Unterstellung ist eindeutig unzutreffend. Man wird auch nicht erwarten können, daß die lebendige Alltagssprache sich durch die normierte Sprache der Physik bändigen läßt. Denn hinsichtlich der lebenspraktisch bedeutsamen Sachzusammenhänge ist das Erklärungspotential der Alltagsvorstellungen dem Wissen aus dem *konventionellen* Elektrizitätsunterricht offenkundig überlegen. Wie wäre sonst ihre im Vergleich zu unterrichtlich vermittelten Vorstellungen hohe Stabilität zu erklären?

Bemerkenswert ist, daß Formulierungen der zitierten Art keineswegs nur von „Laien“ gebraucht werden. Wissenschaftsjournalisten, Ingenieure, Techniker reden diese Sprache ebenfalls. Kontext und Maßeinheiten machen klar: Es geht um die Funktion elektrischer *Anlagen für die Energieübertragung und -umwandlung*. Neben der Informationsübertragung und -umwandlung ist dies die zentrale Aufgabe elektrischer Anlagen.

Deutet man den Quotienten Energie durch Zeit ( $P = W/t$ ) als *Energiestrom*, der in einer elektrischen Anlage von der Energiequelle zum Verbraucher fließt, so sind die Aussagen der o. g. Zitate konsistent und sinnvoll. Damit soll nicht gesagt sein, daß der Strömungsvorgang der Energie in den alltags-sprachlichen Wendungen immer den Vorstellungshintergrund bildet. Oft ist nur die Energie bzw. der Energieumsatz innerhalb einer Zeitspanne (z. B. pro Jahr) gemeint. Jedoch bildet der Energiestrom als physikalische Größe einen sinnvollen Weg, die entsprechenden Alltagsvorstellungen aufzugreifen und in konsistente physikalische Konzepte zu überführen.

„Strom“ als zirkulierende Ladungsbewegung spielt im alltäglichen Sprachgebrauch praktisch keine Rolle. Mit „Strom“ ist – außerhalb des Physiksaals – fast immer elektrische Energie (gemessen in kWh) oder der Energiestrom (gemessen in kW) gemeint. Das ist verständlich angesichts des Warencharakters, den Energie in unserer Gesellschaft hat. Denn der Ladungskreislauf bildet lediglich das Transportmittel für die elektrische Energie, analog z. B. dem Lkw-Kreislauf, der den Transport von Gütern bewirkt, oder analog den zirkulierenden Antriebsriemen und -ketten in Maschinen. Der Ladungsströmung kommt dabei als „Transportvehikel“ für die Energie nur eine mittelbare Bedeutung zu.

Der Elektrizitätsunterricht setzt aus historischen Gründen andere Schwerpunkte. Wir behandeln traditionell die Größen Strom, Spannung und Widerstand, das Ohmsche Gesetz und die Gesetze der Reihen- und Parallelschaltung meist vor der Betrachtung der Energieumsätze. Das ist, als wolle man jemandem, der sich für's Fahrradfahren interessiert und wissen will, welches Rad am besten zu seinen Bedürfnissen paßt, zunächst einige Wochen und Monate lang über Kettenantriebe, Ritzel und Übersetzungsverhältnisse belehren, ohne daß der Zusammenhang mit den subjektiven Interessen und Bedürfnissen thematisiert wird.

Die Konzepte des zirkulierenden Ladungsstromes und des linearen Energiestromes interferieren zwangsläufig in den Köpfen unserer Schülerinnen und Schüler, solange nicht eine synchrone unterrichtliche Behandlung es ermöglicht, beide Betrachtungsweisen zu differenzieren und die wechselseitigen Beziehungen durchschaubar zu machen. Mißverstehen ist dann eine direkte Folge des Bemühens der Schülerinnen und Schüler, unterrichtliche Informationen zum Ladungsstrom in das alltagsrelevante Energiekonzept einzuordnen.

Es besteht nämlich permanent die Gefahr, daß die Schülerinnen und Schüler Aussagen und Begriffe, die im Unterricht zum Kreislaufkonzept der Ladung gehören, auf das für sie bedeutungsvollere Konzept des linearen Energiestroms beziehen. Diese Gefahr wird durch den Umstand verstärkt, daß auch die historisch gewachsene Fachsprache – wenn nicht definitorisch so doch semantisch – die beiden Konzepte vermischt: „Starke“ und „schwache“ Ströme suggerieren zwangsläufig starke und schwache „Wirkungen“ z. B. große und kleine Energieumsätze, obwohl dies weder gemeint noch zutreffend ist. „Stark“ und „schwach“ bezeichnen *semantisch* gerade nicht rein quantitative Unterschiede, wie das bei der physikalischen Größe  $I$  notwendig wäre. Es handelt sich im Gegenteil um Adjektive, die sich auf Qualitäten beziehen. „Starkstrom hat 380 V, Schwachstrom 24 V!“, so stellt der verbreitete Fachjargon diese Qualitätsunterschiede dar. „Spannung macht die Ströme stark“, denn schließlich hat ein gegebener Strom  $I$  bei 230 V eine viel größere „Wirkung“ als bei 6 V. Die „Stromspannung“ scheint das zu sein, worauf es bei energetischer Betrachtung ankommt. Folgerichtig definiert auch der „Duden“ (Deutsches Universalwörterbuch) die elektrische Spannung als „Stärke des elektrischen Stromes“. Es wäre angesichts dieser semantischen Strukturen geradezu verwun-

derlich, wenn unsere Schülerinnen und Schüler Stromstärke und Spannung nicht verwechseln würden. In dem skizzierten Bedeutungsdickicht können sie sich ohne einen spezifisch abgestimmten Unterricht kaum zurechtfinden.

Inkonsistenzen des subjektiven Begriffssystems, die aus der unkontrollierten Vermischung der Betrachtungsweisen fast notwendigerweise folgen, werden vielfach auf einfachstem Wege wieder aus dem Denken eliminiert: Man vergißt die in der Schule gelernten „Feinheiten“ zum Kreislaufkonzept.

Die wenigsten unserer Schülerinnen und Schüler werden später noch Physik im gängigen Sinne treiben, also z. B. experimentierend, messend und rechnend die Gesetze der Elektrizitätslehre anwenden. Elektrische Sachverhalte begegnen ihnen vor allem in kommunikativen Zusammenhängen, z. B. in Reportagen, Artikeln, Berichten, Büchern, Diskussionen. Dort herrscht nicht die „harte“ Fachsprache und der instrumentelle Umgang mit Größen, Formeln und Gleichungen vor. Vielmehr steht die umgangssprachliche Bewältigung lebenspraktisch bedeutsamer Sachverhalte im Vordergrund. Physikalische Kenntnisse können dabei hilfreich sein – wenn sie auf den Transfer in die Lebenswelt hin angelegt sind! Daß dem so ist, scheint mir nicht nur im Blick auf den traditionellen Elektriunterricht durchaus zweifelhaft zu sein.

Akzeptiert man die lebenspraktische Relevanz als ein wesentliches Ziel für die im Unterricht zu erwerbenden Kompetenzen, dann muß es den Schülerinnen und Schülern möglich sein, daß sie ihre Erfahrungen und Vorinformationen mit Hilfe der durch die Wissenschaften verfügbar gemachten Kenntnisse und Verfahren in jener – „Lernen“ genannten – geistigen Konstruktion zu einem im täglichen Leben subjektiv als hilfreich empfundenen Kompetenzgefüge weiterentwickeln. Diese Zielsetzung ist nicht mit Strategien vereinbar, die darauf abzielen, Alltagsvorstellungen zu eliminieren. Alltagsvorstellungen werden in unserem Konzept nicht als „Störungen“ oder „Lernhindernisse“ behandelt, sondern als wesentliche Anknüpfungspunkte. Es kommt darauf an, sie als Indikator für Bedeutungspräferenzen zu interpretieren, ihren Sinngehalt im Unterricht aufzuklären und sie in ein umfassenderes Theoriegebäude zu integrieren.

### **Zum methodischen Aufbau des Unterrichtsganges**

Im Kasten auf S. 8 ist der Aufbau des Unterrichts dargestellt. In der Veranstaltung sollte es es mir gelingen, „schlaglichtartig“ nicht nur zu zeigen, wie die bisher dargelegten Probleme didaktisch angegangen werden, sondern darüber hinaus etwas von der „Atmosphäre“ des Unterrichtsgeschehens spürbar zu machen, die möglich wird, wenn die Anfangsschwierigkeiten, mit denen nach der bisherigen Erfahrung die Lehrkräfte doch sehr zu kämpfen haben, überwunden sind. Für eine differenziertere Beschäftigung muß ich auf die Buchveröffentlichung verweisen [2]. Manche konkreten methodischen Details können Sie auch der Schulbuchliteratur entnehmen (z. B. die Kapitel „Die elektrische Spannung“ und „Stromkreise übertragen Energie“ in [3]), wobei sich abzeichnet, daß künftige Neuauflagen die Konzeption noch stärker stützen werden.

Wir schlagen vor, elektrische Anlagen von Anfang an als *Systeme zur Energieübertragung* ins didaktische Blickfeld zu rücken. Begriffe, Gesetze, Größen, Modelle werden unter der Maßgabe didaktisch aufbereitet, was und wie sie den Prozeß der Energieübertragung verständlich machen können. Von der ersten Unterrichtsstunde an steht die Energieübertragung im Vordergrund. Energieströme werden qualitativ und quantitativ erfaßt und auch affektiv in den Erlebnisbereich der Schülerinnen und Schüler integriert. Das ist natürlich nicht ganz einfach, weil man es Netzgeräten und Batterien nicht ansieht, wie anstrengend es ist, die Elektrizität durch die Anlage zu treiben. Daher müssen die Schülerinnen und Schüler „ihren Strom selber machen“ (was sie auch gerne tun) und zwar während der ganzen Phase der Begriffsbildung.

Vorher ist es aber notwendig, einen „Maßstab“ für Energieumsätze zu gewinnen. Was wäre dazu geeigneter als der eigene Körper? Vor oder zu Beginn des Elekrikunterrichts werden die Schülerinnen und Schüler durch mechanische Experimente mit ihren physiologischen Energieumsätzen vertraut gemacht.



Sie erfahren dabei – und zwar jede/r experimentell am eigenen Körper –, daß ihre körperliche Spitzenleistung in der Größenordnung von einigen Hundert Watt liegt, ihre Dauerleistung unter 100 W. Mit der Armmuskulatur sind (beidarmig) sekundenlang 200 W oder mehr möglich (Klimmzüge, Liegestützen), über mehrere Minuten hinweg schafft man mit einem Arm kaum mehr als 15 W. Dies ist dann ein Erfahrungswert, an dem sich die Energieumsätze am handgetriebenen Generator orientieren. Die Erfahrungen mit dem eigenen Körper bilden später die Grundlage für die Bewertung größerer Energieumsätze, beispielsweise für den bundesrepublikanischen Pro-Kopf-Umsatz an elektrischer Energie (→ Abbildung: ca. 700 W bzw. 2050 W primärseitig).

Wir haben handgetriebene Generatoren entwickelt, die ergonomisch auf Energieumsätze abgestimmt sind, die im Handbetrieb erreichbar und wahrnehmungsmäßig differenzierbar sind.

Zahlreiche Experimente wurden in ihrer Dimensionierung auf diesen Generator und damit auf die Erlebbarkeit der energetischen Folgen einer Variation der Parameter Ladungsstrom und Spannung abgestimmt. (Am Generator wirkt sich ein größerer Strom in einer größeren Kraft an der Handkurbel aus, weil mehr Ladungsträger pro Zeiteinheit angetrieben werden müssen. Eine Veränderung der Spannung geschieht durch eine Veränderung der Drehzahl an der Kurbel, weil dadurch die einzelnen Ladungsträger unabhängig von der Anzahl stärker angetrieben werden).

Im Prinzip hat sich ein Unterrichtsaufbau gemäß der im Kasten dargestellten Themenfolge bewährt. Dieser Aufbau läßt sich aber mannigfach variieren, insbesondere können einzelne Themenkreise im Sinne eines Spiralcurriculums mehrfach auf unterschiedlichem Niveau auftreten. Die in der Spalte „Fachbezogene Inhalte“ angegebene Unterrichtszeit gibt Erfahrungswerte wieder, die wir an Realschulen gewonnen haben (ohne Klassenarbeiten und die für die Einheit 8 vorgesehenen Exkursionen ins örtliche Umspannwerk und ein Kraftwerk). Lehrkräfte, die sich erstmals mit dem Konzept befassen, benötigen nach den vorliegenden Informationen mehr Unterrichtszeit.

Die recht „trockene“ Übersicht läßt natürlich nicht erkennen, wie lebendig es im konkreten Unterricht zugeht. Aber das hängt wie immer vor allem von der Lehrkraft ab. Wir können nur möglichst viele Chancen dafür öffnen, daß die Schülerinnen und Schüler sich aktiv-tätig mit möglichst lebensnahen Inhalten auseinandersetzen.

Der Energiestrom ist die zentrale Größe, um die sich in diesem Unterrichtsmodell alles dreht. Das führt zu wesentlichen Akzentverschiebungen. Vielleicht fällt Ihnen auf, daß das Ohmsche Gesetz nicht vorkommt. Der Grund ist einfach: Bei den lebenspraktisch relevanten Geräten spielt das Ohmsche Gesetz keine Rolle, weil es entweder nicht gilt (z. B. Lampen, Motoren) und/oder aber sinnlos ist, weil die Geräte nur bei *einer* vorgegebenen Nennspannung funktionieren. Faktisch behandeln wir das Gesetz allerdings seiner historischen und theoretischen Bedeutung wegen (auch weil es die Lehrpläne vorschreiben) und um zu zeigen, daß man Bauteile so konstruieren kann, daß dieses Gesetz erfüllt ist (z. B. Konstantendraht).

Das Ohmsche Gesetz, Spannungsteiler, Widerstandsberechnungen – auch in komplexeren Schaltungen – sind im übrigen völlig unentbehrlich im Bereich der Informationsübertragungssysteme. Das ist

im wesentlichen das Anwendungsfeld der Elektronik. Die Begriffe wechseln dort ihren semantischen Gehalt (z. B. Spannung als Signal „High“/„Low“). Es würde den Rahmen sprengen, hier darauf einzugehen, inwieweit diese Inhalte Gegenstand einer allgemeinen physikalischen Bildung sein sollen.

Zur Akzeptanz des Konzepts in der Unterrichtspraxis liegt keine systematische Erhebung vor. Ich weiß aber aus verschiedenen Quellen, daß bundesweit an vielen Schulen daran gearbeitet wird. Dankenswerterweise hat die Fa. Cornelsen-Experimenta (Gambke) in Berlin die notwendigen Lehrmittel in ihr Programm aufgenommen. Mehrere Schulbuchverlage berücksichtigen in ihren neueren Auflagen Elemente der Konzeption, wobei die Lehrpläne einer stringenten Umsetzung überwiegend noch entgegenstehen. Teilweise hat dies zu Auseinandersetzungen mit den Genehmigungsbehörden für Schulbücher geführt. Ob die Kompromisse, die dadurch nötig wurden, eher hilfreich sind, weil sie notgedrungen Rücksicht auf die begrenzte Innovationsfähigkeit von Schule nehmen, oder durch eine „Verwässerung“ eher der pädagogischen Absicht schaden, kann wohl erst in einigen Jahren beurteilt werden. Durchaus optimistisch stimmt mich der Umstand, daß aus einigen Bundesländern Lehrplanentwürfe vorliegen, die explizit den Weg dafür offenhalten, die Elektrik von Anfang an unter dem Aspekt der Energieübertragung zu entwickeln. Das größte Hindernis sind nicht die Lehrpläne, sondern die Kosten, die mit der Anschaffung der Generatoren und anderer Lehrmittel verbunden sind. Die Finanzausstattung der Schulen verhindert meist eine Mehrfachbeschaffung. Die Konzeption verliert aber Sinn und Wirkung, wenn die Lehrkräfte im Demonstrationsversuch kurbelnd die Lampen zum Leuchten bringen und den Schülerinnen und Schülern erzählen, was man dabei erlebt.

### **Anmerkung**

\* Das Konzept wurde von Prof. A. Walz und mir kooperativ entwickelt.

### **Literatur**

- [1] Muckenfuß, H.: Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Berlin (Cornelsen) 1995
- [2] Muckenfuß, H. / Walz, A. (1992): Neue Wege im Elektrikunterricht. Vom Tun über die Vorstellung zum Begriff. 2. überarbeitete Aufl. Köln (Aulis): 1997
- [3] Cornelsen: Physik für Gymnasien (Sekundarstufe I, ab 1990, verschiedene Länderausgaben, z. B. Best. Nr. 33490). Berlin (Cornelsen)

**Anschrift des Autors: Dr. Heinz Muckenfuß, Allgäustraße 15, D – 88212 Ravensburg**

## Überblick zur Struktur Aufbau des Unterrichtskonzeptes

	Fachbezogene Inhalte	Sinngebender Kontext	„Schlüsselexperimente“
1	<p><b>Elektrizität verändert die Welt und die Menschen.</b></p> <p>Energie- und Informationsübertragung als Zweck elektrischer Anlagen. Energiewandler; prototypische Darstellung des Übertragungssystems. Energiestrom als Größe mit der Einheit 1 Watt. Vergleich von Energieumsätzen in elektrischen Verbrauchern mit der physiologischen Leistung. (4h)</p>	<p>Kulturgeschichtliche und aktuelle gesellschaftliche Auswirkungen. Veränderungen in der „2. und 3. industriellen Revolution“ (z. B. Haushalt, Nachrichtensysteme)</p>	<p>Vergleich von Riementransmission und elektrischer Übertragung. Erfahrungen mit dem hgG<sup>1</sup> bei hoher Belastung. Elektronische Messung von Energieströmen.</p>
2	<p><b>Was kann sich in elektrischen Leitungen bewegen?</b></p> <p>Elektrostatik; Kräfte zwischen geladenen Körpern; Ladungsbeweglichkeit (Leitfähigkeit); Influenz (Erhaltungsvorstellung); einfaches Atommodell (Elektron und Atomrumpf). Prinzip versch. el. Quellen. (4h)</p>	<p>Elektrostatische Erscheinungen in der Umwelt.</p> <p>Funktionsprinzipien von Dynamo, Batterie, Solarzelle, Thermoelement.</p>	<p>(Heim-)Experimente mit Folien, Schallplatten und Glimmlampen. Elektroskopentladung (Leitfähigkeit). Influenzversuche. Serie zu el. Quellen.</p>
3	<p><b>Ladungsstrom und seine Messung</b></p> <p>Der Ladungsstrom als „Treibriemen“ zwischen Energiequelle und Verbraucher. Vergleich mit anderen Systemen, bei denen zirkulierende Mittel Energieströme erzeugen (z. B. Luft- und Wasserkreisläufe, Riementransmissionen). Messung von Ladungsströmen in einfachen Stromkreisen. Zusammenhang Energiestrom und Ladungsstrom (qualitativ an verschiedenen Verbrauchern). (3h)</p>	<p>Kreisläufe als „Transportmittel“. Allgemeines Deutungsmuster für verschiedene Systeme. Verschiedene Ladungsströme bei gleicher Quelle. (z. B. Scheinwerfer und Rücklicht am Fahrrad).</p>	<p>Betreiben verschiedener Lämpchen der 4V-Serie mit dem hgG (qual. Vergleich der Energieströme bei abgedunkeltem Raum). Ladungsstrommessung in diesen Schaltkreisen (mit Analoginstrumenten).</p>
4	<p><b>Vervielfachung von Energieströmen</b></p> <p>Untersuchungen zum Zusammenhang von Ladungsstrom und Energiestrom (<math>P \sim I</math>; bei <math>U = \text{const.}</math>). Parallelschaltung von Verbrauchern als Möglichkeit Energieströme über den Ladungsstrom zu vervielfachen. Grenzen von Energiequellen (Innenwiderstand in anschaulicher Deutung; z. B. Batterien). (3h)</p>	<p>Mehrere (Haushalts-) Geräte an einer Quelle. Unterschiedliche Batterien gleicher Spannung (Micro-, Mignon-, Baby-, Monozelle); Überlastsicherungen; Brandgefahr.</p>	<p>Parallelschaltung mehrerer Lampen am hgG. Experimente mit Batterien (Grenzbelastbarkeit); Parallelschaltung von Batterien.</p>
5	<p><b>Einführung der Spannungsvorstellung.</b></p> <p>Abhängigkeit des Energiestroms von der Quelle (bei <math>I = \text{const.}</math>!). Energieströme in der <i>Reihenschaltung</i>. Aufbau des Verständnisses der <i>Quellenspannung</i> auf zwei Abstraktionsniveaus:  <i>Niveau 1</i>: Spannungsangabe als Maß dafür, wie stark die Quelle die einzelnen Elektronen antreibt.  <i>Niveau 2</i>: Spannung als das Verhältnis von Energiestrom durch Ladungsstrom: <math>U = P/I</math>. Verschiedene Energiequellen. (4h)</p>	<p>Nicht jedes Gerät kann an jede Quelle angeschlossen werden. Gefährliche Spannungen.</p>	<p>Lämpchen verschiedener Nennspannung aber gleicher Nennstromstärke am hgG. Mehrere Lämpchen in Reihe am hgG (analog zur Parallelschaltung). Spannungsmessung (mit Digitalinstrumenten) an Quellen, z. B. Batterien in Reihe.</p>
6	<p><b>Spannungen im Stromkreis.</b></p> <p><i>Teilspannungen</i> zwischen zwei beliebigen Stellen im Stromkreis als Maß dafür, wie stark die Elektronen zwischen den beiden Meßpunkten angetrieben werden müssen (<i>Niveau 1</i>) bzw. wie groß der Energiestrom ist, der den Stromkreis zwischen den beiden Punkten verläßt (<i>Niveau 2</i>). <i>Widerstandsvorstellung</i> (Abhängigkeiten). (4h)</p>	<p>Aufbau von Haushaltsgeräten (Lampen, Heizgeräte o.ä.). Dimensionierung elektrischer Leitungen (Strombelastbarkeit).</p>	<p>Drähte aus verschiedenem Material und mit unterschiedlicher Dimensionierung am hgG. Modellversuche mit Wasserspritze (Nadeln mit unterschiedlichem Querschnitt; <math>I = \text{const.}</math>).</p>
7	<p><b>Gesellschaftlich relevante Energieumsätze</b></p> <p>Messungen und Berechnungen für einzelne Geräte und soziale Einheiten (z. B. privater Haushalt, Schule, Ort, Stadt, Bundesgebiet) unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten. (4h)</p>	<p>Energieverbrauch von Haushaltsgeräten und Kleinspannungsgeräten. „Stromrechnung“; energ. Kapazität von Batterien.</p>	<p>Energiestrommessungen an Geräten (z.B. auch „Stand-by-Verbrauch“ am TV).</p>
8	<p><b>Transportsysteme für elektrische Energie</b></p> <p>Induktion, Selbstinduktion, Wechselstromnetz, Verbundsystem. Der Transformator als „Schlüsselgerät“ zur Anpassung der Spannung an die erforderlichen Energieströme. (6-8h)</p>	<p>Probleme der Energieversorgung. Exkursionen in Umspannwerk und Kraftwerk.</p>	<p>Induktions- und Selbstinduktionsversuche. Trafoversuche. (Evtl. Motoren und Generatoren).</p>

<sup>1</sup> hgG= handtriebener Generator