

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 4

ISBN 3 - 7896 - 0588 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 1998

Anmerkung:

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

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

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

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

R. Hengel, D. Schmid, K. Grob und Chr. v. Rhöneck

Interaktive Lernsoftware zur einfachen Elektrizitätslehre und erste Ergebnisse der Erprobung

Das Ludwigsburger Lehr-Lern-Computerprogramm „Elektrizitätslehre spielerisch erlernen“ wendet sich an Lehrer, Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I. Es kann sowohl unterrichtsbegleitend eingesetzt werden als auch den Unterricht ergänzen. Eine vollständige Bearbeitung des Programms erfordert einen Zeitaufwand von ca. vier Doppelstunden. Im folgenden werden die Intentionen des Programms besprochen und die Software vorgestellt. Dabei wird insbesondere auf die in ihr enthaltenen spielerischen Elemente eingegangen und anschließend über erste Erfahrungen mit dem Lernprogramm berichtet.

1 Didaktische Leitlinien und Forschungsziele

Wenn Schüler ein physikalisches Problem lösen oder ein Experiment deuten sollen, so müssen sie versuchen, es zu interpretieren. Dieser Verstehensprozeß kann nur mit Hilfe der Begriffe und Vorstellungen ablaufen, über die sie bereits verfügen. Die Vorstellungen haben die Schüler in der Alltagswelt längst vor dem Unterricht entwickelt. Sie überdauern häufig selbst den Physikunterricht, der Schülervorstellungen berücksichtigt, und wirken dann bis in das Studium der Physik hinein. Wegen der Vernetzung der Vorstellungen ist beim Lernen im Physikunterricht oft eine ganze Sichtweise zu ändern, was Zeit und Einsatz erfordert. Auch sind die Vorstellungen - vor allem im Prozeß des Lernens der physikalischen Deutungsmodelle - inkohärent in dem Sinne, daß die Schüler schon bei leicht veränderten physikalischen Problemstellungen unterschiedliche Sichtweisen aktivieren. Eine besonders wichtige Aufgabe ist es daher, die vom Schüler entwickelten physikalischen Begriffe und Vorstellungen zu stabilisieren. Dazu können unterschiedliche Lehrstrategien beitragen.

Eine wichtige Möglichkeit, auf eine stabilere Wissensstruktur hinzuarbeiten, bietet der Computer. Wegen der komplexen Verstehensstruktur der Physik reicht es nicht, für eine Situation die richtige Lösung finden und begründen zu können. Es müssen vielmehr Beispiele für eine ganze Klasse von Aufgaben richtig gelöst werden, bevor man sagen kann, daß der Schüler eine bestimmte physikalisch richtige Vorstellung übernommen hat. Bei diesen Problemen liefert der Computer die Möglichkeit, dem Schüler Lernsequenzen zur Übung anzubieten und Rückmeldungen entsprechend der gewählten Antwort zu geben.

Einen spezifischen Vorteil des Lernens am Computerbildschirm sehen wir darin, daß im Vergleich zum Langzeitlernen im Klassenverband die Arbeit am Computerbildschirm nicht als Lernsituation unter Leistungsdruck wahrgenommen wird und

die sozialen Wechselwirkungen mit dem Lehrer und den Klassenkameraden zurücktreten. Hier liegen Möglichkeiten, individuelles Lernen zu fördern, bei dem auch die Sorge um den Lernerfolg nicht mehr dominiert.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte wurde von unserer Arbeitsgruppe ein interaktives Lehr- und Übungsprogramm entwickelt und erprobt, mit dem Lern- und Informationsverarbeitungsprozesse untersucht und die physikalischen Vorstellungen der Schüler nach dem Elektrizitätslehre-Unterricht oder parallel dazu stabilisiert werden sollen [1]. Gleichrangiges Ziel ist es, die beim Einsatz dieses tutoriellen Angebots im Medienverbund gegebenen vielfältigen Wirkungszusammenhänge zu untersuchen und sie speziell für die individuelle Förderung von Schülern nutzbar zu machen. Zu diesem Zweck werden zusätzlich zu den Lerndaten psychologische Konstrukte (Interesse, Motivation, Selbstkonzept, Lernstrategien, Sozialklima ...) erhoben und ihr Zusammenhang mit Leistungsdaten vor und nach dem Computereinsatz analysiert.

Konkret wird im Lernprogramm schwerpunktmäßig versucht

- verbale Informationen mit Illustrationen der Objekte und Prozesse zu verbinden,
- unanschauliche Vorgänge, Begriffe und Definitionen mit Beispielen aus der Erfahrungswelt der Schüler zu veranschaulichen,
- den Schülern Lernanreize zu geben (statt Lernziele vorzugeben) und dabei möglichst oft spielerische Elemente zu benutzen,
- Phasen selbstbestimmten Agierens mit Phasen gelenkter Aktivitäten zu verbinden.

Ein wichtiger didaktischer Schritt scheint uns die Einbindung von Videosequenzen in das Lernprogramm zu sein. Zwar ziehen die derzeitigen schulischen EDV-Ressourcen enge Grenzen für die zur Entwicklung des Programms in Frage kommende Hardware und Software, doch kann schon auf dieser Ebene die Öffnung zur interaktiven multimedialen Vielfalt wichtige didaktische Möglichkeiten bieten, die ausgelotet werden müssen. So wurden zur Hinführung zu neuen Fragestellungen, zur Demonstration einzelner Phänomene, zur Veranschaulichung oder zur Wiederholung, Festigung und Vertiefung Videoclips in das Programm eingebaut, in den meisten Fällen als Option für die Schüler. Wie eine erste Erprobung dieser Programmteile zeigt, erreichen gerade sie die Schüler besonders leicht.

2 Spielerisches Lernen am Computer

Bei dem entwickelten Lernprogramm wurde auch besonders auf die Einbindung „spielerischer“ Elemente geachtet. Eine Vielzahl von Veröffentlichungen schlägt vor, Arbeit mit Spiel, Belehrung mit Belustigung zu verbinden. Schon der Philosoph Michel de Montaigne setzte sich mit der Bedeutung von Spiel und Spielzeug für die Entwicklung eines Kindes auseinander. Im 19. Jahrhundert waren es Jean Paul und Friedrich Fröbel, die Abhandlungen über Spielzeug verfaßten. Der Fachterminus „Spielsystem“ - das Kind bestimmt und steuert Ziel und Ablauf

seines Tuns selbst - geht auf die grundlegende Arbeit von Helanko aus dem Jahr 1958 zurück [2].

Spielerisches Lernen und Lernen mit Spielzeug sprechen Körper, Seele und Geist gleichermaßen an: Malt ein Kind ein Bild, so werden Farben nach der Gemütslage gewählt (Seele), Formen gestaltet (Geist) und der Pinsel entsprechend geführt (Körper). Das Kind bestimmt und steuert hierbei Ziel und Ablauf seines Tuns selbst. Die von Helanko aufgestellte Forderung ist somit erfüllt.

Spiele und Spielzeug - auch physikalisches Spielzeug - sind keineswegs Erfindungen der heutigen westlichen Überfluggesellschaft, vielmehr stehen sie in einer langen Tradition. Spielzeug kannte man im klassischen Griechenland, im antiken Rom und auch im Mittelalter. Auch die Entwicklung von Physik und Technik beeinflusste das Spielzeug. Bereits im Bestelmeier-Spielzeugkatalog [3] von 1803 kann man nachlesen: „... *Eine Sammlung einfacher Maschinen, die zur Lehre der Mechanik nöthig sind, zum Gebrauch für Liebhaber, Hofmeister, Erziehungs-institute ...*“

Bei älteren Schülerinnen und Schülern glaubt man, im Unterricht auf spielerische Elemente verzichten zu können. Die seit ein paar Jahren von Verlagen und Lehrmittelfirmen wieder für den Physikunterricht vielfach angebotenen speziellen Spielsachen, werden in der Regel nur als Demonstrations- oder Anwendungsbeispiel vorgeführt. Gespielt wird nicht damit, obwohl Kinder in der Klasse 8 oder 9 immer noch gerne spielen würden, was nicht zuletzt die große Beliebtheit der allgegenwärtigen Computerspiele beweist.

In fast allen Phasen des Ludwigsburger Lernprogramms werden daher „spielerische“ Elemente angeboten, etwa eigenes Führen von Kugeln in der Kugelbahn oder von Elektronen im Stromkreis und entlang der Höhenlinien nach bestimmten vorgegebenen Kriterien, Fehlersuche im mikroskopischen Widerstandsmodell oder Konstruktion von Schaltkreisen aus vorgegebenen Teilen. Spielphasen dienen dabei nicht nur der Motivation der Schüler, sondern sollen die Vorstellungen von den ablaufenden Prozessen und den sie bestimmenden Gesetzmäßigkeiten ühend vertiefen und festigen.

3 Gliederung der Software

Das Programm ist in die Module Stromstärke, Spannung, Elektrischer Widerstand, Ohmsches Gesetz, Reihen- und Parallelschaltungen sowie Arbeit und Energie gegliedert, die über das Inhaltsverzeichnis ausgewählt werden können. Die Reihenfolge orientiert sich an sachlogischen Gesichtspunkten, doch ist der Schüler nicht gezwungen, die Reihenfolge einzuhalten. Auch innerhalb der Module besteht für den Nutzer eine Vielzahl von optionalen Möglichkeiten, eigene Interessen zu verfolgen. Außerdem sind in allen Modulen mehrfach Hilfen in Form von vertiefenden Erläuterungen eingebaut, die über speziell markierte Aktionsworte abgerufen werden können.

Elektrischer Strom wird im Programm entsprechend dem halbklassischen Modell

von Drude als Driftbewegung von Elektronen im Kristallgitter des Leiters verstanden und dargestellt, die Stromstärke demnach über die Zahl der den Leiterquerschnitt in der Zeiteinheit passierenden Elektronen eingeführt. Das Programm simuliert die thermische Elektronenbewegung und die Bewegung der Atomrümpfe, bei Anlegen einer Spannung auch die Driftbewegung der Elektronen. Abb. 1 zeigt ein Beispiel.

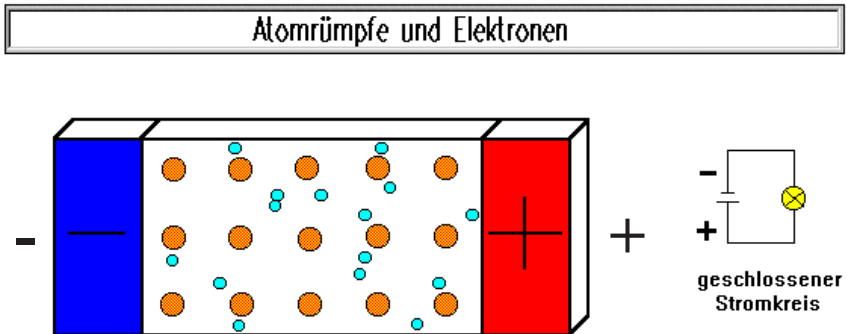


Abb. 1: Modell eines Leitungsdrahtes mit Elektronen und Atomrümpfen nach Drude (Bildschirmkopie eines Farbbildes)

Bei der Quantifizierung des Begriffs Strom wird auf die Stärke des Autoverkehrs (Zahl der Autos pro Zeit) zurückgegriffen (Abb. 2). Die elektrische Stromstärke wird so anhand der sehr anschaulichen und der Erfahrungswelt des Schülers entnommenen Verkehrsstärke entwickelt. Eine optional einspielbare Filmsequenz, die ein Autorennen zeigt, soll den Schüler hauptsächlich motivieren. Auch die Autos in Abb. 2 lassen sich bewegen; eine Uhr zeigt die Zeit an. Bei der Eingabe der Antworten bekommt der Schüler eine kurze Rückmeldung. Falsche und richtige Antworten werden - im gesamten Programm durchgängig - akustisch unterschiedlich unterlegt.

Die Sequenz zum elektrischen Strom folgt in ihrem Aufbau genau der Sequenz zum Autoverkehr. Beim Übergang zur elektrischen Stromstärke wird die Ladung als Eigenschaft der Elektronen in das Begriffsnetz einbezogen. Diese Erweiterung bereitet den Schülern keine großen Schwierigkeiten.

Wir meinen, daß die sogenannte Gravitationsanalogie ein einfacher, anschaulicher und recht weittragender Zugang zur elektrischen Spannung ist und veranschaulichen daher den Spannungsbegriff als elektrischen Höhenunterschied der Elektronen [4]. Bei dieser Analogie werden den wichtigsten elektrischen Größen mechanischen Größen zugeordnet. Diese Zuordnung ist in Abb. 3 zusammengefaßt.

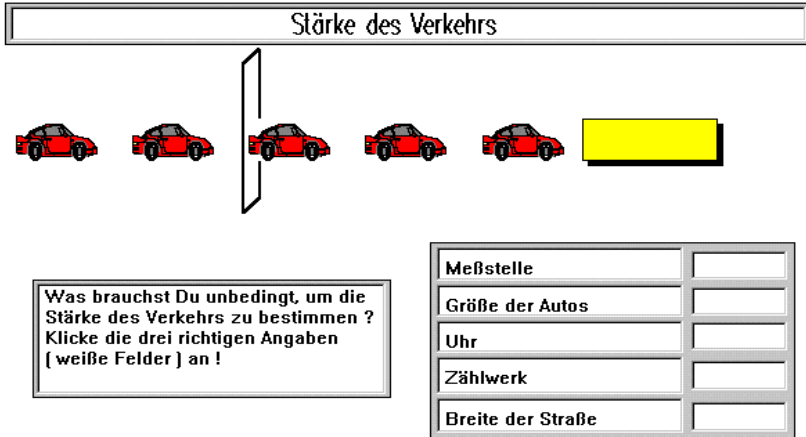


Abb. 2: Autoverkehr als Vorstufe zur elektrischen Stromstärke (Bildschirmkopie)

Der einfache Stromkreis mit Batterie, bewegten Elektronen und Widerstand wird innerhalb dieser Analogie durch eine Kugelbahn mit Förderband, Murmeln und Nagelbrett veranschaulicht. Zunächst erarbeiten die Schüler die Einzelheiten des Förderbandmodells als Kugelbahn. Der Übergang zur Bewegung der Elektronen in unterschiedlichen elektrischen Höhen erfolgt in mehreren Stufen. Eine Zwischenstation zeigt Abb. 4.

Elektrische Größen	Darstellung in der Gravitationsanalogie
elektr. Feldstärke	Gravitationsfeldstärke
Spannung in der Quelle (EMK)	Höhenunterschied an der Batterie
Spannung am Widerstand	Höhenunterschied am „Widerstand“ (Nägel in der Leitung)
Potential des Elektrons	Lage des Elektrons (Kugel)

Abb. 3: Grundbeziehungen der Gravitationsanalogie

Die Verbindung von Drude-Modell und Gravitationsanalogie erlaubt ohne große Schwierigkeiten den Zusammenhang von Spannung (elektrische Höhendifferenz) und Stromstärke zu illustrieren, also das Ohmsche Gesetz im Modell vorzubereiten. Der Widerstand wird dabei als Behinderung der Elektronenwanderung durch Stöße an Atomrümpfen verstanden. Ein stärkerer Stoß ist an der größeren Bahnabweichung des Elektrons sichtbar und wird zusätzlich farbig hervorgehoben;

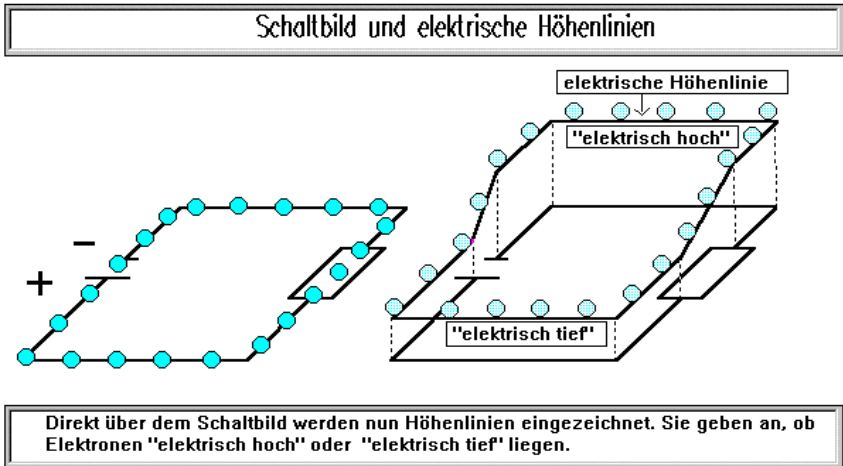


Abb. 4: Schaltbild und elektrische Höhenlinien mit Modellelektronen (Bildschirmkopie)

die Häufigkeit der Stoßvorgänge wird dabei über die Sound-Karte akustisch verdeutlicht. Die Erarbeitung des Ohmschen Gesetzes erfolgt in mehreren Bildern, in denen die Abhängigkeit der Stromstärke von der elektrischen Höhendifferenz gezeigt, in Tabellen zusammengestellt und in I-U-Kennlinien veranschaulicht wird. Am Ende dieses Lernabschnitts wird der Widerstand als neue physikalische Größe definiert. In einem weiteren Abschnitt wird dann der spezifische Widerstand eingeführt, wiederum veranschaulicht mittels des Drude-Modells.

Nach einem Modul zu Reihen- und Parallelschaltungen, in dem eine große Zahl von Lern- und Übungsbeispielen angeboten wird (einschließlich der Möglichkeit, Stromkreise aus Bauteilen selbst zu konstruieren), folgt abschließend eine Auseinandersetzung mit den energetischen Aspekten der Stromkreise. Diese sind in der Gravitationsanalogie und im Förderbandmodell immer schon latent vorhanden und der Begriff der elektrischen Arbeit bzw. der elektrischen Energie muß eigentlich nur noch nachgeschoben werden. Ein letzter Schritt führt schließlich zur elektrischen Leistung.

4 Spielerische interaktive Elemente: Beispiele

Weil Lernen nicht nach dem Modell des Nürnberger Trichters funktioniert, sollte Lernsoftware möglichst viele interaktive Elemente enthalten, also zahlreiche Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Lerner und Programm bieten. Neben der reinen Stoffdarbietung eröffnen solche Programme den Lernenden vielfältige Möglichkeiten, ihr Wissen in verschiedenen Übungsaufgaben zu festigen und Lernfortschritte zu überprüfen. In der Ludwigsburger Lernsoftware erhielten im

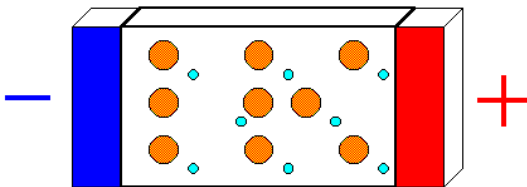
Sinne Helankos wichtige interaktive Elemente einen spielerischen Charakter. Einzelne Wissens Elemente lassen sich im Spiel einüben, nach Ende des Spiels kann im Programm weitergearbeitet werden.

Zu den mikroskopischen Modellen der Stromstärke gibt es mehrere Fehlersuchspiele, in denen ein anfangs kaum sichtbarer, dann zunehmend deutlicher werdender Fehler gefunden werden soll. In einem Fehlersuchspiel wandert etwa ein Atomrumpf von dem durch die Gitterstruktur festgelegten Ort weg (Abb. 5). Im zweiten verhält sich ein Elektron regelwidrig und verläßt den Leiter. Im dritten Spiel bewegt sich ein Elektron in die entgegengesetzte Richtung wie alle anderen Elektronen, und im vierten verläuft der Weg des Elektrons mitten durch die Atomrümpfe. Auch dieses Elektron verläßt nach seinem Irrweg den Leiter. Wie bei herkömmlichen Computerspielen erreicht man das zweite Spiel erst nach der Lösung des ersten Spiels, das dritte nach erfolgreicher Bewältigung des zweiten usw.; auch der Schwierigkeitsgrad steigt von Spiel zu Spiel.

Im Modul Reihen- und Parallelschaltungen können mit verschiedenen Bauteilesätzen jeweils mehrere einfache Stromkreise zusammgebaut werden (Abb. 6). Das Leuchten des Birchens zeigt die richtige Lösung an. Macht die Lösung Schwierigkeiten, so kann zur Unterstützung auch ein Video, das die Konstruktion eines realen Stromkreises zeigt, eingespielt werden.

Bei einer weiteren Spielerie müssen nach einem „Blitzeinschlag“ beschädigte Leitungen in verschiedenen Schaltungen von einem Männchen repariert werden.

Zusammenstoß von Elektronen und Atomrümpfen



Achtung : Hier muß man einen Fehler suchen !

Die Elektronen wandern vom Minuspol zum Pluspol. Sie stoßen dabei häufig mit Atomrümpfen zusammen. Im Verlauf der Bewegung tritt jedoch ein Fehler auf. Fahre mit dem Mauszeiger zu dieser Fehlerstelle.

Abb. 5: Ein Atomrumpf wandert (Bildschirmkopie)

Ein Beispiel zeigt Abb. 7a, eine Parallelschaltung mit vier Birnchen. Das Leuchten der Birnchen ist durch einen Grauton veranschaulicht (auf dem Bildschirm leuchtet das Lämpchen in kräftigem Gelb). Der „Blitz“ - durch Mausklick ausgelöst - hat hier einen Teil des Leitungssystems zerstört. Ist der Computer mit einer Sound-

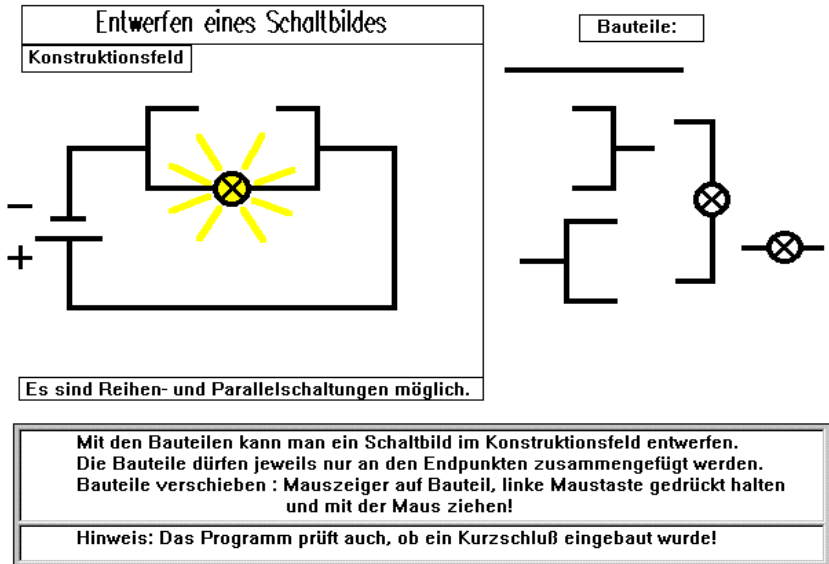
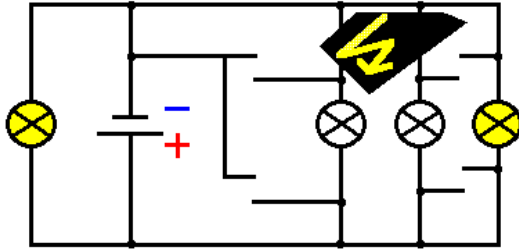


Abb. 6: Konstruktion funktionsfähiger Stromkreise (Bildschirmkopie)

karte ausgerüstet, wird der „Blitz“ noch von „Donner“ begleitet. Gleichzeitig erscheint auf dem Bildschirm ein von der Maus steuerbares Reparaturmännchen, das in der Hand ein kleines Leitungsstück hält. Stellt man mit dem Verbindungsstück einen Kurzschluß her (Abb. 7b), meldet dies der Computer optisch und es erlöschen alle zu diesem Zeitpunkt brennenden Lämpchen. Bei richtigen Reparaturversuchen meldet der Computer den Erfolg optisch und akustisch. Vollständig gelöst ist die Aufgabe, wenn wieder alle Lämpchen leuchten.

Bei Spielen im Rahmen der Gravitationsanalogie soll der Weg der Murmeln bzw. Elektronen mit der Maus nachgefahren werden. Ein Beispiel ist in Abb. 8 dargestellt. Wesentliche Fehler (etwa: den Stromkreis in falscher Richtung durchfahren) werden sofort gemeldet. In einem anderen Übungsspiel sollen die „elektrischen Höhen“ in verschiedenen Stromkreisen erkannt werden (Abb. 9). Viele richtige Antworten in der vorgegebenen Zeit ergeben viele Punkte. Die Erfahrungen gerade mit diesem Beispiel zeigen, daß das Konzept der elektrischen Höhen der Elektronen auch bei der Analyse der Vorgänge in schwierigen Schaltkreisen trägt.

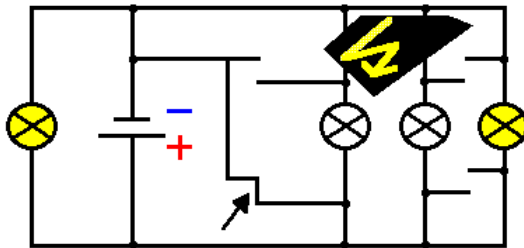
Reparatur im unterbrochenen Stromkreis



Ein schweres Unwetter zerstört Leitungen im Stromkreis. Glücklicherweise gibt es nahezu vollständige Ersatzleitungen. Ein Männchen kann durch Mausclick die Ersatzleitungen anschließen.

Abb. 7a: Schaltbild nach Blitzeinschlag: Zwei Lämpchen sind erloschen (Bildschirmkopie)

Reparatur im unterbrochenen Stromkreis



Hier darf nicht verbunden werden. Es gibt ja sonst einen Kurzschluß !

Ein schweres Unwetter zerstört Leitungen im Stromkreis. Glücklicherweise gibt es nahezu vollständige Ersatzleitungen. Ein Männchen kann durch Mausclick die Ersatzleitungen anschließen.

Abb. 7b: Schaltbild mit Kurzschluß (Bildschirmkopie)

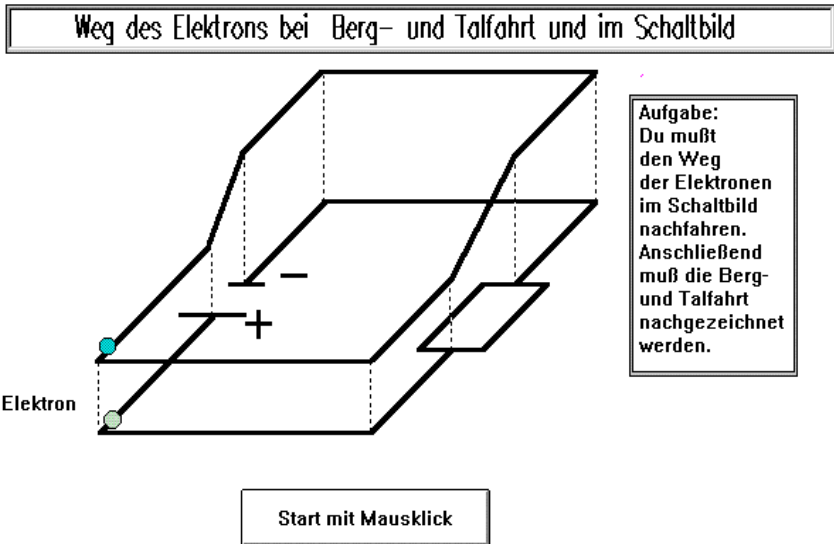
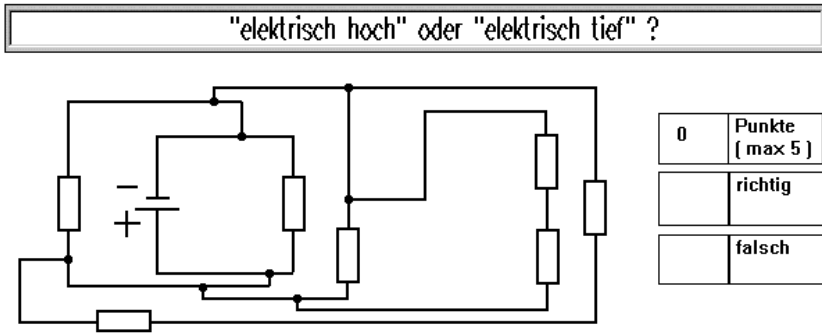


Abb. 8: Spielerische Aufgabe zum Weg der Elektronen (Bildschirmkopie)

5 Erprobung

Das gesamte Lernprogramm, einschließlich der Spiele, wurde mit Schülerinnen und Schülern verschiedener Schultypen und Altersstufen erprobt. Stand zunächst die technische Optimierung im Vordergrund, waren es bei einer zweiten Erprobung Aspekte der Akzeptanz. Erste Erfahrungen zu Lernergebnissen wurden mit Vor- und Nachtests für jedes einzelne Modul gesammelt. Eine aktuelle Programmfortentwicklung wird zusätzlich den Lernweg der Schüler verfolgen, ihn aufzeichnen und auswerten.

Aus den bisherigen Untersuchungen zur Evaluation des Programms sei ein Element herausgegriffen und ausführlicher diskutiert. Dabei handelt es sich um den Versuch, die Unterrichtsinhalte der einfachen Elektrizitätslehre aus Klasse 8 der Realschule in Klasse 10 wieder aufzufrischen und zu vertiefen. In Klasse 8 wurde die Lerngeschichte der Schüler mit Übungs- und Leistungstests möglichst genau nachgezeichnet und gleichzeitig der psychologische Hintergrund der Schüler ausgeleuchtet [5]. In Klasse 10 wurde zunächst das nach zwei Jahren noch vorhandene Wissen der Schüler im Bereich Strom/Spannung/Ohmsches Gesetz mit einem Vortest erfaßt, anschließend die Lernsoftware in einer Doppelstunde eingesetzt und schließlich deren Wirkungen direkt anschließend mit einem Nachtest kontrolliert. Obwohl ein Nachtest eingesetzt wurde, betrachten wir die Situation am Computer als frei von Leistungsdruck, da Softwareeinsatz und Tests nicht der Benotung dienen. Deshalb erwarten wir auch, daß sich ein Einfluß von Physikinteresse und intrinsischer Motivation auf das Nachtestergebnis nachweisen läßt.



Wo liegen die Elektronen "elektrisch hoch", wo liegen sie "elektrisch tief" ?

Aufgabe: Auf dem Bildschirm erscheint ein gelbes Feld. Liegt es auf einer Leitung mit "elektrisch hoch liegenden" Elektronen, muß die Taste " h " gedrückt werden. Liegt das gelbe Feld auf einer Leitung mit "elektrisch tief liegenden" Elektronen, muß die Taste " t " gedrückt werden ! Erscheint das gelbe Feld an Stellen, die dazwischen liegen - also weder "hoch" noch "tief" - muß die Taste " d " gedrückt werden.

Abb. 9: „Elektrische Höhen“ der Elektronen (Bildschirmkopie)

(Bei einer Lernsituation unter Leistungsdruck würden wir weniger Einflüsse von Interesse und intrinsischer Motivation erwarten, dafür stärkere Auswirkungen von Lernstrategien und extrinsischer Motivation.)

Fragen der Art, wie sich Lernleistungen aus verschiedenen Faktoren zusammensetzen und aus diesen Faktoren erklären lassen, können mit LISREL-Analysen beantwortet werden [5]. In Abb. 10 ist das entsprechende Ergebnis für 129 Real-schüler dargestellt. Zunächst berechnet die LISREL-Analyse aus den direkt gemessenen Variablen verschiedene Konstrukte, die nicht direkt zugänglich sind: So wird aus den Ergebnissen des Vortests (Klasse 10) und des Behaltenstests (Klasse 8) sowie den Kennwerten für den kognitiven Entwicklungsstand (Piaget-test) und verschiedener Schulnoten (Klasse 7) ein Konstrukt *Vorwissen und Fähigkeiten* gebildet. In gleicher Weise wird aus Physikinteresse an der Elektrizitätslehre und dem fachspezifischen Selbstkonzept ein motivational-kognitives Konstrukt berechnet, das *inhaltsspezifische Intention* genannt wird. Als drittes Konstrukt wird aus den Variablen (intrinsische) Lernmotiviertheit, (geringer extrinsischer) Erfolgsmotivation und (eher niedriger) Mißerfolgsmotivation ein zur intrinsischen Seite neigendes Konstrukt *allgemeine Motiviertheit* gebildet. In einem zweiten Schritt werden nun in der LISREL-Rechnung die Physikleistungen mit diesen Konstrukten verbunden. Als wichtigster Faktor ergibt sich erwartungsgemäß *Vorwissen und Fähigkeiten*, aber auch die *inhaltsspezifische Intention* ist wichtig und signifikant; am unwichtigsten und dennoch signifikant ist die *allgemeine Motiviertheit*.

Die LISREL-Rechnung bestätigt, daß mit dem kognitiven Konstrukt *Vorwissen und Fähigkeiten* zwar der wichtigste, aber nicht der alleinige bestimmende Faktor zum Erklären der Nachtstergebnisse gefunden ist. Auch die inhaltsabhängigen wie die inhaltsunabhängigen motivationalen Konstrukte, bei denen jeweils äußere Anreize zum Lernen unwichtig sind, tragen zur Erklärung der Leistungen im Nachttest bei. Insgesamt ergeben sich erwünschte kognitive und motivationale Einflüsse auf die Lernleistung bei der Benutzung der Lernsoftware. Die Autoren danken Herrn Dipl. Psych. M. Bleicher für die Diskussionen und die Durchführung der LISREL-Rechnungen.

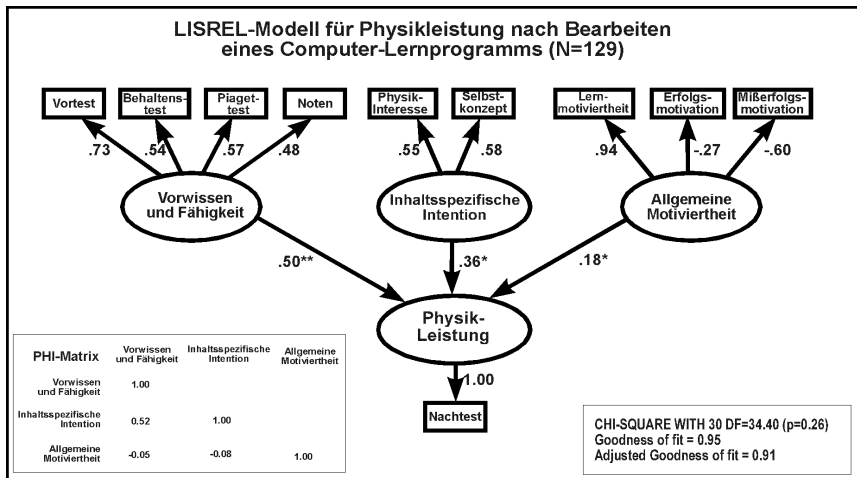


Abb. 10: Zusammenhänge zwischen *Vorwissen und Fähigkeiten*, *inhaltspezifischer Intention* und *allgemeiner Motiviertheit* einerseits und Nachtstergebnissen nach der Bearbeitung der Lernsoftware andererseits (Signifikanzen *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$)

6 Literatur

- [1] Grob, K., Hengel, R., Rhöneck, Chr. v. & Schmid, D.: Zur Veranschaulichung der Prozesse im Stromkreis mit dem Computer. In: Behrendt, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Alsbach: Leuchtturm, 1994, S. 184.
- [2] Helanko, R.: Theoretical aspects of play and socialization. In: Annales Universitatis Turkuensis, Ser. B, 70 (1958).
- [3] Becker, J.: Physikalisches Spielzeug. In: Physik in der Schule 31 (1993), S. 163.
- [4] Grob, K., Rhöneck, Chr. v., Völker, B. & Wettern, K.: Die Gravitationsanalogie zur Einführung des Spannungsbegriffs. In: NiU-PC36 (1988), S. 14
- [5] Rhöneck, Ch. v., Grob, K., Schnaitmann, G. & Völker, B.: Lernen in der Elektrizitätslehre: Wie wirken sich motivationaler Zustand und kognitive Aktion auf das Lernergebnis aus? In: ZfDN2 (1996), S. 71