

## Digitale Lernumgebung zur Bewegung von Elektronen in E- und B-Feld

### Zusammenfassung

Die Einbettung von digitalen Experimenten in Online-Lernumgebungen eröffnet vielfältige Möglichkeiten zur Unterstützung von Lernprozessen. Das digitale Medium erleichtert die Nutzung von integrierten und dynamisch verlinkten Repräsentationsformen und ermöglicht den Schritt in die „Augmented Reality“. Ebenso können hier verschiedene Unterstützungsmaßnahmen wie Advance Organizer oder gestufte Hilfen realisiert werden. Zusätzlich ist ein individuelles Feedback für den Nutzer direkt im Experimentier- und Lernprozess möglich. In der entwickelten Lernumgebung zum Thema „Bewegung von Elektronen im elektrischen und magnetischen Feld“ wurden diese Möglichkeiten eingesetzt, um Theorie und Experiment möglichst eng miteinander zu verknüpfen. Eine Studie mit drei 11. Klassen zeigte, dass Schüler hierfür sehr unterschiedliches Vorwissen zum Superpositionsprinzip mitbringen. Die Möglichkeiten, in der Lernumgebung mit der Elektronenablenkröhre zu experimentieren, wurden von den Schülern ausgiebig genutzt. Der Erfolg beim experimentellen Prüfen und Bewerten von zuvor ausgewählten Hypothesen war jedoch unterschiedlich. So gelang dies in Bezug auf den Einfluss der Ablenkspannung einer Elektronenablenkröhre auf die Bahn der Elektronen gut, bzgl. des Einflusses der Beschleunigungsspannung nur teilweise.

### Theoretischer Hintergrund

Aus didaktischer Perspektive bietet der Einsatz von multimedialen Elementen eine ganze Reihe von Möglichkeiten, um neue Lernwege zu realisieren und lernrelevante Schüleraktivitäten bei der quantitativen Auswertung von Experimenten zu fördern. Remotely Controlled Laboratories (RCLs) und Virtual Laboratories (VLs) erlauben Schülerinnen und Schülern selbstständig am Computer Experimente zu steuern und durchzuführen, die als klassisches Schülerexperiment zu gefährlich oder mit einer Schulsammlung nicht zu realisieren sind. Bettet man diese computergestützten Experimente in Lernumgebungen ein, so lässt sich jeder Nutzer individuell in seinem Experimentierprozess unterstützen und fördern. Hierfür sind nach Fund (2007) vier verschiedene Arten von Scaffolding zu unterscheiden:

- strukturelles Scaffolding bietet Orientierung und strukturiert den Lernprozess zum Beispiel durch Navigationsleisten oder einen Advance Organizer
- inhaltliches Scaffolding bietet Hilfen fachlicher Art, um beispielsweise fehlendes Vorwissen auszugleichen
- reflektives Scaffolding aktiviert metakognitive Monitoring-Prozesse, die bspw. dazu anregen, über das allgemeine Vorgehen nachzudenken oder zur Fehlersuche anleiten
- anreicherndes Scaffolding zeigt Vernetzungsmöglichkeiten des zu erwerbenden Wissens mit bereits gelerntem oder mit bekannten Phänomenen aus der Lebenswelt auf; erleichtert damit die Verankerung des Lerngegenstandes im individuellen Wissensnetz

Rückmeldungen über Erfolg und Misserfolg beim Bearbeiten von Aufgaben fallen somit in den Bereich des reflektiven Scaffoldings. Solches Feedback hat beim Lernen und Lehren auch immer das Ziel, falsche Vorstellungen zu verändern, richtige Vorgehensweisen zu stärken und das Lernen zu fördern. Dies wird schon in Shutes Definition von Feedback als „information communicated to the learner that is intended to modify his or her thinking or behavior for the purpose of improving learning“ (Shute, 2008, S. 154) deutlich. In einer Lernumgebung kann Feedback dazu so gestaltet werden, dass Nutzer es noch während ihres Arbeitsprozesses erhalten. Die zeitliche Positionierung direkt im Lernprozess führt dazu, dass gemachte Fehler zeitnah aufgezeigt werden und so ein Festigen falscher Vorstellungen

vermieden wird. Weiterer Vorteil des Feedbacks durch die Lernumgebung ist, dass es sich um ein hochgradig individuelles Feedback handelt, da das Feedback von den Aktivitäten und Eingaben des Nutzers abhängt. Eine solch individualisierte, direkt im Lernprozess stattfindende Rückmeldung ist beim Unterricht im Klassenverband für einen einzelnen Lehrer nur schwer zu realisieren.

Eine strukturierte Umgebung, gestufte Hilfen und individuelles Feedback sind insbesondere dann notwendig, wenn inhaltlich anspruchsvolle Aufgaben wie die quantitative Auswertung von Experimenten bearbeitet werden sollen (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006).

Zusätzlich sind bei der Betrachtung der Elektronenbewegung in E- und B-Feld zentrale Elemente, wie einzelne Elektronen und die Felder selbst, nicht direkt sichtbar. Hier bietet der Einsatz von Multimedia hilfreiche Visualisierungsmöglichkeiten. Animationen und Simulationen können einzelne Elektronen modellhaft sichtbar machen oder es können reale Versuchsaufbauten durch zusätzliche Schemazeichnungen erweitert werden. Solche multiplen Repräsentationen können durch den notwendigen Übersetzungsprozess zu einem vertieften Verständnis des dargestellten Sachverhaltes führen. Allerdings sollten sie dazu integriert und dynamisch verlinkt sein (van der Meij & de Jong, 2006). Werden hierbei reale Bilder mit zusätzlichen Informationen angereichert, so führt dies zu einer „Augmented Reality“.

### Die Lernumgebung im Überblick

Die Lernumgebung beinhaltet jeweils ein Kapitel über die Beschleunigung von Elektronen im Längsfeld, ihre Ablenkung im elektrischen Querfeld und ihre Bewegung im homogenen Magnetfeld eines Helmholtzspulenpaares. Die Beschleunigung im Längsfeld wird mithilfe einer Simulation visualisiert und enthält neben der klassischen auch eine relativistische Berechnung. Die Abschnitte über die Ablenkung im Querfeld und die Bewegung im Magnetfeld gehen von den jeweiligen Versuchsaufbauten aus. Hieraus werden Hypothesen generiert und mithilfe der Experimente (vgl. Abb. 1 und 2) geprüft.

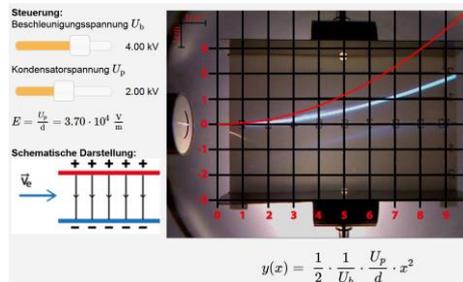


Abb. 1: Experiment zur Ablenkung im Querfeld mit überlagertem Funktionsgraph

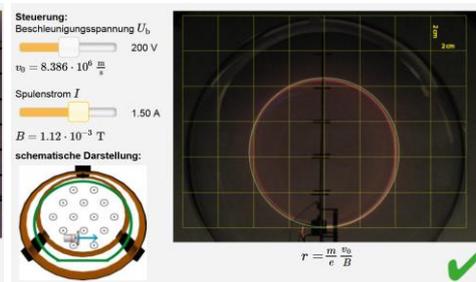


Abb. 2: Experiment zur Bewegung im B-Feld mit überlagertem Kreisbahn

Anschließend wird schrittweise eine Funktion zur mathematischen Beschreibung des Einflusses der einzelnen Parameter auf die Bahn der Elektronen entwickelt. Der Graph dieser Funktion wird dabei über das Bild des Realexperimentes gelegt und bietet so ein direktes, optisches Feedback.

Weiter bietet die Umgebung ausführliche Herleitungen und Übungsaufgaben. Das gesamte Programm finden Sie unter: <http://www.didaktik.physik.lmu.de/elektronenbahnen/>.

### Die Untersuchung

Zur Untersuchung der Lernumgebung wurde eine explorative Studie mit Pre-Test, Intervention und Post-Test durchgeführt. Teilnehmer waren drei elfte Klassen mit 52 Schülerinnen und Schülern eines bayerischen Gymnasiums. Nach dem Pre-Test mit acht Items aus dem

Force Concept Inventory zu überlagerten Bewegungen fand der Unterricht im Computerraum statt. Die Schüler arbeiten 45 Minuten selbstständig am Abschnitt über die Ablenkung von Elektronen im elektrischen Querfeld. Dabei wurden alle Interaktionen der Schüler mit der Lernumgebung erfasst und in einer Datenbank gespeichert. Dieses Vorgehen erlaubte eine rückwirkungsfreie Dokumentation des Arbeitsprozesses. In der folgenden Stunde fand der Post-Test mit 22 Items aus den Bereichen Versuchsaufbau, Einfluss einzelner Parameter, grundlegende Gesetzmäßigkeiten und mathematische Berechnung statt. Ziel der Studie war die Nutzungsakzeptanz der Lernumgebung abzusichern, inhaltliche Schwierigkeiten auf Seiten der Schüler zu identifizieren und den Nutzen der dargebotenen Hilfen und des Feedbacks beim quantitativen Auswerten von Experimenten zu prüfen.

### **Erste Ergebnisse**

Der Pre-Test machte deutlich, dass das Wissen der Schüler über das Superpositionsprinzip sehr heterogen war. Acht Schüler erreichten die maximal mögliche Punktzahl, während drei Schüler nur ein Item richtig beantworteten und acht Schüler nur zu zwei richtigen Antworten gelangten. Die Analyse der Logfiles zeigte, dass alle Schüler von den Interaktions- und Experimentiermöglichkeiten der Umgebung Gebrauch machten. Weiter fiel eine sehr unterschiedliche Wahl von Hypothesen bzgl. des Einfluss von Beschleunigungs- und Ablenkspannung auf die Bahn der Elektronen auf. Während 65 % die zutreffende Vermutung über den Einfluss der Kondensatorspannung auf die Flugbahn auswählten, gelang dies mit Bezug auf die Beschleunigungsspannung der Elektronenkanone nur 47 %. Hier stellten 41 % die Vermutung auf, dass diese keinen Einfluss auf die Bahn im Kondensator hat.

Auch beim Prüfen und Bewerten der aufgestellten Hypothesen mithilfe des Experimentes zeigte sich ein ähnliches Bild. Bezüglich des Einflusses der Ablenkspannung bewerteten 85 % ihre Hypothese korrekt, bezüglich des Einflusses der Beschleunigungsspannung nur 67 %. Bei der Entwicklung einer mathematischen Beschreibung für die Bahn der Elektronen benötigten 92 % der Nutzer Unterstützung durch vorgegebene Formelbausteine.

### **Diskussion**

Das heterogene Vorwissen verdeutlicht, dass die Lernumgebung so konzipiert werden muss, dass kein Vorwissen zu überlagerten Bewegungen vorausgesetzt wird. Weiter wird erkennbar, dass der Einfluss der Beschleunigungsspannung auf die Elektronenbahn für Schüler schwerer zu identifizieren ist, als der Einfluss der Kondensatorspannung. Hier könnte eine kleinschrittigere Abfolge von Aufgaben helfen, insbesondere den Erfolg beim Bewerten der Hypothesen zu verbessern. Dass fast alle Nutzer auf die angebotenen Formelbausteine zurückgriffen, zeigt, dass die selbstständige Entwicklung einer mathematischen Beschreibung intensiv unterstützt werden muss. Gerade in diesem Punkt besitzt die Einbettung des Experimentes in eine Lernumgebung ihre Stärken, da so durch „Augmented-Reality-Elemente“ wie den über dem Bild des Realexperimentes dargestellten Plot der entwickelten Funktion ein leicht verständliches und individuelles Feedback dargeboten werden kann. Auf diese Weise unterstützt, können Schüler das selbstständige quantitative Auswerten von Experimenten schrittweise erlernen.

### **Literatur**

- Fund, Z. (2007). The effects of scaffolded computerized science problem-solving on achievement outcomes: a comparative study of support programs. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(5), 410–424.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Shute, V. J. (2008). Focus on Formative Feedback. *Review of Educational Research*, 78(1), 153–189.
- van der Meij, J., & de Jong, T. (2006). Supporting students' learning with multiple representations in a dynamic simulation-based learning environment. *Learning and Instruction*, 16(3), 199–212.