

Offenes Experimentieren in der Lehramtsausbildung

T. Braun¹ und U. Backhaus¹

¹Universität Duisburg-Essen, Universitätsstrasse 2, 45117 Essen

Mit dem Projekt LOFEX haben wir uns das Ziel gesetzt, LehrerInnen zu einer Öffnung ihres Experimentalunterrichts anzuregen. Darüber hinaus wurde das Konzept des *offenen Experimentierens* in geeigneter Weise in die aktuelle Lehramtsausbildung integriert. Wir stellen erste Erfahrungen und Ergebnisse unserer Arbeit mit Studierenden anhand experimenteller Beispiele vor und berichten über unsere Erfahrungen.

1 Motivation

Ein wesentlicher Kritikpunkt an der gängigen Unterrichtspraxis ist das „Fehlen von Offenheit“ [1]. Dabei ist festzustellen, dass bei vielen Diskussionen über Unterrichtspraxis der Begriff Offenheit zwar verwendet [2], oft jedoch nicht näher präzisiert wird. Es gibt verschiedene Offenheitsgrade von Experimenten. Beispielsweise unterscheidet Kirschner zwischen „formalen Experimenten“, „partiell offenen Experimenten“ und „offenen Experimenten“ [3]. Lernende haben die Vorstellung, dass in der Naturwissenschaft der Erfolg eines Experiments garantiert ist [1]. Mit dem Projekt LOFEX wollen wir Studierenden in offenen Experimentiersituationen im Rahmen eines zweistündigen Seminars erfahrbar machen, dass der Erfolg von Experimenten von vielen Bedingungen abhängig ist, zu deren wichtigsten konkrete Fragestellungen, sorgfältige Planung und eine systematische Variation einzelner Parameter gehören.

Als Hauptziel sehen wir dabei das Erlernen von Experimentierfertigkeiten an. Dabei verstehen wir das Experimentieren im Sinne Wagenscheins als ein Funktionsziel. Nach Wagenschein erfahren Lernende dabei, wie der physikalische Forschungsweg

selbst zum Gegenstand der Betrachtung wird [8]. Dazu gehört unter anderem die „Konstruktion einer experimentellen Fragestellung“, die als Ausgangspunkt für systematische Experimentiertätigkeiten dient [9].

Im Folgenden beschreiben wir erste Erfahrungen, die wir bei diesem Seminar mit einer kleinen Gruppe von Studierenden gemacht haben.

2 Offenes Experimentieren im Rahmen von LOFEX

Wie kann man Studierenden die komplexen Zusammenhänge in der Physik erfahrbar machen, physikalische Methoden vermitteln und gleichzeitig motivieren? Der Experimentalunterricht kann in diesem Zusammenhang einen großen Beitrag leisten. In unserem Praktikum für offenes Experimentieren wird den Studierenden zunächst ein physikalisches Phänomen in Form eines so genannten „Einstiegs-experimentes“ vorgeführt. Dieses Phänomen soll so geschaffen sein, dass es:

1. motiviert, sich mit physikalischen Inhalten zu beschäftigen.
2. Untersuchungen in möglichst unterschiedliche

¹Um Demotivation durch einen zu hohen Schwierigkeitsgrad aufgrund unterschiedlicher Wissensstände der Lernenden zu vermeiden, sollen Bearbeitungsansätze mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden ermöglicht werden. So kann bei dem in Kapitel 2.3 bearbeiteten Phänomen einerseits die Ursache für eine messbare Spannung untersucht werden. Andererseits kann in einer höheren Untersuchungsstufe die Ursache für die unterschiedlichen Spannungswerte gefunden und ihr Verhältnis begründet werden.

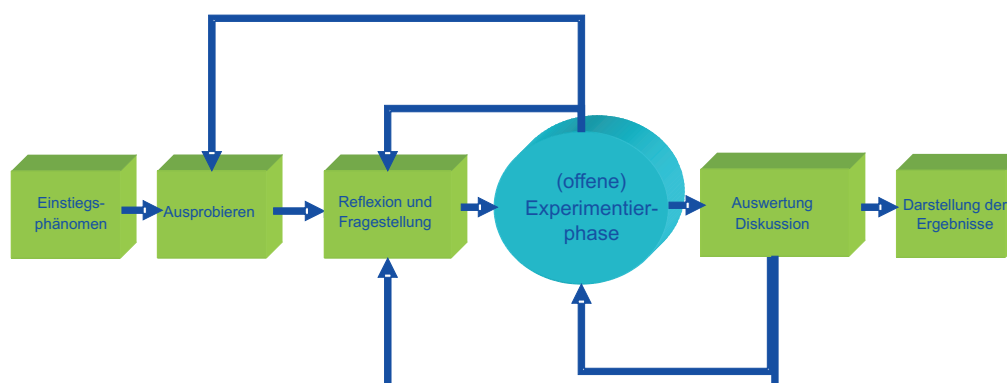


Abbildung 1: Darstellung der Phasen des Experimentierens (in Anlehnung an [9])

Richtungen eröffnet.

3. auf möglichst vielen unterschiedlichen Verständnisebenen¹ zu bearbeiten ist.

Die Studierenden haben dann die Aufgabe, dieses physikalische Phänomen mit eigenen Untersuchungsmethoden zu ergründen und zu erforschen. Dazu steht Ihnen ein Zeitraum von etwa fünf Wochen mit je zwei Stunden zur Verfügung. In dieser Zeit findet die gesamte Experimentiertätigkeit inklusive Auswertung und Verschriftlichung statt. In Anlehnung an Reinhold [9] streben wir eine Experimentiertätigkeit an, bei der sich verschiedene Phasen unterscheiden lassen (Abb. 1), die mehr oder weniger fließend ineinander übergehen.

2.1 Ausprobieren und Spekulieren

Dieser Teil der Untersuchung ist die Vorstufe zum systematischen Experimentieren. In dieser Phase kristallisieren sich spätere Motive und Untersuchungsziele heraus. Es findet ein „Ausprobieren“ statt, an dessen Ende eine Vielzahl an gemachten Beobachtungen und Überlegungen, vor allem aber Fragen und Vermutungen über Erklärungsansätze zum beobachteten Phänomen stehen.

2.2 Reflexion und Ordnung der Erkenntnisse

Im Allgemeinen tritt nach einer gewissen Zeit das Bedürfnis nach einer Systematisierung der Beobachtungen und Überlegungen auf. Diese Brainstormingphase dient der Orientierung. Die bis zu diesem Punkt gebildeten theoretischen Prinzipien und in

diesem Zusammenhang möglichen/sinnvollen experimentellen Untersuchungen werden reflektiert und diskutiert. Dadurch wird ein guter und vor allem für alle Teilnehmer gleicher Ausgangspunkt für die folgende systematische Untersuchung geschaffen.

2.3 Offene Experimentierphase

Diese Phase beinhaltet den Hauptanteil der Erkenntnistätigkeit Experimentieren. Die in den Anfangsphasen gewonnenen Hypothesen, Vermutungen und Beobachtungen werden nun experimentell untersucht. Das Ziel ist die systematische Untersuchung des Phänomens. Um Antworten auf die in den vorangegangenen Phasen entwickelten Fragestellungen zu finden, werden hier beispielsweise Experimente nach dem Ausschließungsprinzip getätigt. Ein relevantes Phänomen wird gezielt untersucht und sein Einfluss entweder bestätigt oder verworfen. Darüber hinaus steht am Ende jeder Sitzung ein kurzes Resümee, in dem die bis dahin gemachten Beobachtungen und Experimente zusammengefasst und Vorschläge für das weitere Vorgehen in kommenden Sitzungen zusammengetragen werden.

2.4 Auswertung, Diskussion und Darstellung der Ergebnisse

Die Auswertung der gemachten Erfahrungen und der experimentell gewonnenen Daten erfolgt durch ein Versuchsprotokoll. Darin wird der Weg der Erkenntnisgewinnung beschrieben, und die bei der Untersuchung gesammelten experimentelle Daten werden ausgewertet und diskutiert. Die Absicherung aller Daten während des Praktikums erfolgt

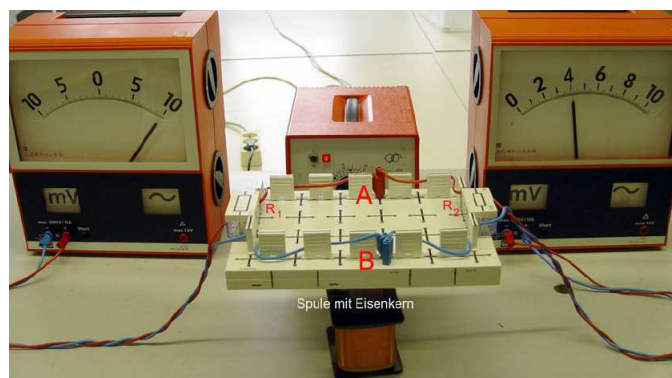


Abbildung 2: Versuchsaufbau des Phänomens „Seltsame Voltmeter“

durch ein Laborbuch. Es dient am Ende als Grundlage für die Auswertung der Ergebnisse. Möglicherweise stehen am Ende der Untersuchungen neue oder veränderte Fragestellungen. In diesem Fall kann dann eine neue Phase des Ausprobierens oder des Experimentierens einsetzen. Diese Rückschlüsse setzen sich so lange fort, bis entweder die Ausgangsfragen aus der Sicht der Gruppe hinreichend beantwortet wurden, keine neuen Fragestellungen mehr entstehen, oder die zur Verfügung stehende Bearbeitungszeit abgelaufen ist. In einigen Fällen kann auch Ratlosigkeit herrschen. In diesem Fall muss der Betreuer mit gezielten Hilfestellungen, die die Offenheit nicht zu stark einschränken, eingreifen.

3 Beispielexperiment: seltsame Voltmeter

Das vorgeführte Phänomen² stellt sich den Teilnehmern folgendermaßen dar:

Eine Spule mit Eisenkern liegt auf einem Tisch. Auf dem Kern liegend, befindet sich ein Steckbrett, auf dem eine rechteckige Leiterschleife gesteckt ist, die zwei Widerstände R_1 und R_2 enthält. Rechts und links von dieser Anordnung stehen zwei Mikrovoltmeter, die an denselben Punkten A und B innerhalb des Steckbrettes angeschlossen sind. Das aus unserer Sicht, aber auch von den Teilnehmern, als interessant wahrgenommene Phänomen sind die unterschiedlichen Anzeigewerte der Voltmeter (vgl. Abb.2).

²Das Phänomen wurde bereits 1969 von Moorcroft [5] und 1982 von Romer [6] publiziert. Wir haben das Phänomen aus akutem Anlass noch einmal aufgegriffen und diskutiert [4].

3.1 Ausprobieren und Spekulieren

Zunächst betrachteten alle Teilnehmer die Anzeigen der Voltmeter mit großer Skepsis. Ausgangspunkt war dann die Annahme „Da steckt doch irgend so ein Trick dahinter“. Es galt daher zu prüfen, ob die Anzeigewerte wirklich „Messwerte“ sind oder ob es sich um ein zufällige Werte bzw. Störung der Geräte handelt. Diese Möglichkeit konnte durch Austauschen der beiden Messgeräte eindeutig widerlegt werden. Die Anzeigewerte sind geräteunabhängig. Ein weiteres, auffälliges Merkmal des Experiments sind die verdrehten Anschlusskabel der Messgeräte. Eine Auflösung der Verdrehung führt zu scheinbar unkontrollierbaren und unvorhersehbaren Anzeigewerten. Bei genauen Betrachtungen der Versuchsanordnung erweist sich die Spule als auffälliges Element. Diese wurde von zwar von allen Gruppen als „Ursache“ für die Spannungen angesehen, eine genaue Beschreibung oder gar Erklärungen standen an dieser Stelle noch aus.

3.2 Reflexion und Ordnung der Erkenntnisse

Zu Beginn dieser Brainstormingphase wurden alle vorher gemachten Beobachtungen noch einmal zusammengetragen. Aufgrund dieser Beobachtungen entwickelten sich verschiedene Fragestellungen. Diese lassen sich sowohl in theoretische Fragestellungen wie: „Ist Induktion die Ursache für die Spannungen?“ oder „Warum kann man überhaupt Spannungen messen?“ als auch in experimentelle Fragestellungen „Wo gibt es in diesem Versuchsaufbau wirksame Flächen, durch die ein magnetischer Fluss

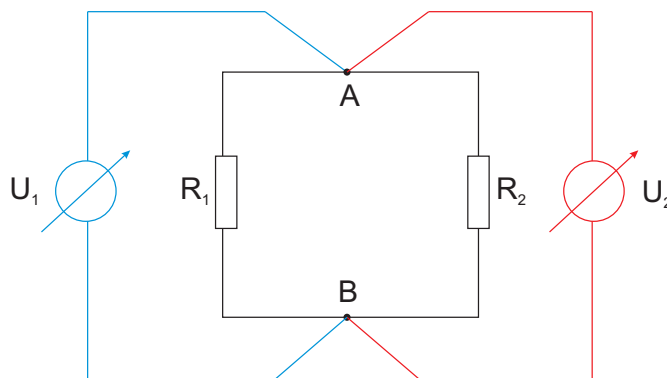


Abbildung 3: Schaltskizze des Versuchsaufbaus. Wir bezeichnen den mittleren Kreis als Stromkreis (schwarz) und die äußeren Kreise als Messkreise (rot, blau).

greift?“ klassifizieren. In manchen Fällen wurden aber auch Vermutungen angestellt („Wird in den Messkabeln eine Spannung induziert?“), die experimentell zu bestätigen waren. An dieser Stelle wurden bei den meisten Gruppen experimentelle Defizite deutlich. Einen experimentellen Nachweis für eine vorhandene Induktionsspannung in den Messkabeln zu finden, stellt für alle Teilnehmer eine ungewohnt schwierige Aufgabenstellung dar.

3.3 Experimentieren

Für einen induzierten Strom in den Messkabeln fand eine der Gruppen folgenden Nachweis: Die beiden Messkabel eines Voltmeters wurden an den offenen Enden zusammengesteckt, sodass eine Schlaufe gebildet wurde. Diese wurde dann in verschiedenen Positionen und Orientierungen über den Messkreis gehalten. Es zeigten sich Ausschläge am Voltmeter. Genauere Beobachtungen ergaben, dass die Anzeige unabhängig ist von der Größe der Schlaufe, so lange diese groß verglichen mit dem Querschnitt des Eisenkerns ist. Damit wurde die Bedeutung der Kabelverdrillungen verstanden. Erst von diesem Punkt an wurden systematische Untersuchungen des Stromkreises möglich, da die Messwerte jetzt nur noch von Eigenschaften des Stromkreises abhängig sind.

Des Weiteren wurde die Abhängigkeit der induzierten Spannung im Stromkreis von der Frequenz des Spulenstroms untersucht. Dazu wurde die Wechselspannungsquelle in Abbildung 2 durch einen Fre-

quenzgenerator ersetzt. Im Allgemeinen wurde eine Proportionalität zur Frequenz erwartet, da $U \sim \omega$ ist. Experimentell zeigte sich aber eine Frequenzunabhängigkeit. Die Widerstände wurden systematisch ersetzt und eine Proportionalität zwischen Widerstandswerten und Messspannungen wurde in einigen Fällen erkannt. In Abbildung 4 wird eine systematische Variation der Abgriffspunkte A und B dargestellt. Es zeigt sich, dass die gemessenen Spannungen von der Wahl der Abgriffspunkte unabhängig ist³.

3.4 Auswertung, Diskussion und Darstellung der Ergebnisse

Insgesamt standen am Ende der Untersuchungen die folgenden wichtigen Ergebnisse:

Alle Gruppen haben verstanden, warum grundsätzlich Spannungen gemessen werden können und dass diese mit den Widerstandswerten zusammenhängen. Eine systematische Untersuchung dieses Zusammenhangs fand aber nicht in allen Fällen statt. Die Bedeutung der Kabelverdrillungen wurde zwar von allen Gruppen erkannt, jedoch nicht von allen Gruppen systematisch experimentell untersucht. Insgesamt wurde gerade an dieser Stelle der hohe Anspruch der „experimentellen Separation“ deutlich. Die Ursache für die unterschiedlichen Spannungswerte wurde von keiner Gruppe gefunden. Allerdings stand diese Problematik in den meisten Fällen nur zu Beginn der Experimentierphase im Vordergrund. Nach einer kurzen Einarbei-

³Auch hier muss dafür gesorgt werden, dass kein Fluss durch den Messkreis greift.

tungszeit haben schnell andere Fragestellungen das Experimentierverhalten der Studierenden geleitet. Dazu gehören zum Beispiel die Fragen, warum überhaupt Spannungen gemessen werden können oder unter welchen Bedingungen reproduzierbare Ergebnisse gewonnen werden können.

4 Vergleich mit unseren Vorstellungen

Wie bereits erwähnt war am Ende keine Gruppe in der Lage, die Ursachen für unterschiedliche Anzeigewerte der Voltmeter zu erklären. Diese Erwartung erwies sich angesichts des hohen Schwierigkeitsgrades des Versuches als nicht realistisch. Da die meisten TeilnehmerInnen nur eine vage Vorstellung vom Vorgang der elektromagnetischen Induktion und keine Kenntnis des Induktionsgesetzes hatten, erkannten sie das Verhältnis der Spannungswerte nicht als Ausdruck derselben Stromstärke in den beiden Widerständen.

Die Gruppen haben sich insgesamt bemüht, sich die einzelnen Experimentierphasen bewusst zu machen und sich daran zu halten. Allerdings verfielen manche Gruppen angesichts der vielen veränderbaren Versuchsparameter zeitweise in planloses Probieren. Wir hoffen, dass sich dieser Sachverhalt im Laufe des Seminars verbessert, wenn mehrere Phänomene bearbeitet und mehr experimentelle Erfahrungen gesammelt wurden.

5 Zusammenfassung

Als erste Erfahrungen mit diesem Phänomen können wir Folgendes festhalten:

Das Phänomen „Seltsame Voltmeter“ ist anspruchsvoll in Theorie und Experiment. Strom- und Spannungsbegriff sind bei Schülern und Studierenden oft mit Fehlvorstellungen behaftet. Lernende können oft nicht zwischen Strom und Spannung unterscheiden [7] („Bei Plus ist der Strom noch vollständig. Wenn er durch die Lampe durch ist, dann ist er verbraucht, dann ist die Spannung weg.“). Diese Fehlvorstellungen können in dieser offenen Arbeitsweise den Teilnehmern bewusst gemacht werden. Sie führen aber auch zu erheblichen Schwierigkeiten bei der Interpretation der Messergebnisse.

Die Anforderungen an die experimentellen Fähigkeiten der TeilnehmerInnen sind ebenfalls vergleichsweise hoch. Insbesondere sind Grundkenntnisse im Umgang mit Experimentiermaterialien und

-geräten erforderlich und die Fähigkeit, beim Experimentieren nicht mehrere Parameter gleichzeitig zu ändern. Es sind deshalb an einigen Stellen Tipps oder Beratungen durch den Betreuer nötig. Dabei sollte gewährleistet bleiben, dass die experimentelle Aktivität der Teilnehmer nicht in eine bestimmte Richtung gelenkt wird. Einerseits müssen diese Hinweise den Teilnehmern als Hilfestellung dienen können, damit einer auftretenden Phase der „Hilflosigkeit“ (die in einem gewissen Rahmen durchaus gewollt ist) begegnet werden kann. Andererseits darf diese Phase nicht in Frustration umschlagen. An diesem Punkt sind für uns noch viele Fragen offen und viele Erfahrungen zu sammeln.

Es hat sich gezeigt, dass die erfolgreiche Bewältigung offener Experimentiersituationen an notwendige theoretische, methodische und praktische Voraussetzungen geknüpft ist. Im Falle des hier beschriebenen Ausgangsphänomens gehören dazu zutreffende Vorstellungen über Stromstärke- und Spannungsbegriff und eine mindestens qualitative Kenntnis des Induktionsgesetzes, der Umgang mit Messgeräten und die möglichst bereits vorher erworbene Fähigkeit, Parameter zu isolieren und einzeln zu variieren.

6 Anhang: Etwas Theorie

Wir haben in [4] die Theorie des hier beschriebenen Experiments ausführlich dargestellt. Deshalb sollen hier nur kurz die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst werden: Durch den Stromkreis greift ein von der Spule erzeugtes sich zeitlich änderndes magnetisches Feld. Durch die damit verbundene Änderung des magnetischen Flusses ϕ wird in dem Stromkreis ein elektrischer Strom induziert, für den nach dem Induktionsgesetz gilt:

$$(R_1 + R_2)I = -\dot{\phi}$$

Die Verwendung des Spannungsbegriffs ist bei dieser Versuchsanordnung nicht unproblematisch, weil die Wegunabhängigkeit des Linienintegrals über die elektrische Feldstärke, die konstitutiv für den Spannungsbegriff ist, verletzt ist. Die Anzeige eines Voltmeters kann trotzdem als Maß für den „Spannungsabfall“ RI an einem stromdurchflossenen Widerstand interpretiert werden, wenn durch den aus Widerstand und Messgerät gebildeten Messkreis kein zeitlich veränderlicher magnetischer Fluss greift.

Erläutert sei dies am Beispiel der Abgriffspunkte A_8 und B_8 in Abbildung 4: Der aus dem Wider-

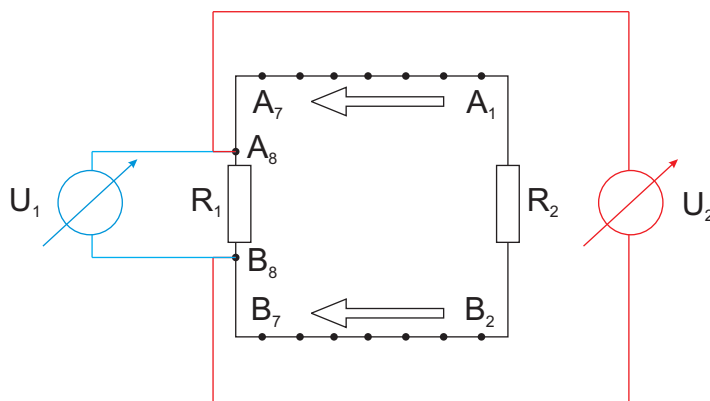


Abbildung 4: Messung der Abhängigkeit der Spannungswerte von der Wahl der Abgriffspunkte. Dabei wurden die Abgriffe der Spannungen an den Punkten A, B systematisch verändert $A_1, B_1; A_2, B_2; \dots; A_8, B_8$. Dabei werden beide Messkreise (rot und blau) als flussfrei vorausgesetzt (verdrillte Kabel).

stand R_1 und dem Messgerät 2 gebildete Messkreis ist nicht flussfrei. Das Messgerät zeigt deshalb *nicht* den Spannungsabfall an R_1 an. Im Gegensatz dazu ist der aus R_2 und dem Messgerät 2 gebildete Messkreis – bei enger Kabelführung! – flussfrei. Das Messgerät zeigt dann den Spannungsabfall an Widerstand 2 an.

Literatur

- [1] D. Hudson, Re thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science, *Studies in Science Education* 22, 85 (1993)
- [2] F. Loser, Aspekte einer offenen Unterrichtsplanung, *Bildung und Erziehung* 28, 241 (1975)
- [3] P. A. Kirschner, Epistemology, Practical work and academic skills in science education, *Science and Education* 1, 273 (1992)
- [4] U. Backhaus, T. Braun, Der Begriff der elektrischen Spannung und seine Messung in Gegenwart von zeitlich veränderlichen Magnetfeldern, *PhyDid* 1/5, 45 (2006)
- [5] D. R. Moorcroft: Faraday's Law – Demonstration of a Teaser, *Am. J. Phys.* 37, 221 (1969)
- [6] R. H. Romer: What do voltmeters measure? Faraday's law in a multiply connected region, *Am. J. Phys* 50/12, 1089 (1982)
- [7] E. Kirchner, W. Hauser, Analogien zum Spannungsbegriff in der Hauptschule, *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 6/27, 18 (1995)
- [8] M. Wagenschein, *Naturphänomene sehen und verstehen*, Klett Stuttgart (1980)
- [9] P. Reinhold, *Offenes Experimentieren und Physiklernen*, IPN Kiel (1996)