

Eine Unterrichtseinheit zur vereinheitlichten Darstellung der elektromagnetischen Induktion in der Sekundarstufe II

Corinna Erfmann, Roland Berger

Didaktik der Physik, Universität Osnabrück, Barbarastraße 7, 49076 Osnabrück
corinna.erfmann@uos.de, roland.berger@uos.de

Kurzfassung

Die elektromagnetische Induktion ist ein wichtiger Bereich sowohl in der Schule als auch im Alltag der Schülerinnen und Schüler. Allerdings zeigt sich immer wieder, dass sie ein ausgesprochen schwieriger Lerngegenstand ist. Schülerinnen und Schüler erwerben häufig bruchstückartiges oder inkonsistentes Wissen im Zusammenhang mit der elektromagnetischen Induktion. Dies belegen unter anderem Studien von Maloney, Saglam und Thong [2, 3, 4], sowie eigene Erhebungen.

Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, wurde ein Unterrichtskonzept ausgearbeitet, das durch seinen Aufbau die Schülerinnen und Schüler im Lernprozess unterstützen soll. In diesem Konzept stellt der magnetische Fluss die Basis für die darauf aufbauende einheitliche Erklärungssequenz dar. Die Werte und die Änderungen des magnetischen Flusses werden in diesem Ansatz durch Zählen von Feldlinien ermittelt, um so einen möglichst einfachen Zugang zu eröffnen.

Die Entwicklung dieser Unterrichtseinheit folgt der didaktischen Rekonstruktion. Es wurde an vielen Entwicklungsschritten eng mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II zusammengearbeitet.

1. Zentrale Ideen

Bei der Entwicklung der Unterrichtseinheit haben wir uns von drei Kerngedanken leiten lassen. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

Das entwickelte Unterrichtskonzept verfolgt das Ziel, zunächst ein grundlegendes *qualitatives Verständnis* bei den Schülerinnen und Schülern für die elektromagnetische Induktion aufzubauen. Hierdurch soll der Blick der Schülerinnen und Schüler zunächst ganz zentral auf die wesentlichen Vorgänge bei der Induktion gelenkt werden ohne dabei durch Formeln und Berechnungen unterbrochen zu werden.

In der Unterrichtseinheit werden im Gegensatz zum herkömmlichen Ansatz alle Phänomene mit einer *einheitlichen Erklärungssequenz* begründet. Im Gegensatz zur üblichen Einführungen der elektromagnetischen Induktion über die Lorentzkraft wird in unserem Ansatz konsequent die Änderung des magnetischen Flusses betrachtet, um so eine einheitliche Darstellung zu erzielen. Dadurch wird es möglich, alle Phänomene, die auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion beruhen, strukturell ähnlich zu erklären. Der Ansatz ist der folgende: Als Maß für die Größe magnetischer Fluss dient die Anzahl der magnetischen Feldlinien, die die vom Leiter eingeschlossene Fläche durchstoßen. Eine Veränderung des magnetischen Flusses durch eine vom Leiter eingeschlossene Fläche induziert im Leiter ein elektrisches Feld. Es kommt daher im Leiter zu einer Ladungsverschiebung. Im Falle eines geschlossenen Leiters fließt ein Induktionsstrom.

Anhand dieser zugrundeliegenden Erklärungssequenz wird deutlich, dass der *magnetische Fluss als zentrale Größe* für die Erklärung herangezogen wird. Im Unterrichtskonzept ist die Anzahl der Feldlinien, die eine vom Leiter eingeschlossene Fläche durchstoßen, ein Maß für den magnetischen Fluss. Der magnetische Fluss wird anders als oftmals üblich in unserem Unterrichtskonzept zu Beginn eingeführt. Es werden dann im weiteren Verlauf Änderungen des magnetischen Flusses betrachtet.

2. Ziele und Aufbau der Unterrichtseinheit

Die im Folgenden vorgestellte Unterrichtseinheit stellt eine alternative Herangehensweise zur Erarbeitung der elektromagnetischen Induktion dar. Der magnetische Fluss wird zu Beginn als neue Größe eingeführt. Auf diese Größe und das durch die Änderung des magnetischen Flusses entstehende elektrische Feld stützen sich konsequent alle Erklärungen zur elektromagnetischen Induktion. In diesem Konzept wird daher nicht auf die Einbeziehung der Lorentzkraft im Zusammenhang mit der elektromagnetischen Induktion eingegangen.

Die zentralen Lernziele, die mit dieser Unterrichtseinheit verfolgt werden, sind folgende:

1. Anwenden der getroffenen Festlegungen zum magnetischen Fluss (siehe 2.1).
2. Erklären der Erscheinungen der elektromagnetischen Induktion mittels der vereinheitlichten Erklärungssequenz (siehe 2.2).

3. Erläutern des Einflusses des Tempos der Änderung des magnetischen Flusses auf den induzierten Strom.
4. Benennen, in welchen Fällen sich die Stromflussrichtung des induzierten Stromes ändert.

Die Unterrichtseinheit kann in fünf Abschnitte eingeteilt werden (siehe Abb. 1). Diese umfassen insgesamt acht Unterrichtsstunden.

Abschnitt	Inhalt
1	Einführung des magnetischen Flusses mit dem Lernprogramm
2	Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und erste Anwendung der Erklärungssequenz
3	Anwendung der Erklärungssequenz in neuen Kontexten Vertiefung zu Aspekten der Induktion (Einfluss des Tempos der Änderung, Stromflussrichtung des induzierten Stromes)
4	Anwendung der Erklärungssequenz im Kontext Generator
5	Anwendung der erlernten Inhalte zur Induktion im Gruppenpuzzle (ABS-Sensor, Mikrophon u.a.)

Abb. 1: Übersicht über den Ablauf der Unterrichtseinheit

2.1 Erster Abschnitt

Da der magnetische Fluss die Grundlage für die Erklärung darstellt, wird dieser zu Beginn ausführlich eingeführt. Dies geschieht mit Hilfe eines eigens hierfür entwickelten Lernprogramms [4]. Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten sich eigenständig anhand dieses Lernprogramms die Merkmale des magnetischen Flusses.

Die Orientierung der Fläche in Bezug auf die Richtung der Feldlinien ist hierbei ein Merkmal des magnetischen Flusses. Um der Fläche eine Richtung zu geben ohne dabei auf Vektoren zurückzugreifen, haben wir uns dafür entschieden die zwei Seiten der Fläche unterschiedlich darzustellen. Die eine Seite der Fläche ist hell und die andere dunkel (siehe Abb. 2).

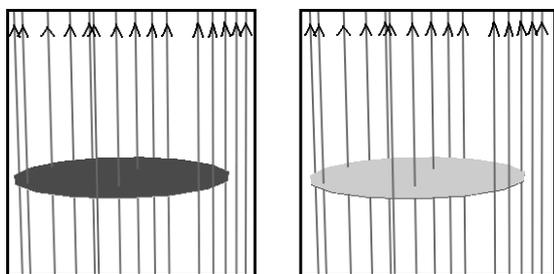


Abb. 2: Zwei Ausschnitte aus dem Lernprogramm. Beide Ausschnitte zeigen die Fläche im homogenen Magnetfeld. Die Fläche wurde im rechten Ausschnitt im Vergleich zum linken Ausschnitt um 180° gedreht. Im linken Ausschnitt durchstoßen die Feldlinien zuerst die helle Seite der Fläche und im rechten die dunkle Seite der Fläche.

Die Ergebnisse aus der Bearbeitung des Lernprogramms werden anschließend zusammengetragen und als Definition des magnetischen Flusses formuliert.

Definition magnetischer Fluss:

Die Anzahl der magnetischen Feldlinien, die eine Fläche durchstoßen, ist ein Maß für den Betrag des magnetischen Flusses durch die Fläche.

Es gilt der Zusammenhang: Je mehr Feldlinien eine gegebene Fläche A durchstoßen, desto größer ist der Betrag des magnetischen Flusses. Ändert sich die Richtung, mit der die Feldlinien die Fläche A durchstoßen, so ändert sich auch das Vorzeichen des magnetischen Flusses.

Um den magnetischen Fluss gut handhaben zu können und diesen einfach in verschiedenen Situationen bestimmen und dann auch vergleichen zu können, werden Festlegungen zum Wert des magnetischen Flusses mit den Schülerinnen und Schülern vereinbart. Diese lauten:

1. **Der Betrag des magnetischen Flusses** ist proportional zur Anzahl N der magnetischen Feldlinien, die die Fläche durchstoßen.
Es gilt: $|\Phi| \sim N$
2. **Das Vorzeichen des magnetischen Flusses** ist positiv, wenn die Feldlinien zuerst die helle Seite der Fläche durchstoßen und negativ, wenn die Feldlinien zuerst die dunkle Seite der Fläche durchstoßen.
3. 1 Magnetfeldlinie, die zuerst die helle Seite durchstößt, entspricht dem magnetischen Fluss Φ_0 .
Für $N = 1$ gilt also $|\Phi| = \Phi_0$, für $N = 2$ gilt $|\Phi| = 2\Phi_0$ usw.

Für die elektromagnetische Induktion ist es entscheidend, dass sich der magnetische Fluss im Laufe der Zeit verändert. Diese Änderung wird in Versuchen des weiteren Unterrichtsverlaufs von den Schülerinnen und Schülern betrachtet. Um die Änderung des magnetischen Flusses auf intuitive Weise visuell wahrnehmbar zu machen, setzen wir in der Unterrichtseinheit an den Stellen, an denen Änderungen des magnetischen Flusses betrachtet werden, als Hilfsmittel einen Filmstreifen ein. Die Abbildung 3 zeigt einen solchen Filmstreifen. Die Schülerinnen und Schüler füllen zu den Versuchen, die Bestandteil der Unterrichtseinheit sind, jeweils einen solchen Filmstreifen aus. Die Bilder des Filmstreifens zeigen Aufnahmen des Versuchs zu verschiedenen Zeitpunkten der Versuchsdurchführung. In die Kästchen unter dem Filmstreifen tragen die Schülerinnen und Schüler dann den Wert des magnetischen Flusses zum abgebildeten Zeitpunkt ein. Da die Änderungen

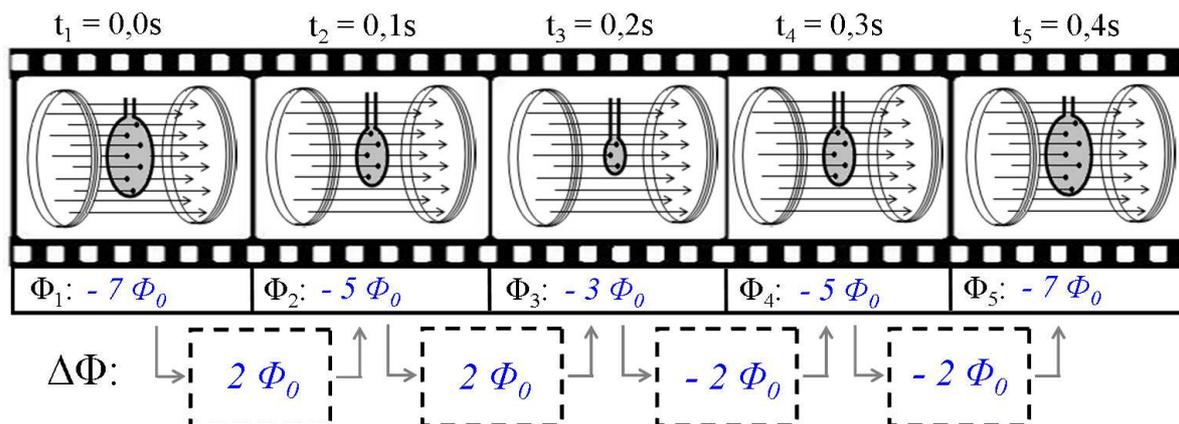


Abb. 3: Filmstreifen zum Versuch zur Änderung des magnetischen Flusses durch Vergrößern und Verkleinern des Flächeninhaltes. Die blauen (kursiv gedruckten) Einträge werden von den Schülerinnen und Schülern ergänzt.

des magnetischen Flusses entscheidend sind, werden auch die Änderung des magnetischen Flusses zwischen zwei aufeinander folgenden Bildern ermittelt und in die unterste Kästchenreihe eingetragen. Die Einführung zum magnetischen Fluss wird mit einigen Übungsaufgaben zur Festigung der zuvor getroffenen Festlegungen zum magnetischen Fluss und zum Ausfüllen der Filmstreifen abgeschlossen.

2.2 Zweiter Abschnitt

Der zweite Abschnitt ist der wichtigste Teil der Unterrichtseinheit, da in diesem Abschnitt mit den Schülerinnen und Schülern die grundlegende Theorie zur Induktion erarbeitet wird. Auf dieses bereitgestellte Wissen können die Schülerinnen und Schüler im weiteren Verlauf zurückgreifen und es in verschiedenen Kontexten anwenden.

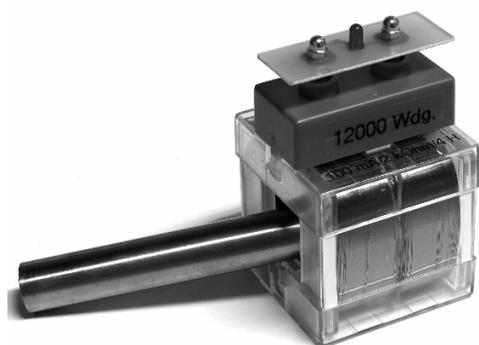


Abb. 4: Der Schülerversuch des zweiten Abschnitts besteht aus einer Spule mit 12000 Windungen, auf die ein Aufsatz mit einer bidirektionalen LED gesteckt wurde. Außerdem gehört zu dem Versuchsaufbau noch ein starker Stabmagnet.

Zu Beginn dieses Abschnitts wird anhand eines Schülerversuchs festgestellt, dass eine Änderung des magnetischen Flusses vorliegen muss, damit in einem Stromkreis ein Strom induziert wird. In diesem Einstiegsversuch (siehe Abb. 4) wird der induzierte Strom von den Schülerinnen und Schülern registriert,

indem eine bidirektionale Diode, die im Stromkreis eingebaut ist, leuchtet. Von dieser Erscheinung ausgehend werden die physikalischen Vorgänge, die zum Leuchten führen, erarbeitet. Hier wird nun zunächst die verallgemeinerte Erklärungssequenz entwickelt. Diese lautet:

Wir betrachten den **magnetischen Fluss** durch eine von einem Leiter eingeschlossene Fläche. Durch eine **Änderung** des magnetischen Flusses wird im Leiter ein **elektrisches Feld** induziert. Dieses elektrische Feld ist die Ursache für eine **Ladungsverschiebung** im Leiter.

Diese Erklärungssequenz soll den Schülerinnen und Schülern als Grundlage für die Erklärungen der folgenden Versuche dienen. Die obige allgemeine Sequenz wird dann auf die jeweiligen Versuche angepasst. Die vier hervorgehobenen Begriffe der Erklärungssequenz – *magnetischer Fluss*, *Änderung*, *elektrisches Feld* und *Ladungsverschiebung* - dienen den Schülerinnen und Schülern als Ankerpunkte für die Erklärungen. Diese Begriffe sollen in jeder Erklärung wieder aufgegriffen und richtig verwendet werden. Hierzu werden Kärtchen, auf denen diese Begriffe abgedruckt sind, an der Tafel angebracht, so dass sie für die Schülerinnen und Schüler zu jedem Zeitpunkt sichtbar sind.

Die allgemeine Erklärungssequenz findet dann beim ersten Versuch Anwendung. Die Schülerinnen und Schüler erklären den zuvor durchgeführten Versuch nun mit Hilfe der erarbeiteten Grundlagen.

Durch die immer wiederkehrende Verwendung der einheitlichen Erklärungssequenz soll deutlich werden, dass sich alle Erscheinungen der elektromagnetischen Induktion im Wesentlichen auf dieselbe Art und Weise erklären lassen. Um dies deutlich zu machen, werden in den folgenden Stunden noch weitere Versuche durchgeführt, die ebenfalls mit der Erklärungssequenz als Grundlage erklärt werden können.

In diesem ersten Versuch der Unterrichtseinheit wird die Änderung des magnetischen Flusses dadurch herbeigeführt, dass der Magnet und die Spule, und somit auch die betrachtete Fläche, relativ zueinander bewegt werden. Die weiteren Versuche, die durchgeführt werden unterscheiden sich alle in der Art und Weise der Änderung des magnetischen Flusses. Betrachtet man die Gesamtheit aller Versuche, so soll folgender Gedanke deutlich werden: Die Erklärung ist für alle Versuche im Wesentlichen die gleiche. Die Versuche unterscheiden sich lediglich in der Art und Weise der Änderung des magnetischen Flusses.

2.3 Dritter Abschnitt

Im weiteren Verlauf der Unterrichtseinheit soll die Erklärungssequenz in verschiedenen Versuchen und Kontexten eingeübt werden.

Als erstes wird hierfür der in Abbildung 5 dargestellte Versuchsaufbau verwendet.

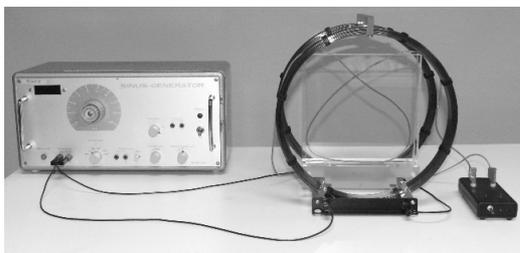


Abb. 5: In den Zwischenraum eines Helmholtzspulenpaares ist eine zum Kreis geformte Leiterschleife eingebracht worden. An diese Leiterschleife ist eine kleine Box angeschlossen. In dieser Box befinden sich eine rote und eine blaue Diode, die mit einem Verstärker im Innern der Box verbunden sind.

Dieser Versuchsaufbau wird für zwei verschiedene Versuche verwendet. Hierzu ist die Helmholtzspule an einen Funktionsgenerator angeschlossen. Im ersten Versuch fließt durch die Helmholtzspule ein Gleichstrom. Die Leiterschleife im Innenraum des Helmholtzspulenpaares befindet sich in einem homogenen Magnetfeld. Durch Vergrößern und Verkleinern des Flächeninhaltes der von der Leiterschleife eingeschlossenen Fläche wird in dem Leiter eine Ladungsverschiebung hervorgerufen. Für die Schülerinnen und Schüler wird diese Ladungsverschiebung durch das Leuchten der Dioden sichtbar.

In dem zweiten Versuch, der mit diesem Versuchsaufbau durchgeführt wird, wird die Helmholtzspule an einen Wechselstrom angeschlossen. Dies hat zur Folge, dass sich das Magnetfeld im Innenraum des Helmholtzspulenpaares permanent in seiner Stärke und Richtung verändert. In der Leiterschleife werden daher ohne weitere Eingriffe die Elektronen verschoben. Auch dies ist wieder durch ein Leuchten der Dioden erkennbar.

Anhand dieser beiden Versuche wird deutlich, dass die Erklärungssequenz auf verschiedene Versuche

übertragen werden kann. Die Versuche unterscheiden sich lediglich in der Art der Änderung des magnetischen Flusses. In dem einen Fall wird die Änderung des magnetischen Flusses durch Vergrößern und Verkleinern des Flächeninhaltes der von der Leiterschleife eingeschlossenen Fläche und in dem anderen Fall durch Veränderung der Stärke und Richtung des Magnetfeldes hervorgerufen.

In beiden Versuchen, die mit diesem Versuchsaufbau durchgeführt werden, fließt ein Strom in dem geschlossenen Kreis aus Leiterschleife und Dioden. Da die Dioden in einer Parallelschaltung angeordnet sind, leuchten die blaue und rote Diode abwechselnd. Zusammen mit den Schülerinnen und Schülern wird nun nach der Ursache für dieses Leuchtverhalten gesucht. Es wird festgestellt, dass das unterschiedliche Leuchten der Dioden ein Indiz für die Stromflussrichtung des induzierten Stromes ist. Abschließend wird festgehalten, dass

bei Verkleinerung des magnetischen Flusses der induzierte Strom in die eine Richtung und bei Vergrößerung des magnetischen Flusses in die entgegengesetzte Richtung fließt.

Es wird an dieser Stelle davon abgesehen, näher darauf einzugehen, die tatsächliche Stromflussrichtung anzugeben. Für die qualitative Betrachtung ist zunächst entscheidend, dass sich unter den zuvor erarbeiteten Bedingungen die Stromflussrichtung ändert.

2.4. Vierter Abschnitt

Mit den Kenntnissen der letzten Stunden wird sich nun dem wohl bedeutendsten Einsatz der elektromagnetischen Induktion im Alltag zugewandt - dem Generator und der Erzeugung von Wechselstrom. Die Schülerinnen und Schüler sind mit ihrem vorhandenen Wissen nun in der Lage die Entstehung eines induzierten Wechselstroms zu erarbeiten. Dies geschieht in einem Schülerversuch und anschließender systematischer Betrachtung der Änderung des magnetischen Flusses (siehe Abb.6).

Während der Durchführung des Versuches stellen die Schülerinnen und Schüler erneut fest, dass eine schnellere Änderung des magnetischen Flusses - in diesem Fall durch schnelleres Drehen der Spule im homogenen Magnetfeld - einen größeren induzierten Strom zur Folge hat.

Dieser Versuch zeigt mit der Drehung der Fläche im homogenen Magnetfeld eine weitere Möglichkeit zur Veränderung des magnetischen Flusses auf. Am Ende dieses Abschnitts haben die Schülerinnen und Schüler vier verschiedene Möglichkeiten zur Änderung des magnetischen Flusses kennen gelernt (siehe Abb. 7). Eine weitere Möglichkeit begegnet ihnen später noch in verschiedenen Versuchen, die im Rahmen eines Gruppenpuzzles durchgeführt und analysiert werden.

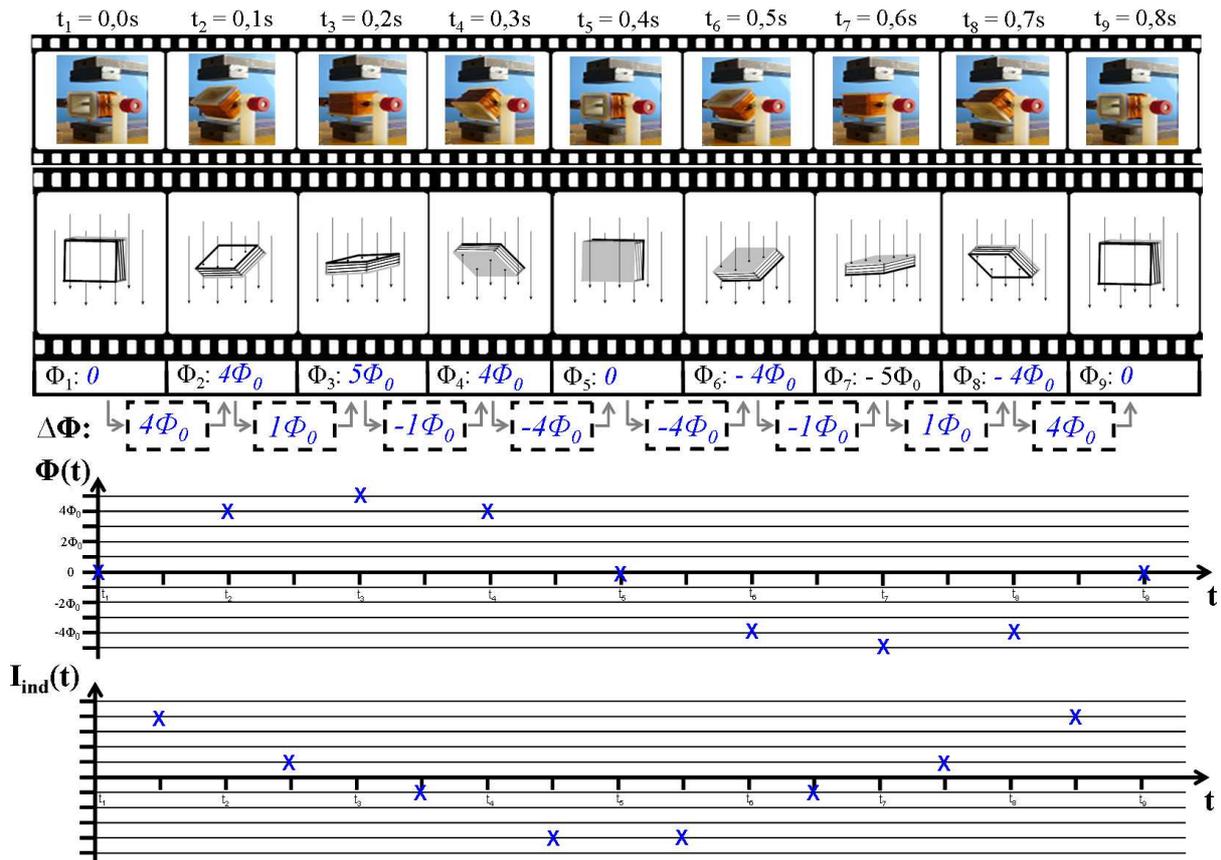


Abb. 6: Filmstreifen und Diagramme zum Versuch zum Generator. Die blauen (kursiv gedruckten) Einträge werden von den Schülerinnen und Schülern ergänzt. Man erkennt den sinusförmigen Verlauf im Diagramm zum induzierten Strom.

Versuchsaufbau	Änderung des magn. Flusses durch ...
	Relativbewegung zwischen Spule (Fläche) und Magnet
	Vergrößerung und Verkleinerung des Flächeninhaltes
	Änderung der Stärke und Richtung des Magnetfeldes
	Drehen der Fläche im Magnetfeld

Abb. 7: Übersicht über die Möglichkeiten der Änderung des magnetischen Flusses und deren Zuordnung zu den verwendeten Versuchen.

2.5 Fünfter Abschnitt

Den Abschluss der Unterrichtseinheit bilden Anwendungen der elektromagnetischen Induktion im Alltag. Es gibt sehr viele Beispiele dafür, wo in unserem Alltag die Induktion eine Rolle spielt. Wie in vielen Fällen, musste auch bei dieser Einheit eine

Auswahl aus der vorhandenen Fülle getroffen werden. Zwei wichtige Kriterien wurden für die Auswahl der Anwendungsmöglichkeiten herangezogen. Einerseits sollten möglichst viele verschiedene Arten der Änderung des magnetischen Flusses vertreten sein. Andererseits sollten die Beispiele auch die weitgehend eigenständige Erarbeitung der Inhalte von Seiten der Schülerinnen und Schülern zulassen, da sie in den vorangegangenen Stunden alle zur Erklärung der Erscheinungen wichtigen Grundlagen erarbeitet und geübt hatten. Die Anwendungen werden von den Schülerinnen und Schülern im Rahmen eines Gruppenpuzzles erarbeitet. Es wurden insgesamt vier Anwendungen für dieses Gruppenpuzzle ausgewählt. Hierbei handelt es sich um die Akkuaufladung der elektrischen Zahnbürste, die Funktionsweise eines Mikrofons und eines ABS-Sensors sowie eine Möglichkeit, einen Wechselstrom durch Drehen eines Verlängerungskabels im Erdmagnetfeld zu erzeugen [5]. Die Zusammenstellung dieser vier Stationen erfüllt die zuvor genannten Auswahlkriterien.

3. Entwicklung der Unterrichtseinheit

Im Sinne der didaktischen Rekonstruktion [6] ist es von großer Bedeutung, dass neu entwickelte Kon-

zepte die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler berücksichtigen. Diese Unterrichtseinheit wurde daher in enger Zusammenarbeit mit Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe elf in mehreren Schritten entwickelt. Der zeitliche Ablauf der einzelnen Entwicklungsschritte ist der Abbildung 8 zu entnehmen.



Abb. 8: Übersicht über den zeitlichen Ablauf der Entwicklungsschritte zur Erstellung der Unterrichtseinheit. Auf die einzelnen Begriffe wird in Kapitel 3.1 eingegangen.

3.1 Methodisches Vorgehen

Nachdem die *Entwicklung der ersten Version* der Unterrichtsabläufe und -materialien abgeschlossen wurde, folgte im Schuljahr 2011/2012 im Zeitraum Januar bis März 2012 die *erste empirische Untersuchung* des Konzeptes. An dieser Untersuchung nahmen insgesamt drei Physikkurse teil.

	Leistungsniveau	Aufteilung der Kurse	
1	Grundkurs	Klassenunterricht	
2	Leistungskurs	Akzeptanzbefragung mit zwei Zweiergruppen	Klassenunterricht
3	Leistungskurs	Akzeptanzbefragung mit zwei Zweiergruppen	Klassenunterricht

Abb. 9: Übersicht über die Aufteilung der Kurse für die Erhebung im Schuljahr 2011/2012

Das Ziel dieser *ersten empirischen Untersuchung* war es möglichst vielfältige und detaillierte Rückmeldungen von Seiten der Schülerinnen und Schüler zur Unterrichtseinheit zu erhalten. Daher wurde in den drei Kursen unterschiedlich vorgegangen (siehe Abb. 9). Der Grundkurs wurde von seinem Physiklehrer selbst unterrichtet. In diesem Kurs wurden

daher Hospitationen durchgeführt. Aus diesen konnten Rückschlüsse auf die Umsetzung des Konzeptes durch eine Lehrkraft und weitere Anregungen für die Umsetzung der einzelnen Unterrichtsabschnitte gezogen werden. In den beiden Leistungskursen wurde ein anderes Vorgehen gewählt. Das Vorgehen war jedoch in diesen beiden Kursen identisch. Beide Kurse wurden aufgeteilt. In jedem Kurs meldeten sich zwei Zweiergruppen freiwillig für eine außerunterrichtliche Befragung. Mit diesen insgesamt vier Zweiergruppen wurde der Unterricht jeweils im Detail durchgesprochen. Hierbei wurde vor allem Wert darauf gelegt, dass die befragten Schülerinnen und Schüler ihre Einschätzung bezüglich der Verständlichkeit der Unterrichtseinheit äußerten. Im Einzelnen wurde bei diesen Befragungen auf den allgemeinen Aufbau und Ablauf der Einheit, die eingesetzten methodischen Elemente (z. B. der Filmstreifen oder die vier zentralen Begriffe der Erklärungssequenz), die Arbeitsblätter und die Versuche eingegangen. Die übrigen Schülerinnen und Schüler der beiden Leistungskurse wurden zur regulären Unterrichtszeit von der Autorin dieses Beitrags mit der Unterrichtseinheit unterrichtet. Durch diese Art der Aufteilung der an der Untersuchung teilgenommenen Kurse konnten einerseits detaillierte Kenntnisse über Problemstellen im Unterrichtsablauf gewonnen werden und andererseits konnte die Unterrichtseinheit gleichzeitig auch dahingehend überprüft werden, ob und in wie weit sie für den Einsatz im Klassenverbund geeignet ist.

Auf Grundlage der Erkenntnisse der ersten empirischen Untersuchung wurden an der Unterrichtseinheit einige Veränderungen vorgenommen. Es wurde eine *zweite Version der Unterrichtseinheit entwickelt*.

Um für die umgesetzten Veränderungen eine Einschätzung von Seiten der Schülerinnen und Schüler zu erhalten, wurden im August 2012 erneut fünf der acht Schülerinnen und Schüler, die bereits zuvor in den Zweiergruppen vertreten waren, zu den vorgenommenen Veränderungen einzeln befragt. Bei dieser *Befragung* wurde dann ganz speziell nur auf ausgewählte Aspekte eingegangen und nicht die gesamte Unterrichtseinheit komplett wiederholt. Das Vorgehen bei der Befragung gestaltete sich wie folgt: Zunächst wurden den Schülerinnen und Schülern die Ihnen bekannten Versuche und Arbeitsblätter aus der ersten Version der Unterrichtseinheit zur Erinnerung gezeigt. Anschließend wurde ihnen erläutert, welche Schwierigkeiten im Zusammenhang mit diesen Materialien beobachtet wurden. Den Schülerinnen und Schülern wurde dann vorgestellt welche Veränderungen vorgenommen wurden, damit die beobachteten Schwierigkeiten behoben werden. Auf diese Weise erhielten die Schülerinnen und Schüler einen Einblick in die vorhandenen Probleme und dem von uns vorgeschlagenen Vorgehen zur Problemlösung. Mit dieser Kenntnis konnten die Schü-

rinnen und Schüler ihre Einschätzung zu den durchgeführten Veränderungen äußern.

Auf Grundlage dieser Bewertungen und weiteren Verbesserungsvorschlägen von Seiten der Schülerinnen und Schüler wurden die Materialien erneut überarbeitet. Das Ergebnis dieser Befragung ist die *dritte Version der Unterrichtseinheit*.

Die in diesem Artikel beschriebene dritte Version der Unterrichtseinheit ist die Grundlage für die im Schuljahr 2012/2013 durchgeführte *zweite empirische Untersuchung*.

3.2 Ergebnisse der bisherigen Entwicklung

Nach dem ersten Einsatz der Unterrichtseinheit in der Schule im Schuljahr 2011/2012 kristallisierten sich einige Schwierigkeiten heraus. Diese waren von ganz unterschiedlicher Art.

Einige waren relativ schnell und einfach zu lösen. Hierbei handelte es sich vordergründig um Veränderungen, die unter anderem die Gestaltung der Arbeitsblätter oder den Aufbau von Versuchen betrafen. Mit den aus der ersten empirischen Untersuchung gewonnenen Erkenntnissen wurden diese überarbeitet. Die Schülerinnen und Schüler, die an der im August 2012 durchgeführten Befragung teilnahmen, erachteten die vorgenommenen Verbesserungen als sinnvoll. In diesem Zusammenhang wurde beispielsweise der Versuchsaufbau, der im dritten Abschnitt eingesetzt wird, gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern optimiert.

Andere Schwierigkeiten betrafen Eigenschaften der konzeptionellen Gestaltung der Unterrichtseinheit. In diesen Fällen musste intensiv an Verbesserungen gearbeitet werden. Die wohl gravierendste Änderung, die nach dem ersten Einsatz in den Schulen im Schuljahr 2011/2012 vorgenommen wurde, betrifft die Einführung des magnetischen Flusses. In der ersten Version der Unterrichtseinheit wurde dem magnetischen Fluss kein expliziter Wert zugewiesen. Es hat sich in den Befragungen jedoch gezeigt, dass eine Reduktion auf die Betrachtung der Feldlinienzahl sehr hilfreich ist. Die Einführung der Induktion wird dadurch nicht unnötig kompliziert und ein einfacher Zugang zur Induktion ist gewährleistet. Die befragten Schülerinnen und Schüler stimmten unserer Einschätzung zu, dass durch die Einführung fester Werte für den magnetischen Fluss der Umgang mit dieser Größe deutlich einfacher sei und der Schwerpunkt somit auf den Induktionsvorgang verlagert wird.

4. Ausblick

Mit der in diesem Artikel vorgestellten Unterrichtseinheit wurde im Schuljahr 2012/2013 eine zweite

empirische Untersuchung in insgesamt zehn Physikkursen an niedersächsischen Gymnasien durchgeführt. Die zentralen Fragestellungen, die dieser Studie zugrunde liegen sind folgende:

Eignet sich die Unterrichtseinheit für den Einsatz im Schulalltag?

Welche Aspekte des Fachwissens werden vermittelt?

Zur Beantwortung der ersten Fragestellung wurden im Anschluss an die Durchführung der Unterrichtseinheit Interviews mit den Physiklehrkräften der Kurse durchgeführt.

Zur Beantwortung der zweiten Fragestellung wird einerseits die Auswertung eines Leistungstests herangezogen, der von den Schülerinnen und Schülern vor dem Gruppenpuzzle geschrieben wurde. Andererseits ist die Auswertung von Tonbandaufnahmen, die während des Gruppenpuzzles entstanden sind, geplant. Dadurch soll geklärt werden, ob und in welchem Umfang die vorgeschlagene Erklärungssequenz von den Schülerinnen und Schülern herangezogen wird.

5. Literatur

- [1] Maloney, D., et. al. (2001): Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. In: American Journal of Physics, 69, pp. 12-23
- [2] Saglam, M., Millar, R. (2006): Upper High School Students' Understanding of Electromagnetism. In: International Journal of Science Education, 28 (5), pp. 543-566
- [3] Thong, W. M., Gunstone, R. F. (2008): Some student conceptions of electromagnetic induction. In: Research in Science Education, 38 (1), pp. 31-44
- [4] Moormann, M. (2012): Entwicklung und Evaluation einer Simulation zur Unterstützung des Physikunterrichts zum Thema „Magnetischer Fluss“. Masterarbeit im Fachbereich Physik, Universität Osnabrück
- [5] Pientka, H., Schwarze, H. (2003): Materialien-Handbuch Physik Band 4 Elektrodynamik. Aulis Verlag Deubner, S. 65-74
- [6] Kattmann, U., et al. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Jg.3, Heft 3, S. 3-18