

# 1 Einleitung

Experimente sind ein wesentlicher Bestandteil in der naturwissenschaftlichen Forschung und damit auch des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Sowohl in Schulen, als auch später in Universitäten ist daher eine Förderung experimenteller Fähigkeiten und Fertigkeiten wünschenswert. Lernende sollten dabei selbst aktiv Experimente durchführen, Messwerte eigenständig aufzeichnen und diese im Anschluss in entsprechenden Diagrammen dokumentieren. In der Schule kann dies beispielsweise in Form von Schülerexperimenten erfolgen, wobei die Lehrkraft die Lernenden beim Experimentieren begleitet und somit bei auftretenden Problemen und Schwierigkeiten jederzeit unterstützend eingreifen kann.

Aber nicht alle Experimente bieten sich für Schülerexperimente gleichermaßen an. Beispielsweise müssen Experimente dann von der Lehrkraft demonstriert werden, wenn

- die Durchführung Gefahren für die Lernenden mit sich bringt,
- die für den Versuch verwendeten Materialien zu teuer sind, um sie allen Lernenden zur Verfügung zu stellen,
- der Versuchsaufbau oder die Versuchsdurchführung zu aufwendig oder zu komplex ist.

Simulationen, ferngesteuerte und virtuelle Experimente können in solchen Situationen Alternativen bzw. Ergänzungen zum Realexperiment darstellen. So kann mit digitalen Umsetzungen realer Versuche auch dann experimentiert werden, wenn der Zugang zum Realexperiment nicht im Rahmen der Möglichkeiten liegt. Weiterhin ergeben sich durch das Experimentieren am Computer Möglichkeiten, die Lernenden bei der Versuchsdurchführung zu unterstützen. So können sie beispielsweise von eingeblendeten Informationen, aufmerksamkeitssteuernden Hinweisen oder systemgesteuertem Feedback profitieren. Eine noch nicht abschließend geklärte Fragestellung ist jedoch, inwieweit experimentelle Fähigkeiten durch das Experimentieren am Computer ausgebildet werden können.

Auch wenn aus pädagogischer Perspektive die Durchführung eines Demonstrationsexperiments gewünscht ist, kann ein Zurückgreifen auf digitale Experimente sinnvoll sein. So können Experimente im Unterricht durchgeführt werden, obwohl in der physikalischen Sammlung für das Experiment notwendige Gerätschaften nicht vorhanden sind.

Außerdem erlauben digitale Experimente die Darstellung von Messwerten auf unterschiedliche Arten. Dabei können auch Darstellungen automatisiert bereitgestellt werden,

die ohne digitale Hilfsmittel nicht händisch zu erzeugen sind, wie beispielsweise Heatmaps.

Für das Unterrichten von Inhalten aus der Magnetostatik bietet sich die Nutzung eines digitalen Labors in besonderem Maße an. Während qualitative Experimente wie das Visualisieren von magnetostatischen Feldern mit Eisenspänen als Schülerexperimente in der Primar- und Sekundarstufe durchgeführt werden, werden quantitative Untersuchungen von magnetischen Feldern meist beiseitegelassen. Quantitative Daten könnten zum einen experimentell gewonnen werden, was allerdings einen aufwendigen experimentellen Aufbau notwendig machen würde. So wären ein hochwertiges Messgerät sowie eine Vorrichtung zu dessen präziser Positionierung erforderlich. Zum anderen könnten quantitative Werte auch berechnet werden, was jedoch nur in wenigen Spezialfällen mit einfachen Mitteln möglich ist.

Unter Berücksichtigung des theoretischen Hintergrundes wird in den folgenden Kapiteln ein webbasiertes Labor vorgestellt, mit dem das Feld eines Permanentmagneten vermessen, visualisiert und analysiert werden kann. Hierbei steht einerseits eine ferngesteuerte Version zur Verfügung, bei der mit dem Realaufbau über das Internet in Echtzeit experimentiert werden kann, und andererseits auch eine animierte, virtuelle Version. Mit dem Labor können Fragestellungen bearbeitet werden, die sowohl für den schulischen, als auch für den universitären Bereich relevant sind.

Für Lernende in der Schule ergeben sich damit folgende, neue didaktisch interessante Möglichkeiten:

- Die Lernenden können selbständig das Feld eines Permanentmagneten präzise über das Internet vermessen.
- Das Labor stellt verschiedene Visualisierungsformen für die Messwerte der magnetischen Flussdichte bereit.
- Mit diesen unterschiedlichen Visualisierungsformen können verschiedene Aspekte der magnetischen Flussdichte betont werden. Die Darstellungen sind für ein ganzheitliches Verständnis kombinierbar oder kontrastierbar.
- Die Experimente können von den Lernenden jederzeit, von überall und ohne Zeitdruck durchgeführt werden.
- Das Experimentieren ist kostenlos. Die Versuche sind über jeden Browser nutzbar.

Auch an der Universität ist das Labor einsetzbar, um Inhalte der Magnetostatik im Experiment zu vertiefen:

- So kann mit dem Labor die Magnetisierung eines zylinderförmigen Stabmagneten über einen Abgleich der gewonnenen Messwerte mit den Vorhersagen aus einem theoretischen Modell bestimmt werden.
- Mit dem Labor kann außerdem ein mathematischer Ausdruck für die magnetische Feldstärke und die magnetische Flussdichte auf der Symmetrieachse im Innen- und Außenraum des Magneten über einen Abgleich der gewonnenen Messwerte mit den Vorhersagen aus einem theoretischen Modell ermittelt werden.

Insgesamt ist das webbasierte Labor somit ein nützliches Werkzeug für die Lehre, das einem breiten Nutzerkreis kostenlos zur Verfügung steht.

Im Rahmen einer Untersuchung wurden für den schulischen Anwendungsbereich Möglichkeiten gesucht, um die Fertigkeiten der Lernenden zur Dokumentation von Messwerten bei der Arbeit mit dem virtuellen Labor zu unterstützen. Hierfür wurden verschiedene Maßnahmen miteinander verglichen. Theoretische Gesichtspunkte, die der Auswahl der Hilfen zugrunde lagen, werden ebenfalls im Detail beschrieben. Eye-Tracking-Daten wurden bei der Untersuchung aufgezeichnet, um Hinweise auf die visuelle Aufmerksamkeit der Lernenden bei der Bearbeitung der gegenübergestellten Übungseinheiten zu erhalten. Zur Auswertung der Blickbewegungen wurde unter anderem ein Verfahren genutzt, das auf Kerndichteschätzungen basiert und bei der Identifikation charakteristischer Blickmuster während der Bearbeitung der Übungseinheiten hilft. Die erhaltenen Informationen über das Blickverhalten werden anschließend für die Interpretation des Trainingseffekts verwendet. Als Schlussfolgerung aus den Untersuchungsergebnissen wird abschließend eine adaptierte Version des entwickelten virtuellen Labors vorgestellt.

Zu Beginn werden im Kapitel 2 theoretische Aspekte beschrieben. Im Kapitel 3 wird das entwickelte webbasierte Labor vorgestellt. Kapitel 4 beschreibt daran anschließend die durchgeführte Untersuchung. Weiterhin werden dort auch Schlussfolgerungen für das virtuelle Labor abgeleitet. In Kapitel 5 werden abschließend die Ergebnisse zusammengefasst.

## 2 Theorie

Im folgenden Kapitel sollen der Arbeit zugrundeliegende theoretische Gesichtspunkte beschrieben werden. Zunächst wird hierfür auf fachliche Grundlagen zum Magnetismus eingegangen (Abschnitt 2.1). Anschließend werden didaktische Aspekte zum Magnetismus und zum Experimentieren im Physikunterricht beschrieben (Abschnitt 2.2). Das darauffolgende Teilkapitel stellt lehr- und lernpsychologische Grundlagen zum Lernen mit Multimedia zusammen (Abschnitt 2.3). Das letzte Teilkapitel konzentriert sich auf Eye-Tracking und die Nutzung dieses Verfahrens zur Untersuchung der visuellen Aufmerksamkeit von Lernenden (Abschnitt 2.4).

### 2.1 Fachliche Grundlagen zum Magnetismus

In diesem Kapitel sollen die für den weiteren Verlauf notwendigen physikalischen Grundlagen zusammengestellt werden. Im Kapitel 3 wird ein webbasiertes Labor vorgestellt, mit dem das Feld eines Permanentmagneten untersucht werden kann. Neben dem Ferromagnetismus, der für die magnetischen Eigenschaften des Magneten verantwortlich ist, wird der Vollständigkeit halber kurz auf weitere unterschiedliche Ausprägungsformen des Magnetismus in Materie eingegangen. Dabei wird auf den Paramagnetismus, den Diamagnetismus, den Ferromagnetismus sowie den Antiferro- und Ferrimagnetismus eingegangen. Für weitere theoretische Überlegungen werden anschließend die Maxwell-Gleichungen aufgegriffen. Mit dem entwickelten Labor (vgl. Kapitel 3), kann unter anderem die Magnetisierung eines Permanentmagneten bestimmt werden. Im weiteren Verlauf des folgenden Kapitels werden notwendige fachliche Voraussetzungen erarbeitet. Hierbei wird vorgestellt, wie durch ein theoretisches Modell die magnetische Flussdichte, sowie die magnetische Feldstärke entlang der Symmetrieachse eines zylinderförmigen Permanentmagneten berechnet werden kann. Anschließend werden im Vergleich dazu die magnetische Flussdichte und die magnetische Feldstärke auf der Symmetrieachse einer stromdurchflossenen Spule berechnet. Die daraus erhaltenen Ergebnisse werden gegenübergestellt. Das Kapitel schließt mit einer Übersicht über verschiedene Messinstrumente zur experimentellen Bestimmung der magnetischen Flussdichte, die auch im Schulunterricht behandelt werden können.

#### 2.1.1 Arten von Magnetismus

Materialien können unterschiedliche magnetische Eigenschaften aufweisen. Charakteristika des Materials, wie zum Beispiel die Besetzung der Elektronenschalen oder die