

## Schüler- und Lehrerexperimente im Optikeingangsunterricht an Gymnasien

Jan Winkelmann, Roger Erb

Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt,  
Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main,  
E-Mail: [winkelmann@physik.uni-frankfurt.de](mailto:winkelmann@physik.uni-frankfurt.de) und [roger.erb@physik.uni-frankfurt.de](mailto:roger.erb@physik.uni-frankfurt.de)

### Kurzfassung

Das in diesem Artikel vorgestellte Forschungsprojekt geht für den Physikunterricht der Frage nach, ob Unterschiede im Hinblick auf den Fachwissenszuwachs bei Schülerinnen und Schülern nachweisbar sind, wenn von diesen entweder Schülerexperimente durchgeführt werden oder Lehrerexperimente beobachtet werden. Mit ihrem physikalischen Inhalt fokussiert die Studie auf den Eingangsoptikunterricht der 7. Klasse an Gymnasien. Die untersuchten Experimente dieser Schulphase haben im überwiegenden Maße die Funktion, Phänomene darzustellen oder physikalische Konzepte zu veranschaulichen. Geprüft werden soll, ob das Schülerexperiment im üblichen Physikunterricht zu den oft erhofften Vorteilen im Fachwissenszuwachs führt. Da die Vermutung besteht, dass nicht die eine oder andere Methode per se besser ist, wird der Wissenszuwachs mittels Aufgaben unterschiedlicher Komplexität (die sich grob in Fakten-, Zusammenhangs- und konzeptuelles Wissen unterscheidet) gemessen und überprüft, ob sich unterschiedlich stark ausgeprägtes Wissen auf den Komplexitätsstufen durch die Unterrichtsmethode erklären lässt.

Für die verschiedenen Inhaltsbereiche – in unserem Fall die geometrische Optik – gibt es nicht das Schülerexperiment oder das Lehrerexperiment an sich. Der Entscheidung für eine Verwendung ausgesuchter Experimente und deren Umsetzung als Schüler- oder Lehrerexperiment in der Studie liegen vier Kriterien zu Grunde. Neben der Vorstellung des Studiendesigns wird das Ergebnis dieses Entscheidungsprozesses im Artikel dargelegt.

### 1. Einleitung

Mit ihrer Videostudie zur Unterrichtsrealität im deutschen Physikunterricht konnte Tesch (2005) zeigen, dass etwa zwei Drittel der Unterrichtszeit für das Experimentieren, inklusive Vor- und Nachbereitung, verwendet werden. Dabei dominiert als Unterrichtsmethode das Schülerexperiment mit zwei Dritteln der reinen Experimentierzeit – wobei häufig nicht von selbstständigem Experimentieren, sondern von einem Abarbeiten einer detaillierten Anleitung ausgegangen werden muss. Im Hinblick auf die darauf verwendete Unterrichtszeit ist damit belegt, dass das Experimentieren eine bedeutende Rolle im Physikunterricht einnimmt. Gleichzeitig haben sowohl Lernende (Behrendt, 1991) als auch Lehrende (Welzel, et al., 1998) die Hoffnung, dass insbesondere durch das Schülerexperiment physikalisches Wissen besonders gut vermittelt werden kann.

In der Chemiedidaktik konnte mit dem Einsatz von Experimentierboxen nachgewiesen werden, dass das kooperative Arbeiten in Kleingruppen in der Methode der Gruppenrecherche einen die Divergenz mindernden Effekt auf die Leistung von Schülerinnen und Schülern hat. Dabei erzielten leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler einen größeren Leistungszuwachs als leistungsstarke, wobei alle

Lernenden dazulernten. Zusätzlich konnten Leistungsvorteile zu Gunsten der Kleingruppen gegenüber dem Frontalunterricht belegt werden (Rumann, 2005).

Ein nicht ganz so positives Bild zeichnen Wirth und Kollegen (Wirth, Thillmann, Künsting, Fischer & Leutner, 2008), wenn sie von zwei Problembereichen berichten, die dafür verantwortlich seien, dass „sowohl Umfang als auch Qualität des durch Schülerexperimente gewonnenen Wissens bei weitem hinter den Erwartungen zurück bleiben“ (ebd., 361). Sie konnten in zwei experimentellen Untersuchungen jedoch zeigen, dass durch geeignete Zielvorgaben bzw. durch Hilfestellungen zur Regulation des Lernprozesses der Schülerinnen und Schüler die Lernförderlichkeit der Methode Schülerexperiment in einer computergestützten Lernumgebung erhöht werden kann.

### 2. Design der Vergleichsstudie

Im Folgenden wird beschrieben, was jeweils unter den beiden Methoden verstanden wird und an welchen Stellen der Intervention sich die untersuchten Experimentiergruppen unterscheiden. Für die Vergleichsstudie werden drei Schülergruppen in den Blick genommen. Die eine Gruppe erlernt einen

neuen physikalischen Inhalt durch die Methode des Schülerexperiments in Kleingruppen, die andere Gruppe durch die Beobachtung von Lehrerdemonstrationsexperimenten. Da das Lehrereperiment naturgemäß stark angeleitet ist, muss auch für das Schülerexperiment aus Gründen der Vergleichbarkeit eine detaillierte Versuchsanleitung („Kochrezept“) stattfinden. Diese wird in schriftlicher Form den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung gestellt. Damit bestehen zwei Gruppen, die sich vorrangig in den das Experiment durchführenden Personen unterscheidet.

Untersuchungen aus der Lernpsychologie und Physikdidaktik (vgl.: Mayer, 2004; Heim-Dreger, Schröter, Kohlmann & Erb, 2011) legen nahe, dass Probleme von Lernenden dann besser gelöst werden, wenn diese eine anleitende, nicht zu kleinschrittige Instruktion erhalten. Die Instruktion ist demnach dann am effektivsten, wenn sie einen Mittelweg darstellt zwischen freiem Forschen - also fast gar keiner Anleitung - und einer Anleitung, die den Lösungsweg detailliert vorgibt. Eine solche geführte („guided“), aber zum Nachdenken anregende Instruktion erhält die dritte Gruppe. Damit nehmen wir sowohl theoretisch-konstruktive als auch praktisch-konstruktive Unterrichtstätigkeiten der Schülerinnen und Schüler in den Blick (Heim-Dreger, et al., 2011). In Abbildung 1 werden das Design und die drei Treatments zusammenfassend dargestellt.



Abb. 1: Studiendesign mit Interventionsgruppen

Die Erhebung ist im Pre-Posttest Design mit zeitverzögertem Follow-up-Test angelegt und wird sich über ca. 6 Doppelstunden erstrecken. Der Pretest besteht aus einem allgemeinen Kognitionstest, um Aussagen über die Heterogenität der Lerngruppen treffen zu können. In einem Papier und Bleistifttest wird vor Beginn der Intervention, nach jeder Doppelstunde und nach der gesamten Intervention das Fachwissen der Schülerinnen und Schüler erhoben. Des Weiteren werden das Interesse an Physik, das Interesse am Schülerexperiment, die Überzeugung der Lernförderlichkeit des Schülerexperiments, und die experimentelle Selbstwirksamkeitserwartung der Schülerinnen und Schüler erhoben.

Parallel zu den Schülerinnen und Schülern werden die jeweilig unterrichtenden Lehrkräfte gebeten, einen Fragebogen zu ihrer Einstellung zum Experimentieren im Physikunterricht und ihrer tatsächlichen Unterrichtspraxis ausfüllen.

Während der experimentellen Intervention an den Schulen wird darauf geachtet, dass in den drei Schülergruppen innerhalb eines festen Zeitrahmens der gleiche Inhalt gelehrt wird. Um dies sicherzustellen, werden alle Gruppen von der gleichen Lehrkraft unterrichtet, diese erhält vom Projektleiter einen durchgeplanten Stundenablauf. Hofstein und Lunetta (2004) weisen darauf hin, dass es sich bei dieser Lehrkraft nach Möglichkeit um den für die Schülerinnen und Schüler gewohnten Fachlehrer handeln sollte. Damit die Erhebung nicht losgelöst vom eigentlichen Verlauf des Physikunterrichts stattfindet und eine Einbettung der Experimente in das Physikcurriculum möglich wird, ist eine enge Absprache mit den Physiklehrkräften in den Schulen notwendig. Die Experimente werden in einem sinnvollen Kontext mit den bzw. durch die Schülerinnen und Schüler durchgeführt.

### 3. Die Experimente

Während der Intervention werden Experimente zum Thema „Eigenschaften von Spiegelbildern“ bis hin zur „Bildentstehung durch Sammellinsen“ bearbeitet. Dabei sollen alle ausgewählten Experimente im Unterricht die Funktion erfüllen, physikalische Phänomene darzustellen und Konzepte zu vermitteln.

Der Entscheidung für eine Verwendung ausgesuchter Experimente und deren Umsetzung als Schüler- oder Lehrereperiment in der Studie liegen vier Kriterien zu Grunde.

1. Ähnlichkeit der Experimente
2. Curriculare Passung
3. Eignung für die jeweilige Methode
4. Abdeckung im Fachwissenstest

Die Experimente sollen sowohl eine möglichst große Vergleichbarkeit untereinander aufweisen als auch eine möglichst große Unterrichtspraktikabilität besitzen. Damit ist auch gemeint, dass sich die Experimente in den Inhalten des Lehrplans Physik wiederfinden müssen. Mit Punkt 3 wird sichergestellt, dass – wenn die Punkte 1 und 2 erfüllt sind – die Experimente in der jeweiligen Methode sinnvoll durchführbar sind. Da der Leistungstest eigens für die Intervention erarbeitet wird, ist die passgenaue Testung des durch die Experimente vermittelten Wissens gewährleistet.

An dieser Stelle erscheint es geboten, zu betonen, dass die Experimente – die sich ähneln sollten – in den ihnen typischen Unterrichtsmethoden eingebunden werden. Das bedeutet, dass der Unterricht mit den Methoden Schüler- bzw. Lehrereperiment nicht gleich ist. Allein der Inhalt und das Experiment werden möglichst gleich gehalten.

Im Folgenden werden die Experimente, die den Kern der jeweiligen Doppelstunde bilden und den oben genannten Kriterien entsprechen, kurz vorgestellt.

**Die erste Doppelstunde** widmet sich dem Erforschen des Spiegelbildes. Hierfür wird auf einen Aufbau von Erb & Schön (1997) zurückgegriffen (Abb. 2).



**Abb. 2:** Erforschung der Schatten eines Spiegelbildes

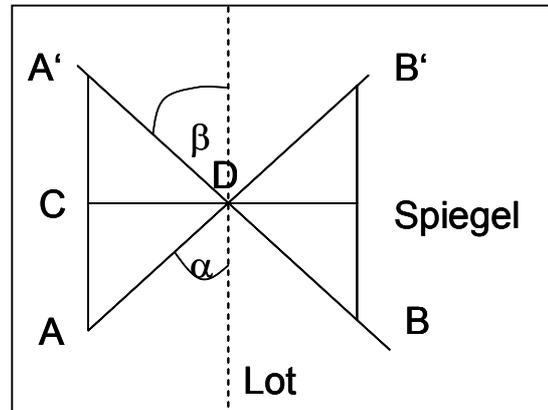
Außerdem wird der Frage nachgegangen, wie weit sich das Spiegelbild „hinter dem Spiegel“ befindet: Ein Gegenstand wird vor einen Spiegel gestellt, ein zweiter, gleicher Gegenstand wird so hinter dem Spiegel in Position gebracht, dass der über den Spiegel hinausragende Teil in Passung mit dem Spiegelbild gerät (Abb.3). Nun kann der Abstand der beiden Gegenstände zum Spiegel gemessen werden.



**Abb. 3:** Wie weit befindet sich das Spiegelbild hinter dem Spiegel?

**In der darauffolgenden Doppelstunde** wird das Reflexionsgesetz erarbeitet. Hierfür wird zunächst der Lichtweg beobachtet, wenn man über eine Tischplatte gegen einen Spiegel leuchtet und den Einfallswinkel gegenüber dem Lot verändert. In der

folgenden Problemstellung durch die Lehrkraft werden die Schülerinnen und Schüler qualitativ zum Reflexionsgesetz geführt. Die Lernenden werden dazu aufgefordert, experimentell herauszufinden, ob sich die Blicke zweier Personen, wenn sie sich ansehen wollen, auf derselben Stelle im Spiegel treffen (Idee ebenfalls aus Erb & Schön, 1997). Aus der Gleichheit der Dreiecke  $ACD$  und  $A'CD$  folgt, dass

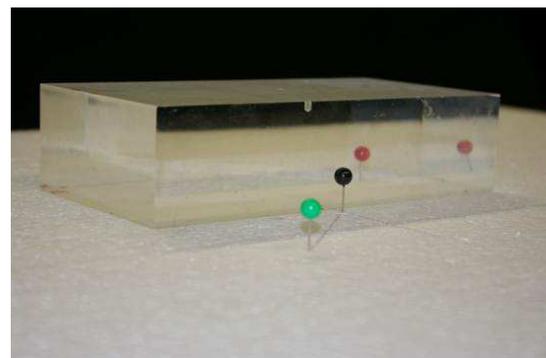


**Abb. 4:** Skizze zur Problemstellung am ebenen Spiegel

$\alpha$  und  $\beta$  gleich sind (Abb. 4).

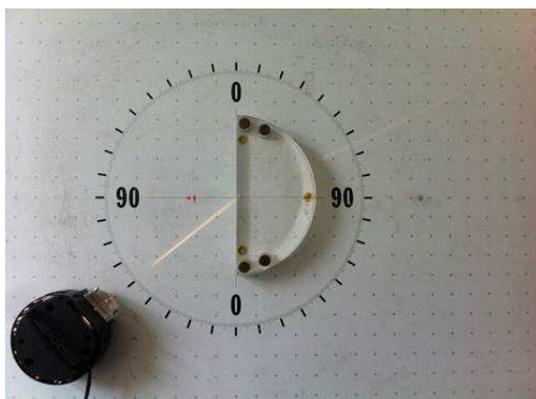
Durch die Beschäftigung mit dem Lichtweg im ersten Experiment und der Kombination aus Sehvorgang und Reflexion im zweiten Experiment wird neben der Hinführung zum Reflexionsgesetz zusätzlich auf Wissen der sechsten Jahrgangsstufe rekurriert und dieses gegebenenfalls wieder aufgefrischt.

**Die dritte und vierte Doppelstunde** haben das Phänomen der Lichtbrechung zum Inhalt. Die dritte Doppelstunde beginnt mit einem Peilversuch, der in das Phänomen der Lichtbrechung einführt (Abb. 5).



**Abb. 5:** Peilversuch zum Phänomen der Lichtbrechung

Das eigentliche Brechungsgesetz wird anschließend quantitativ im Schülerexperiment mit Hilfe einer Tischoptik, im Lehrerexperiment an der Tafel erarbeitet. Durch Umdrehen der in Abbildung 6 gezeigten halbrunden Plexiglasscheibe lässt sich auch die Totalreflexion thematisieren.



**Abb. 6:** Quantitative Bestimmung des Brechungsgesetzes.

Im Mittelpunkt der **fünften Doppelstunde** steht die Lichtbündelung durch Sammellinsen. Die Hinführung zur Sammellinse erfolgt dabei über die Schusterkugel (Abb. 7), als selbst herstellbare Linse. Nachdem beobachtet wurde, dass Licht sich in einem bestimmten Punkt bündeln lässt, werden einige Schülerinnen und Schüler bereits herausgefunden haben, dass sogar durch die Schusterkugel ein Bild der Kerze auf dem verwendeten Schirm finden lässt.



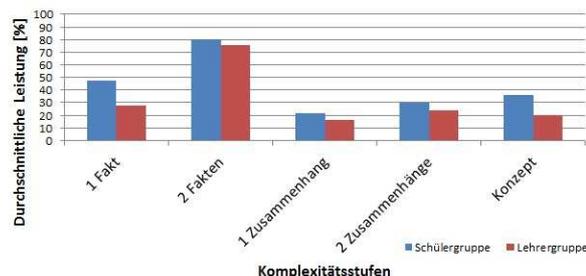
**Abb. 7:** Lichtbündelung durch eine Schusterkugel.

In der **6. Doppelstunde** wird nun dieses Bild genauer untersucht. Hierfür wird die Sammellinse eingeführt und aus beobachteten Veränderungen der Bildgrößen durch Ändern der Bild- und/oder Gegenstandsweite der Abbildungsmaßstab erarbeitet.

#### 4. Ergebnisse einer Vorstudie

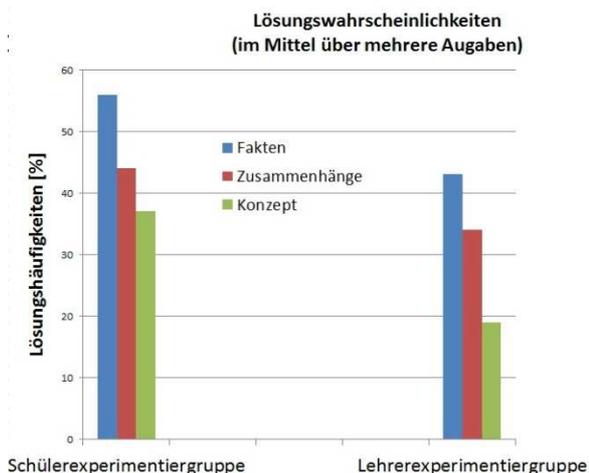
Im Rahmen einer Vorstudie zu Beginn des Schuljahres 2011/12 wurden sowohl der vorgesehene Unterricht mit den Experimenten ausprobiert als auch im Anschluss daran die Testaufgaben überprüft. In dieser ersten Betrachtung, während derer – der ursprünglichen Planung geschuldet – zunächst nur zwei Interventionsgruppen untersucht wurden, zeigte sich ein Vorteil der Schülerexperimentier-Gruppe gegenüber der Gruppe, die Lehrerexperimente beobachtet hatte. Auffällig ist, dass insbesondere in den Komplexitätsstufen, in denen Wissen zu einem Fakt bzw. zu Konzepten abgefragt wurden, die selbst-

ständig experimentierenden Schülerinnen und Schüler signifikant bessere Leistungen zeigten (Abb. 8).



**Abb. 8:** Fachwissen nach Unterrichtseinheit in der Eingangsoptik, 7. Jg., n=50.

Da es bisher noch nicht gelungen ist, die fünf Komplexitätsstufen empirisch eindeutig nachzuweisen (vgl. Kauertz et. al, 2010), eine Unterscheidung der Art der Aufgaben dennoch als sinnvoll erachtet wird, soll an dieser Stelle eine weitere Betrachtung stattfinden. Hierzu werden die fünf Komplexitätsstufen zu Komplexitätsbereichen zusammengefasst, es wird also Faktenwissen, Zusammenhangwissen und konzeptuelles Wissen in den Blick genommen. Abbildung 9 veranschaulicht, dass die Lösungshäufigkeit der Aufgaben eines solchen Kompetenzbereichs – also wie viele Schülerinnen und Schüler diese Aufgaben vollständig lösen konnten – mit zunehmender (vermuteter) Komplexität abnimmt. Der Vergleich zwischen den Treatmentgruppen fällt ähnlich wie in Abbildung 8 aus: Wieder scheinen insbesondere die Schülerinnen und Schüler, die selbst experimentiert haben, im Vorteil zu sein.



**Abb. 9:** Lösungshäufigkeiten der Schüler- und Lehrergruppe, betrachtet in Komplexitätsbereichen.

#### 5. Ausblick

Im Zuge der anstehenden Pilotstudie sollen zu Beginn des Schuljahres 2012/2013 alle drei oben angesprochenen Interventionsgruppen in den Blick genommen werden. Zurzeit werden die Stundenskripte

für die teilnehmenden Lehrkräfte weiterentwickelt. Zeitgleich wird der einzusetzende Leistungstest angepasst und auf seine Gütekriterien hin überprüft. Die Auswertung des Leistungstest soll mit Hilfe des Raschmodells erfolgen. Mit Hilfe dieses probabilistischen Modells ist es möglich, eine Verbindung zwischen den Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler und etwaigen Komplexitätsstufen (zunächst einzelner Aufgabenschwierigkeiten) herzustellen (vgl. Kauertz & Fischer 2006). Mit Schuljahresbeginn 2013/14 beginnt die Intervention der Hauptstudie.

## 6. Literatur

- [1] Behrendt, Helga (1991): Physikalische Schulversuche. Didaktische Theorie, methodische Praxis und die Einstellung von Schülern zur Auswahl der Versuchsggeräte. Kiel, Dissertation.
- [2] Erb, Roger; Schön, Lutz (1997): Ein Blick in den Spiegel – Ein Blick in die Optik. In: Fischer, Hans E. (Hrsg.): Handlungsorientierter Physikunterricht Sekundarstufe II. Bonn 1997.
- [3] Heim-Dreger, Uwe; Schröter, Evelin; Kohlmann, Carl-Walter; Erb, Roger (2011): Schüleraktivitäten im Physikunterricht: Bedeutung für positiven Affekt und Selbstwirksamkeitserwartung. (eingereicht bei Zeitschrift für Pädagogische Psychologie).
- [4] Hofstein, Avi, Lunetta, Vincent. N. (2004): The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education* 88 (1), 28-54.
- [5] Kauertz, Alexander; Fischer, Hans. E. (2006): Assessing Student's Level of Knowledge and Analysing the Reasons for Learning Difficulties in Physics by Rasch Analysis. In: X. Liu & W. Boone (Hrsg.): Applications of Rasch Measurement in Science Education. Maple Grove, MA: Jam Press, 212-246.
- [6] Kauertz, Alexander; Fischer, Hans E; Mayer, Jürgen; Sumfleth, Elke & Walpuski, Maik (2010): Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 16 (2010), S. 135-153.
- [7] Mayer, Richard. E. (2004): Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*. 59(1), 14–19.
- [8] Rumann, Stefan (2005): Kooperatives Experimentieren im Chemieunterricht. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik. Berlin: Logos.
- [9] Tesch, Meike (2005): Das Experiment im Physikunterricht. Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie. Berlin: Logos.
- [10] Welzel, Manuela; Haller, Kerstin; Bandiera, Milena; Hammelev, Dorte; Koumaras, Panagiotis, Niedderer, Hans; Paulsen, Albert; Robinault, Karine; von Aufschnaiter, Stefan (1998): Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden – Ergebnisse einer europäischen Umfrage. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 4 (1998) 1, S. 29-44.
- [11] Wirth, Joachim; Thillmann, Hubertina; Künsting, Josef; Fischer Hans E. & Leutner, Detlev (2008): Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus intruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik* 54 (3), 361-375.