

## Fachwissenszuwachs durch Schüler- und Lehrerexperimente im gymnasialen Physikunterricht

Jan Winkelmann, Roger Erb

Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt,  
Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main,  
E-Mail: janwinkelmann1@gmx.de und roger.erb@physik.uni-frankfurt.de

### Kurzfassung

In diesem Artikel wird ein Forschungsvorhaben vorgestellt, das durch die Fragestellung motiviert ist, ob im Hinblick auf den Fachwissenszuwachs das Schülerexperiment dem Lehrerexperiment im Physikunterricht überlegen ist. Der Studie liegt das Modell der Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz (KMK, 2004) zu Grunde. Das Modell betrachtet den Kompetenzbereich Fachwissen differenziert und unterscheidet zwischen Reproduktions-, Anwendungs- und Transferwissen. Neben dem Fachwissen wird auch das Interesse an Physik, das Interesse am Schülerexperiment und die Überzeugung der Schülerinnen und Schüler bezüglich der Lernförderlichkeit des Schülerexperiments erhoben. Erste Ergebnisse aus Vorstudien weisen darauf hin, dass auf höheren Anforderungsniveaus das Schülerexperiment Vorteile für den Fachwissenszuwachs birgt.

### 1. Einleitung

Allgemein wird angenommen, dass der Einsatz von Schülerexperimenten in großem Maß zum Erfolg des Physikunterrichts beiträgt. Dabei ist aber weitgehend unklar, in welcher Weise dies geschieht, wie also das Lernverhalten der Schülerinnen und Schüler beeinflusst wird.

Im deutschen und europäischen naturwissenschaftlichen Unterricht verfolgen die Lehrerinnen und Lehrer eine Vielzahl an Zielen, wenn sie in ihrem Unterricht experimentieren. Im Vordergrund steht für sie dabei, den Schülerinnen und Schülern auch eine Verbindung von Theorie und Praxis, und damit eine bessere Vermittlung von Fachwissen, anbieten zu können. Um dieses Unterrichtsziel zu erreichen, sehen die Lehrkräfte das Schülerexperiment als die geeignetste Methode an (Welzel et al. 1998; Müller 2004).

Dagegen haben Untersuchungen zum tatsächlich durchgeführten Physikunterricht in Deutschland gezeigt, dass das Experiment durchaus als Unterrichtsmethode geschätzt wird, Inhalte allerdings meist im Klassengespräch erarbeitet werden und dabei die Lehrkraft das Gespräch dominiert. Physikalische Phänomene werden überwiegend an Hand von Lehrerdemonstrationsexperimenten veranschaulicht (Tesch 2004; Seidel 2006).

Ein Blick in die physikdidaktische Literatur offenbart eine Vielzahl an Bemühungen, Vorteile des Schülerexperiments gegenüber dem Lehrerdemonstrationsexperiment (oder umgekehrt) empirisch zu belegen. Bisherige Studien kamen – soweit sie über-

haupt miteinander zu vergleichen sind – zu unterschiedlichen, teils widersprüchlichen, Ergebnissen oder weisen, wie Hofstein und Lunetta (2004) zeigen, wissenschafts-methodische Mängel auf.

Hodson (1993) kritisiert Experimentiersituationen in der Schule als oft unproduktiv und fordert, dass das wahre Potential von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht erkannt und für diesen nutzbar gemacht werden müsse. Auch Tobin (1990) sieht großes Potential nicht allein für das richtige Bedienen von Geräten, sondern auch für kognitive und metakognitive Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler. In ihrem Review-Artikel betont Harlen (1999), dass hierfür sowohl den Schülerinnen und Schülern als auch den unterrichtenden Lehrkräften das Ziel des Experimentierens bewusst sein müsse. Hofstein und Lunetta (2004) fordern stärkere Anstrengungen, um die Effektivität von „school science“ zu überprüfen.

Es besteht eine offensichtliche Diskrepanz zwischen den Vorstellungen zum Experimentieren von Lehrkräften auf der einen Seite und der Wissenschaft auf der anderen Seite, der es bisher nicht gelungen ist, den Fachwissenszuwachs durch Experimentieren vergleichend zu untersuchen. In diesem Spannungsfeld versucht das hier vorgestellte Forschungsvorhaben der Frage nachzugehen, ob im Hinblick auf den Fachwissenszuwachs das Schülerexperiment dem Lehrerexperiment im Physikunterricht überlegen ist.

Im Folgenden wird das Design der Vergleichsstudie erläutert und es werden bereits erste Ergebnisse aus zwei Vorstudien der letzten sechs Monate vorgestellt.

## 2. Design des Forschungsprojekts

Für die Vergleichsstudie werden zwei zufällig gebildete 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 eines Leherdemonstrationsexperiments.

Die Erhebung ist im Pre-Posttest Design mit zeitverzögertem Follow-up-Test angelegt. Der Pretest besteht aus einem allgemeinen Kognitionstest, um Aussagen über die Heterogenität der Lerngruppen treffen zu können. Außerdem legen die Ergebnisse einer ersten Vorstudie nahe, dass bereits im Pretest nach der Überzeugung der Lernförderlichkeit des Schülerexperiments gefragt werden sollte. In einem Papier und Bleistifttest wird nach der Intervention der jeweiligen Experimentiermethode das Fachwissen der Schülerinnen und Schüler erhoben. Des Weiteren werden das Interesse an Physik, das Interesse am Schülerexperiment, die Überzeugung der Lernförderlichkeit des Schülerexperiments, das Selbstkonzept und die physikalische Kompetenzerwartung 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.

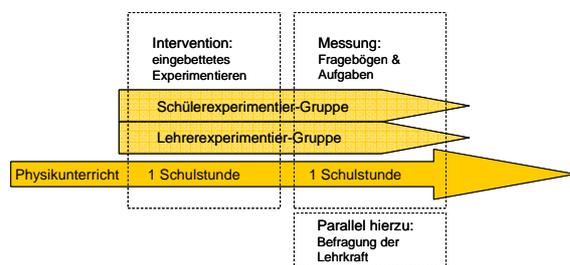


Abb. 1 Design des Forschungsprojekts.

## 3. Die Intervention

Während der experimentellen Intervention an den Schulen wird darauf geachtet, dass in beiden Schülergruppen innerhalb eines festen Zeitrahmens der gleiche Inhalt gelehrt wird. Um dies sicherzustellen, werden beide 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. Da das Lehrerexperiment naturgemäß stark angeleitet ist, muss auch für das Schülerexperiment aus Gründen der Vergleichbarkeit eine detaillierte Versuchsanleitung stattfinden. Diese wird in schriftlicher Form den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung gestellt. Damit die Erhebung nicht losge-

löst 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. Das Experiment wird in einem sinnvollen Kontext mit den bzw. durch die Schülerinnen und Schüler durchgeführt.

## 4. Theoretische Modellierung der Erhebung

Mit der Einführung der Bildungsstandards für den naturwissenschaftlichen Unterricht durch die Kultusministerkonferenz (KMK, 2004) ist auch ein Kompetenzmodell verbunden. Das Modell fächert sich in drei Dimensionen auf: die *Basiskonzepte* geben eine Struktur inhaltlicher Art vor, die *Anforderungsbereiche* differenzieren zwischen Reproduktions-, Anwendungs- und Transferwissen und die *Kompetenzbereiche* unterscheiden zwischen Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung.

Unsere Studie soll sich an diesem Modell anlehnen. Auf Grund von Schwierigkeiten bei der Differenzierung zwischen den Anforderungsbereichen durch Testaufgaben werden wir zusätzlich ein weiteres Kompetenzmodell in den Blick nehmen.

Im Jahr 2012 sollen mittels eines bundesweiten Ländervergleichs die Bildungsstandards evaluiert werden. In Kooperation mit dem IQB verwendet hierfür eine Forschergruppe der Universität Duisburg-Essen das ESNaS Kompetenzmodell (z.B. Neumann et. al., 2007; Kauertz, 2010). In diesem Modell wird unter anderem auf die Komplexität einer Testaufgabe als schwierigkeiterzeugendes Merkmal erfolgreich zurückgegriffen. Mittels fünf Stufen wird ansteigend ein höherer Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe beschrieben. Eine Anwendung dieses Modells in unserer Studie wird zurzeit getestet.

## 5. Ergebnisse zweier Vorstudien

In einer ersten explorativen Erhebung wurden Schülerinnen und Schüler nach den Vorteilen befragt, die sie bei Leherdemonstrationsexperimenten bzw. selbstständigem Experimentieren sehen. Befragt wurden 106 Schülerinnen und Schüler eines hessischen Gymnasiums aus den Jahrgangsstufen sieben bis elf. Im offenen Antwortformat wurde eine große Bandbreite an Vorteilen für beide Experimentalmethoden geäußert. Dabei wurden für das Schülerexperiment neben erwartungsgemäßen Nennungen eines größeren Interesses und der Erwartung, dass besser gelernt werden könne, auch Vorteile wie das selbstständige Denken und Arbeiten durch die Schülerinnen und Schüler als Vorteil formuliert. Das erscheint sehr erfreulich, ist doch eine häufige Kritik am selbstständigen Experimentieren, dass die Schülerinnen und Schüler ohne zu denken eine Handlungsanleitung folgen und im Grunde nicht wissen, was sie gerade tun (z.B.: Hopf, 2007). Eine vollstän-

dige Auflistung der genannten Vorteile, nach Häufigkeit der Nennung sortiert, ist Abbildung 1 zu entnehmen.

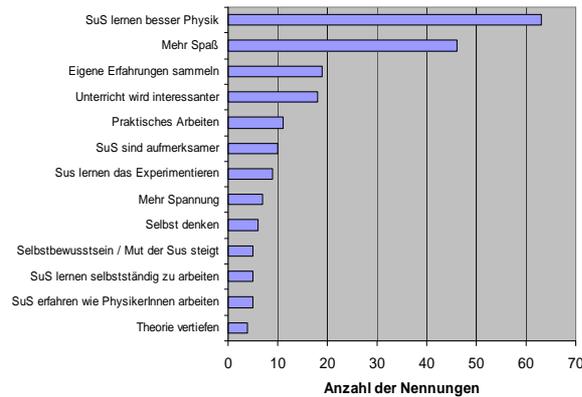


Abb. 2 Von Schülerinnen und Schülern genannte Vorteile des selbstständigen Experimentierens

Die Benennung der Vorteile des Lehrerdemonstrationsexperiments fällt im Vergleich nicht so eindeutig aus. Bemerkenswert ist, dass die Lernerwartung der Schülerinnen und Schüler nur einen mittleren Stellenwert einnimmt. Geschätzt werden hier vor allem die Erklärungen durch eine kompetente Lehrkraft. Auch der Hinweis auf die Sicherheit und die Möglichkeit, komplexere Experimente zu behandeln, sind für die Schülerinnen und Schüler vorteilhafte Aspekte des Lehrerexperimentes. Abbildung 2 veranschaulicht die Nennungen der Schülerinnen und Schüler.

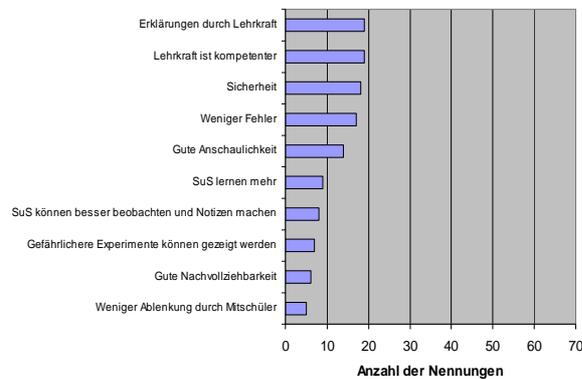


Abb. 3 Von Schülerinnen und Schülern genannte Vorteile des Lehrerdemonstrationsexperiments

In einer weiteren Vorstudie wurde im Vergleichsgruppen-Design der Fachwissenszuwachs zweier Parallelklassen der siebten Jahrgangsstufe erhoben. Die insgesamt 61 Schülerinnen und Schüler ( $m = 52,5\%$ ,  $w = 47,5\%$ ) waren auf Grundlage ihrer letzten Physik Zeugnisnote auf einem vergleichbaren Leistungsniveau. Im Durchschnitt erreichten die Schülerinnen und Schüler, die das Lehrerexperiment beobachteten, eine Note von 2,6. Die Schülerinnen und Schüler, die die Schülerexperimentiergruppe

bildeten, warum um lediglich 0,3 Notenpunkte erfolgreicher. Sowohl der normale Physikunterricht als auch die Intervention wurden durch die gleiche Lehrkraft durchgeführt. Die Erhebung erfolgte im Optikunterricht im Kontext der Fotografie. Die Aufgaben des Leistungstests wurden zum Teil aus Schulbüchern entlehnt, teils neu konzipiert und orientierten sich am Kompetenzmodell der KMK. Die Zuordnung der einzelnen Aufgaben in die jeweiligen Anforderungsbereiche des Modells erfolgte durch ein vorläufiges Expertenrating am Institut für Didaktik der Physik an der Goethe-Universität in Frankfurt am Main. Da sich Schwierigkeiten in der Differenzierung zwischen Anwendungs- und Transferaufgaben ergaben, erfolgt die Auswertung des Leistungstests als Vergleich zwischen erfolgreich gelösten Aufgaben der Reproduktion auf der einen Seite und der Anwendung und des Transfers auf der anderen Seite.

Eine Betrachtung des durchschnittlichen Lernerfolgs zeigt einen sehr geringen Unterschied zwischen den beiden Gruppen im Anforderungsbereich der Reproduktion. Dagegen zeichnet sich ab, dass im Bereich der Anwendung und des Transfers die Schülerexperimentiergruppe erfolgreicher die Aufgaben lösen konnte. Für die vorliegende Intervention konnte ein signifikanter Vorteil für Schülerinnen und Schüler dieser Gruppe gefunden werden. Auch was die Zahl derjenigen Schülerinnen und Schüler betrifft, die überhaupt keine Aufgabe erfolgreich bearbeiten konnten, war die Schülerexperimentiergruppe erfolgreicher. Hier konnten lediglich drei Schülerinnen und Schüler keine Aufgabe lösen, in der Lehrerexperimentiergruppe waren es acht. In Abbildung 3 sind die durchschnittlichen Erfolge der Lerngruppen in den erwähnten Anforderungsbereichen einander gegenüber gestellt.

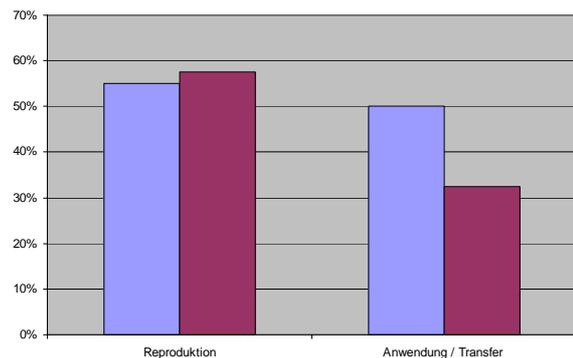


Abb. 4 Durchschnittliche Leistungen der SuS in den Anforderungsbereichen. Der jeweils linke Balken repräsentiert die Schülerexperimentiergruppe.

Mit Blick auf die untersuchten Persönlichkeitsmerkmale der Schülerinnen und Schüler ist insbesondere die Skala zur Überzeugung der Lernförderlichkeit des Schülerexperimentes interessant. Während die mittlere Zustimmung zu den Items der übr-

gen Skalen sowohl bei der Lehrereperimentiergruppe als auch bei der Schülerexperimentiergruppe ähnlich ausfällt, verhält es sich bei der Skala zur Lernförderlichkeit anders. So haben beide Lerngruppen zwar ein erhöhtes Interesse an Schülerexperimenten, doch gerade die Gruppe, die während des Unterrichts selbstständig experimentierte, schätzt die Lernförderlichkeit dieser Methode als gering ein. Abbildung 4 zeigt die Mittelwerte der erhobenen Skalen im Vergleich der beiden Lerngruppen.

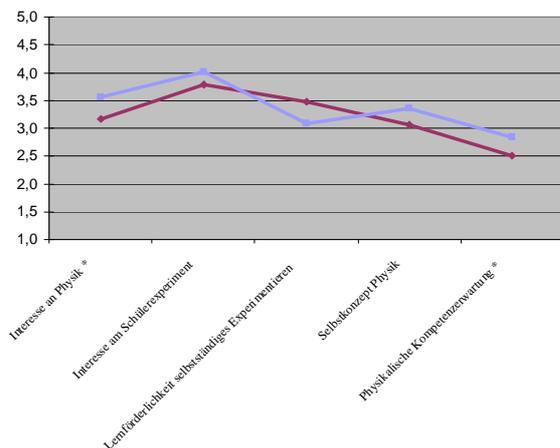


Abb. 5 Mittelwerte der Persönlichkeitsskalen. Die helle Linie entspricht dem Ankreuzverhalten der Schülerexperimentiergruppe. Der Wert 5 drückt eine hohe Zustimmung zu den einzelnen Items aus.

Sämtliche Skalen weisen eine Reliabilität auf, die zwischen  $r = .72$  und  $r = .91$  liegt. Zusätzlich konnten für die Skalen „Interesse an Physik“ und „Physikalische Kompetenzerwartung“ signifikante Unterschiede zwischen den beiden Schülergruppen gefunden werden.

## 6. Ausblick

Die Ergebnisse aus den Vorstudien ermutigen dazu, auf dem eingeschlagenen Weg weiter zu forschen. Bisher können selbstverständlich nur Trendaussagen getroffen werden, gesicherte Ergebnisse müssen in einer umfassenderen Erhebung gesammelt werden. Aufgetretene Schwierigkeiten aus den Vorstudien sollen in weiteren Testerhebungen überwunden werden.

Zurzeit befindet sich das Projekt in einem weiteren Testlauf. Hierfür wird in der achten und zehnten Jahrgangsstufe mit Hilfe des ESNaS-Modells erhoben. Die Entwicklung des Fachwissens wird hierbei zu den Themen „Hooke'sches Gesetz“ und „Impulserhaltung“ überprüft.

Zu Beginn des Schuljahres 2011/2012 ist eine Pilotierung geplant, für das Jahr 2012 steht die Haupterhebung an.

## 7. Literatur

- [1] Harlen, Wynne (1999): Effective Teaching of Science. A review of research. Edinburgh: SCRE.
- [2] Hodson, Derek (1993): Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science. In: Studies in Science Education, 22, S. 85-142.
- [3] Hofstein, Avi; Lunetta, Vincent N. (2004): The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. In: Science Education, 88, 1, S. 28-54.
- [4] Hopf, Martin (2007): Problemorientierte Schülerexperimente. Berlin 2007.
- [5] Kauertz, Alexander (2010): Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. 16 (2010), S. 135-153.
- [6] KMK (2004) Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. München.
- [7] Müller, Christoph; Duit, Reinders (2004): Funktionen des Experiments: Vorstellungen von Lehrern und Unterrichtsrealität. In: Pitton, A. (Hrsg.), Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 24, S. 33-35.
- [8] Neumann, Knut; Kauertz, Alexander; Lau, Anna; Notarp, Hendrik; Fischer, Hans E. (2007): Die Modellierung physikalischer Kompetenz und ihrer Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. 13 (2007), S. 101-121.
- [9] Seidel, Tina; Prenzel, Manfred; Rimmel, Rolf; Dalehefte, Inger Marie; Herweg, Constanze; Kobarg, Mareike; Schwindt, Katharina (2006): Blicke auf den Physikunterricht – Ergebnisse der IPN Videostudie. In: Zeitschrift für Pädagogik, 52, 6, S. 799-821.
- [10] Tesch, Meike; Duit, Reinders (2004): Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 10 (2004), S. 51-59.
- [11] Tobin, K. G. (1990): Research on science laboratory activities. In pursuit of better questions and answers to improve learning. In: School Science and Mathematics, 90, S. 403-418.
- [12] 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.