

Die Rolle der Schüleraktivität beim Experimentieren

Jan Winkelmann, Roger Erb

Max-von-Laue Straße 1, 60438 Frankfurt
winkelmann@physik.uni-frankfurt.de; roger.erb@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Entgegen großer Hoffnungen seitens vieler Schülerinnen und Schüler sowie vieler Lehrkräfte für den naturwissenschaftlichen Unterricht zeichnet eine Analyse der Forschungsarbeiten kein klares Bild darüber, ob für die Fachwissensvermittlung Schülerexperimente eher geeignet sind als Demonstrationsexperimente. Auch eigene Studien geben nicht Anlass dazu, einen Vorteil der einen Experimentiermethode vor der anderen zu vermuten.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer Studie zum Einfluss von unterschiedlichen Experimentiersituationen auf das Erlernen fachlicher Inhalte vorgestellt. Eine erste Studie fand bereits im Schuljahr 2012/13 statt, die zweite Erhebung (deren Ergebnisse hier berichtet werden) wurde im Schuljahr 2013/14 durchgeführt. Abschließend wird ein kurzer Blick auf das aktuelle Interesse der Schülerinnen und Schüler geworfen, nachdem diese an einer dreiwöchigen Unterrichtsintervention in drei verschiedenen Treatments teilgenommen hatten.

1. Einleitung

Im Allgemeinen wird angenommen, dass Schülerexperimente für das Erreichen einer Vielzahl von Unterrichtszielen geeignet seien. Viele naturwissenschaftliche Lehrkräfte erhoffen sich mit dieser Experimentiermethode neben der Steigerung von Interesse und Motivation insbesondere für die Vermittlung von Fachwissen bessere Lernerfolge für die Schülerinnen und Schüler (Welzel, 1998). Ähnlich schätzen dies auch die Schülerinnen und Schüler selbst ein (Behrendt, 1991).

Die Forschungslage kann dagegen nicht mit eindeutigen Befunden aufwarten (z. B. Millar, 2010). Auch erste eigene Studien hierzu im Bereich der geometrischen Optik können einen Vorteil für das Schülerexperiment nicht nachweisen (Winkelmann & Erb, 2014).

2. Design der Studie

Bei der vorliegend beschriebenen quasiexperimentellen Studie wurden in einem Pre-Posttest-Design drei Vergleichsgruppen untersucht:

1. Schülerinnen und Schüler beobachten entweder die Lehrkraft beim Experimentieren („Demo“) oder
2. Schülerinnen und Schüler experimentieren selbst nach einer detaillierten Anleitung („Kochbuch“) oder
3. Schülerinnen und Schüler experimentieren selbst und erhalten hierfür die gleichen Materialien wie die „Kochbuch“-Gruppe, jedoch eine weniger detaillierte Anleitung („Guided“).

Damit wird die Schüleraktivität (unabhängige Variable) in den verschiedenen Treatments variiert. Bereits im Schuljahr 2012/13 fand eine erste Erhebung

statt (Winkelmann & Erb, im Druck). Motivation für eine zweite Studie im Schuljahr 2013/14 waren unter anderem Diskussionen auf Fachtagungen (ESERA 2013, GDGP-Jahrestagung 2013), während dieser der Einfluss der Nachbereitung der Experimente als Grund für das ähnliche Abschneiden der Treatments im Posttest vermutet wurde. Nach der Durchführung der Experimente (jeweils unterschiedlich in den verschiedenen Treatments) schloss sich stets eine Nachbereitungsphase im gemeinsamen Plenum aus Klasse und Lehrperson an. Mögliche vorhandene Unterschiede könnten dadurch zum Teil ausgeglichen worden sein. Aus diesem Grund wurde nun die Schülerleistung zu zusätzlichen Messzeitpunkten erhoben: Jeweils direkt im Anschluss an die Durchführung der einzelnen Experimente wurden die Schülerinnen und Schüler gebeten, einige auf das Experiment bezogene Aufgaben zu bearbeiten. Diese Aufgaben stammen aus dem Posttest, so dass für die Auswertung die Summe der Leistungen in den Kurztests mit der Leistung im Posttest verglichen werden kann. Um auch das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler zu berücksichtigen, werden nicht direkt die Leistungen während der Tests verwendet, sondern der Lernzuwachs seit dem Beginn der Intervention (Pretest) betrachtet (abhängige Variable: Differenz aus Posttest minus Pretest, bzw. Summe der Kurztests minus Pretest).

Neben der Erhebung der fachlichen Leistungen in Physik wurde unter anderem auch nach dem aktuellen Interesse an Physik gefragt. Die Messung dieses Konstrukts erfolgte direkt im Anschluss an die Intervention im Rahmen des Posttests. Die Skala hierfür wurde von Schulz (2011) adaptiert, die eine ähnliche Erhebung in der Chemiedidaktik durchgeführt hat. Die Schülerinnen und Schüler sollten auf

einer fünfstufigen Skala ihr Interesse an Physik einschätzen.

3. Unterrichtsgang über sechs Physikstunden

Die Studie 2013/14 konzentriert sich auf den Bereich der Lichtbrechung. Insgesamt wurden sechs Experimente durchgeführt. Hierzu wurden zwei Doppelstunden aus Studie 2012/13 verwendet und eine neue dritte Doppelstunde entwickelt. In dieser dritten Doppelstunde wurde mit dem Ziel experimentiert, eine Hypothese zu überprüfen. In den beiden ersten Doppelstunden stehen das Beobachten sowie die Untersuchung physikalischer Phänomene im Vordergrund. Der Stundenablauf für Studie 2013/14 sieht wie folgt aus:

1. Doppelstunde: Lichtbrechung – Knick in der Optik.

Das Phänomen der Lichtbrechung soll in dieser Doppelstunde beobachtet und zunächst qualitativ untersucht werden. Zur Motivation wird mit einem Peilrohr Jagd auf "Fische" gemacht. Nachdem eine Münze durch das Rohr angepeilt wurde, wird in das arretierte Rohr ein Holzstab eingeführt. Widererwartend trifft der Stab die zuvor anvisierte Münze nicht. Durch die Lichtbrechung an der Wasseroberfläche erscheint der aus dem Rohr herausragende Stab geknickt.

Zur Untersuchung des beobachteten Phänomens und um den Verlauf des Lichtweges nachzuvollziehen, dient im weiteren Verlauf ein "Stecknadel-Peil-Versuch" (nach Wilke, 1999, 242). Es zeigt sich, dass der Lichtweg am Übergang zu einem anderen Medium einen Knick erfährt. Das Licht ist gebrochen worden; es behält aber seine Eigenschaft bei, sich abseits der Grenzflächen gradlinig auszubreiten.

2. Doppelstunde: Brechungsgesetz und Totalreflexion.

In dieser Doppelstunde wird anhand einer Winkelskala der Brechungswinkel beim Übergang von Plexiglas in Luft untersucht und gemessen. Mit einer gängigen Tischoptik (bzw. Tafeloptik im Falle des Demonstrationsexperiments) wird dabei durch ein halbrundes Plexiglas geleuchtet. Um eine zweifache Lichtbrechung zu vermeiden, sollte senkrecht auf die abgerundete Seite geleuchtet werden. Bei der Veränderung des Einfallswinkels ist darauf zu achten, dass stets der Mittelpunkt der Winkelskala durchleuchtet wird. Anhand der gemessenen Einfallswinkel und Brechungswinkel wird anschließend das Brechungsgesetz gemeinsam erarbeitet.

Der Übergang zum zweiten Experiment dieser Doppelstunde kann fließend stattfinden. Bereits beim vorangegangenen Experiment lässt sich beobachten, dass ein kleiner Anteil des Lichts an der Grenzfläche zwischen Plexiglas und Luft reflektiert wird. Indem der Einfallswinkel nun immer weiter vergrößert

wird, lässt sich schließlich das Phänomen der Totalreflexion beobachten: Sämtliches Licht wird beim Übergang vom dichteren Medium Plexiglas hin zum dünneren Medium Luft reflektiert.

3. Doppelstunde: Schusterkugel und Abhängigkeit der Lichtbündelung.

In dieser Doppelstunde wird ein Experiment durchgeführt, bei dem es sich im Vergleich zur Studie 2012/13 um ein neues Experiment handelt. Zunächst wird das Licht einer Kerze mittels einer Schusterkugel auf einem Schirm zu einem hellen Lichtfleck gebündelt. Ziel des zweiten Experiments ist es, herauszufinden, wovon die Bündelung von Licht beim Durchtritt durch einen Glaskörper abhängt. Hierfür werden zunächst Hypothesen durch die Schülerinnen und Schüler auf Grundlage der vorangegangenen Experimente formuliert. Die Frage, die sich stellen wird, lautet: Welche Bedeutung spielt die Form der Glaskörper für die Lichtbündelung? An Materialien stehen zwei plankonvexe, eine plankonkave sowie ein planparalleler Plexiglasblock und eine Lampe zum Durchleuchten der jeweiligen (Plexi-) Glaskörper zur Verfügung.

4. Auswertemethodik

Die Analyse zur Aufklärung der (zwar geringen) vorgefundenen Varianz zwischen den drei Treatments erfolgte mittels einer zweifaktoriellen ANOVA ohne Messwiederholung, mit dem festen Faktor „Treatment“ und dem zufälligen Faktor „Lehrkraft“. Für die Durchführung einer ANOVA ist insbesondere für den Fall ungleich großer Gruppen die Voraussetzung von Varianzhomogenität zu gewährleisten. Sollte diese nicht gegeben sein, bietet es sich an, die Stichprobe zu „matchen“, so dass sich in jedem Treatment gleich viele Schülerinnen und Schüler befinden (Field, 2011). Für die vorliegende Analyse wurden „matched samples“ auf Grundlage der Schülerleistungen im Pretest erstellt.

5. Die Stichprobe

Insgesamt beteiligten sich 523 Schülerinnen und Schüler an der im Schuljahr 2013/14 durchgeführten Erhebung. Schülerinnen und Schüler, die mehr als zwei Unterrichtsstunden (das entspricht einem Drittel der Interventionszeit) verpasst haben oder die den Pre- bzw. Posttest nicht mitgeschrieben haben, werden nicht in der Auswertung berücksichtigt. Schlussendlich konnten 430 vollständige Fragebogensätze zur folgenden Analyse herangezogen werden.

Mit Blick auf die miterhobenen Kontrollvariablen - Zeugnisnoten in Physik, Mathematik und Deutsch sowie kognitive Fähigkeiten (KFT, Q2) - zeigt sich, dass sich die verschiedenen Treatments nicht auffällig von einander unterscheiden.

6. Ergebnisse

6.1 Fachwissenszuwachs zwischen Pre- und Posttest

Allen folgenden Ergebnissen ist gemeinsam, dass Unterschiede zwischen den Treatments bezogen auf den Fachwissenszuwachs sehr gering sind. Leichte Vorteile für die eine oder andere Experimentiersituationen werden nicht signifikant.

Für die Analyse des Lernzuwachses zwischen Pre- und Posttest weist der Levene's Test auf Varianzhomogenität innerhalb der Stichprobe hin. Hierfür liefert die ANOVA folgende Ergebnisse:

Es zeigt sich ein geringer Nachteil der „Kochbuch“-Gruppe gegenüber den beiden anderen Experimentiersituationen. Die Unterschiede zwischen den Treatments sind jedoch nicht signifikant. Die Analyse durch die ANOVA zeigt, dass weder der feste Faktor „Treatment“, $F(2,248) = .023$, $p = n. s.$, noch der zufällige Faktor „Lehrkraft“, $F(13,248) = .497$, $p = n. s.$, signifikant werden.

Dagegen wird die Wechselwirkung der beiden Faktoren höchst signifikant, $F(3,248) = 6.080$, $p < .001$, $\eta^2 = .02$. Die Effektstärke liegt im kleinen Bereich. Das kann dahingehend interpretiert werden, dass es für die Schülerinnen und Schüler entscheidend ist, bei welcher Lehrkraft sie nach welcher Methode unterrichtet werden.

In Abbildung 1 sind die mittleren Lernzuwächse differenziert nach den drei Treatments graphisch dargestellt. Dabei wurde der Einfluss des zufälligen Faktors herausgerechnet, weswegen es sich bei den erreichten Punkten tatsächlich um geschätzte Randmittel handelt.

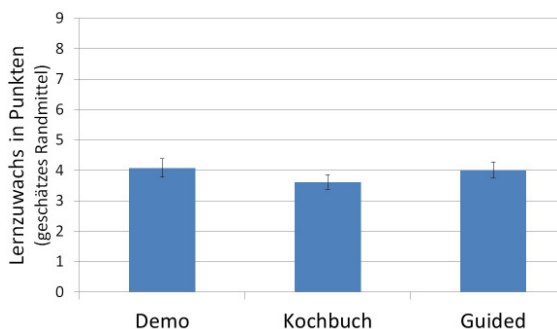


Abb. 1: Lernzuwächse zwischen Pre- und Posttest.

6.2 Fachwissenszuwachs zwischen Pretest und aufsummierten Kurztests

Da für den Vergleich der Lernzuwächse zwischen Pretest und aufsummierten Leistungen der Kurztests keine Varianzhomogenität vorliegt, wird für die folgende Analyse auf ein „matched sample“ zurückgegriffen. In jedem Treatment befinden sich nun 89 Schülerinnen und Schüler. Die mittleren Lernzuwächse dieser Stichprobe werden in Abbildung 2

getrennt nach den untersuchten Treatments dargestellt.

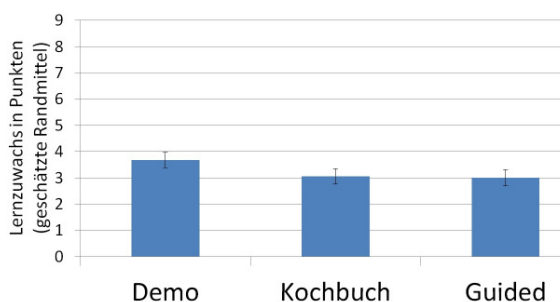


Abb. 2: Lernzuwächse zwischen Pretest und aufsummierten Kurztests im „matched sample“.

Dieser Vergleich berichtet einen leichten Vorteil der „Demo“-Gruppe. Allerdings wird auch dieser Vorteil nicht signifikant. Es liegt jedoch auch weiterhin keine Varianzhomogenität vor. Zwar wirken sich mögliche Verzerrungen wegen der nun gleich großen Gruppen nun nicht mehr stark auf die ANOVA aus, dennoch müssen die Ergebnisse zurückhaltend interpretiert werden.

Erneut wird lediglich die Wechselwirkung zwischen den beiden untersuchten Faktoren signifikant, $F(3,248) = 5.410$, $p = .001$, $\eta^2 = .02$. Der auftretende Effekt ist damit klein.

Um die letztgenannten Ergebnisse besser mit den Lernzuwächsen zwischen Pre- und Posttest (vgl. 6.1) vergleichen zu können, wird abschließend noch diese Analyse für das „gematchte Sample“ vorgestellt. In Abbildung 3 werden die Lernzuwächse dieser Stichprobe zwischen Pre- und Posttest dargestellt.

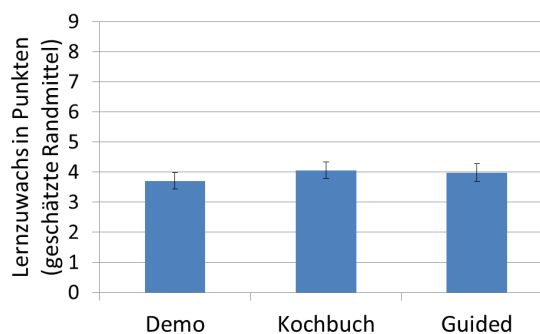


Abb. 3: Lernzuwächse zwischen Pre- und Posttest im „matched sample“.

Diesmal liegt die Schülergruppe, die Demonstrationsexperimente beobachtet hatte, leicht zurück. Es liegt Varianzhomogenität vor. Erneut wird allein die Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren signifikant, $F(3,248) = 6.080$, $p < .002$, $\eta^2 = .016$. Es muss erneut von einem kleinen Effekt ausgegangen werden.

6.3 Aktuelles Interesse an Physik

Die Analyse des aktuellen Interesses an Physik erfolgte ebenfalls mittels einer zweifaktoriellen ANOVA mit dem festen Faktor „Treatment“ und dem zufälligen Faktor „Lehrkraft“. Die Mittelwerte differenziert nach den drei Treatments werden in Abbildung 4 präsentiert.

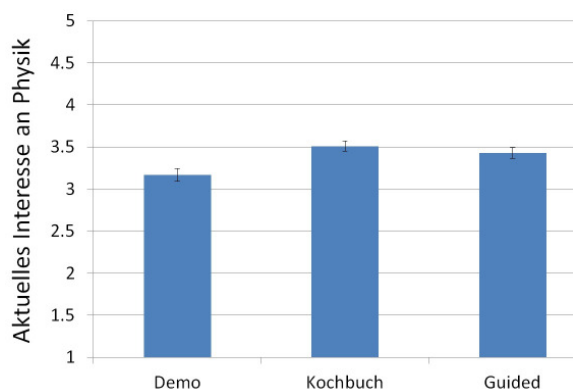


Abb. 4: Das aktuelle Interesse der Schülerinnen und Schüler nach der Intervention.

Es zeigt sich ein leichter Trend zu Gunsten der Schülerexperimente. Jedoch berichtet die ANOVA von ähnlichen Signifikanzen wie für den Fachwissenszuwachs: Allein die Wechselwirkung hat einen signifikanten Einfluss auf das aktuelle Interesse der Schülerinnen und Schüler.

7. Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurden die Ergebnisse einer Vergleichsstudie zum Einfluss der Schüleraktivität auf das Erlernen fachlicher Inhalte der geometrischen Optik sowie auf das aktuelle Interesse der Schülerinnen und Schüler vorgestellt.

Es zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen den drei untersuchten Treatments sowohl im Hinblick auf den Fachwissenszuwachs als auch mit Blick auf das aktuelle Interesse gering sind. Für den Lernzuwachs lässt sich kein einheitlicher Trend zu Gunsten der einen oder anderen Experimentierform nachweisen. Die Erhebung des aktuellen Interesses weist zumindest dem Trend nach darauf hin, dass Schülerexperimente das Interesse an Physik steigern kön-

nen. Sowohl in der „Kochbuch“-Gruppe als auch in der „Guided“-Gruppe wurden im Mittel höheres Interesse seitens der Schülerinnen und Schüler bekundet. Allerdings ist der Unterschied zur „Demo“-Gruppe nicht signifikant.

8. Literatur

- [1] Behrendt H. (1991). Physikalische Schulversuche. Didaktische Theorie, methodische Praxis und die Einstellung von Schülern zur Auswahl der Versuchsgeräte. Kiel, Dissertation.
- [2] Field, A. (2011): *Discovering statistics using spss. And sex and drugs and rock 'n' roll.* London, Sage.
- [3] Millar, R. (2010). Practical work. In: Osborne, J. & Dillon, J. (Hg.): *Good practice in science teaching: What research has to say.* Open University Press, 2010, 108-134.
- [4] Schulz, A. (2011): *Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. Eine Videostudie.* Berlin: Logos Verlag.
- [5] Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niederderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & von Aufschnaiter, S. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4 (1), 29-4.
- [6] Wilke, H.-J. (1999): *Physikalische Schulexperimente: Experimente für die Sekundarstufe I.* Berlin: Volk-und-Wissen-Verlag.
- [7] Winkelmann, J.; Erb, R. (2014): Small group practical work vs. teacher demonstration in geometrical optics. In C. P. Constantinou, N. Papadouris & A. Hadjigeorgiou (Eds.), *E-Book Proceedings of the ESERA 2013 Conference: Science Education Research For Evidence-based Teaching and Coherence in Learning.* Part 3. Nicosia, Cyprus: European Science Education Research Association. 73-82.
- [8] Winkelmann, J.; Erb, R. (im Druck): Lernzuwachs durch Schüler- und Demonstrationsexperimente. *Experimentiervorschläge zur geometrischen Optik.* In: *Mathematisch Naturwissenschaftlicher Unterricht.*