

Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht auf den Fachwissenszuwachs und die experimentelle Kompetenz von Schülerinnen und Schülern

Laura Muth*, Roger Erb⁺

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, muth@physik.uni-frankfurt.de

⁺Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, roger.erb@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Vor- und Nachbereitung von Schüler- und Demonstrationsexperimenten haben einen großen Einfluss auf die Qualität des naturwissenschaftlichen Unterrichts und den Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler. Allerdings gibt die Forschung bis jetzt wenig Auskunft über die Gestaltung dieser Phasen des Experimentierens im Einzelnen.

In der hier beschriebenen Forschungsarbeit wird der Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht auf den Fachwissenszuwachs und die experimentelle Kompetenz von Schülerinnen und Schülern untersucht. Die Untersuchung ist als quasi-experimentelle Interventionsstudie mit sechs Treatments angelegt, die sich sowohl bei der Durchführung der Experimente, als auch bei deren Auswertung in ihrer Offenheit unterscheiden. Der Grad der Offenheit reicht von Arbeit im Plenum, über vorstrukturiertes Experimentieren bis hin zu komplett selbstständigem Arbeiten. Die vorliegende Stichprobenzahl ist zum aktuellen Zeitpunkt noch zu gering, um zur Verallgemeinerung geeignete Aussagen treffen zu können, gibt aber Hinweise darauf, dass es in verschiedenen Treatments einen Lernzuwachs gibt und die in der Pilotstudie verwendeten Messinstrumente gut funktionieren, sodass die Hauptstudie, die im Winter 2016/2017 erfolgen soll, nur leicht angepasst werden muss.

1. Einleitung und Motivation

Ergebnisse aus Studien der letzten Jahre haben gezeigt, dass das Experiment im naturwissenschaftlichen Unterricht eine übergeordnete Rolle spielt.

Üblicherweise wird der Experimentierprozess in drei Phasen gegliedert: Die Vorbereitung, die Durchführung und die Nachbereitung (bspw. Hofstein, 2004). Obwohl bekannt ist, dass sowohl Vor- als auch Nachbereitung von Experimenten, sowie deren Einbettung in den Unterricht einen großen Einfluss auf die Qualität des Unterrichts haben (Tesch & Duit, 2004), gibt es bis heute wenig Studien, die sich mit der Bedeutung jeder einzelnen dieser drei Phasen befassen. Allerdings konnte eine Interventionsstudie von Winkelmann (2015) zeigen, dass Schülerinnen und Schüler auch in der Nachbereitungs- bzw. Auswertephase von Experimenten noch dazulernen. Daher erscheint es interessant, die Auswertephase von Experimenten genauer zu beleuchten und sie mittels mehrerer Treatments zu variieren, um herauszufinden, wie dieser Prozess idealerweise zu gestalten ist, um bestmögliche Ergebnisse beim Fachwissenszuwachs und dem Erlangen von Experimentierkompetenz zu erzielen. Neben der Unterscheidung der Experimentiersituation soll die Überzeugung der Lehrkräfte zum Unterrichtsfach und zur Wissenschaft Physik miterhoben werden. Motivation hierfür bietet erneut die Studie von Winkelmann, welche zeigt, dass die Wechselwirkung zwischen der Lehrperson und dem jeweiligen

Treatment einen Einfluss auf den Lernerfolg hat. Offenbar spielt also weniger die Experimentiersituation allein eine Rolle, sondern welche Lehrkraft sich für welche Form des Experiments entscheidet. Da in der genannten Studie Unterschiede der Lehrkräfte nur in Form einer Zufallsvariable in die Varianzanalyse eingingen, erscheint es wichtig, Lehrercharakteristika zu erheben, um eventuelle Rückschlüsse auf die Ursache der Wechselwirkung zwischen Lehrkraft und Experimentiersituation ziehen zu können.

2. Stand der Forschung

Befasst man sich mit Experimenten im Physikunterricht, fällt auf, dass die Forschungslage sehr umfangreich, nicht aber immer einheitlich ist. Für diese Forschungsarbeit wird Hackings Definition des Experiments als Basis verwendet. Er beschreibt das Experiment im naturwissenschaftlichen Unterricht als „[...] an activity which involves an intervention to produce the phenomenon to be observed or to test a hypothesis“ (Hacking, 1989 in: Millar, 2010). Grundsätzlich wird zwischen Schülerexperimenten und Demonstrationsexperimenten unterschieden. Betrachtet man die Komponenten des Experimentierens, wird häufig das *Scientific Discovery as Dual Search* (SDDS) Modell von Klahr und Dunbar (1988) zitiert, welches drei Teilkomponenten betont: die Suche im Hypothesenraum, die Suche im Experimentierraum und die Analyse von Evidenzen.

Anhand des SDDS-Modells und andere Modellen der Literatur identifizierten Vorholzer et al (2016) drei zentrale Teilkompetenzen, die sich den gängigen drei Phasen des Experimentierens zuordnen lassen (Tabelle 1).

	Phase des Experiments	Teilkompetenzen nach Vorholzer et al (2016)
1	Vorbereitung	Fragen, Vermutungen, Hypothesen generieren
2	Durchführung	Untersuchungen planen und durchführen
3	Auswertung	Daten auswerten und interpretieren

Tab. 1 Phasen des Experiments und dazugehörigen Kompetenzen

Während hinsichtlich dieser drei Teilkompetenzen weitgehend Einigkeit in der Forschung herrscht, werden jedoch die dazugehörigen Fähigkeiten und Fertigkeiten nur selten explizit benannt beziehungsweise unterscheiden sich stark. Da sich das vorliegende Forschungsvorhaben insbesondere auf die Auswertung von Experimenten (also Phase 3) konzentriert, war es besonders wichtig, die Fähigkeiten und Fertigkeiten, die diese Phase beinhalten, genauer zu benennen. Nach Sichtung des Forschungsstandes wurde also die dritte Teilkompetenz (Daten auswerten und interpretieren) in einem ersten Schritt von uns präzisiert. Ausschlaggebend für die Überlegungen waren Fähigkeiten und Konzepte, die aus der Literatur als interessant erschienen und aus unserer Sicht den Kern der Kompetenz „Auswertung eines Experiments“ ausmachen. Aufbauend auf diesen Überlegungen wird die Auswertung des Experiments in drei Teilschritte untergliedert (Tabelle 2). Als Quellen lassen sich unter anderem Chinn & Malhotra (2001), Dolan & Grady (2010), Emden (2012), Glug (2009), KMK (2004) und Schreiber (2012) benennen.

1.	Darstellung und Zusammenfassung der protokollierten Messwerte und Beobachtungen durch schriftlich bildliches Festhalten. Beispiele hierfür sind Fertigkeiten wie Skizzen anfertigen, Diagramme erstellen, Berechnungen durchführen etc.
2.	Formulierung von Ergebnissen. Hierbei sollen Beobachtungen erklärt, Verallgemeinerungen gefunden, zur Hypothese Rückbezug genommen werden etc.
3.	Bewertung des Experiments unter Berücksichtigung der Fehlerbetrachtung. Hierbei sind Fertigkeiten wie die Identifikation von Fehlerquellen oder Messfehlern und die Annahme oder Ablehnung der Ergebnisse aufgrund dieser Fehler wichtig.

Tab. 2 Schritte der Auswertung eines Experiments mit dazugehörigen Kompetenzen

Diese drei Schritte folgen nicht unbedingt nur einer festen Reihenfolge. Manche Schritte greifen auch ineinander.

3. Forschungsfragen

Das vorliegende Forschungsprojekt geht der grundlegenden Frage nach, wie die Auswertesituation von Experimenten im Physikunterricht strukturiert sein sollte, um bestmögliche Ergebnisse beim Fachwissenszuwachs und dem Erlangen von Experimentierkompetenz zu erzielen. Drei Forschungsfragen wurden präzisiert.

- F1 Wie wirken sich Auswertesituation von Experimenten im Physikunterricht mit unterschiedlichem Offenheitsgrad auf die Entwicklung von Schülerinnen und Schülern in den Bereichen Fachwissenszuwachs und experimenteller Kompetenz aus?
- F2 Welche Unterschiede zeigen sich bei unterschiedlicher Kombination von Durchführungs- und Auswertesituation von Experimenten in Bezug auf die Entwicklung der Schülerinnen und Schüler in den Bereichen Fachwissenszuwachs und experimentelle Kompetenz?
- F3 Welchen Einfluss haben Überzeugungen von Lehrkräften zum Unterrichtsfach und zur Wissenschaft Physik auf den Fachwissenszuwachs und die experimentelle Kompetenz von Schülerinnen und Schülern?

4. Anlage der Studie

Bei diesem Forschungsprojekt handelt es sich um eine Vergleichsstudie, die den Wissens- und Kompetenzzuwachs durch angeleitetes und selbstständiges Auswerten von Schüler- und Demonstrationsexperimenten untersucht. Sie ist als Interventionsstudie im Physikunterricht im 7. oder 8. Schuljahr angesetzt. Sie umfasst den Themenbereich der geometrischen Optik; die Inhalte sind ähnlich wie in der schon erwähnten Studie von Winkelmann. Aufgrund der besseren Umsetzbarkeit muss auf eine Randomisierung der Untersuchungsgruppen verzichtet werden. Die Schülerinnen und Schüler verbleiben in ihren Klassenverbänden und werden von ihren üblichen Lehrkräften unterrichtet. Die Randomisierung, die vorgenommen werden kann, ist die zufällige Zuteilung der Treatments auf die Schulklassen. Somit genügt die Studie nicht mehr den Anforderungen einer experimentellen Studie, sondern muss als quasi-experimentell bezeichnet werden. Da die Tests und die Intervention im gewöhnlichen Unterricht an der Schule von den üblichen Lehrkräften durchgeführt werden, handelt es sich um eine Feldstudie. Zur Feststellung des allgemeinen Lernzuwachses der Stichprobe wird ein t-Test durchgeführt, um die Mittelwerte des Pre- und Posttests zu vergleichen. Zur Überprüfung möglicher

Unterschiede im Lernzuwachs zwischen den Treatments wird eine Varianzanalyse durchgeführt. Das in diesem Beitrag beschriebene Dissertationsprojekt befindet sich aktuell in der Pilotierungsphase. Ziel dieser ersten Untersuchung ist, neben dem Gewinn von ersten Hinweisen in den Bereichen Fachwissen und experimenteller Kompetenz, die Erprobung und Analyse der verwendeten Messinstrumente. In der Hauptstudie, die ab Herbst 2016 durchgeführt wird, werden auf Seiten der Schülerinnen und Schüler der Lernzuwachs im Fachwissen und der experimentellen Kompetenz, sowie auf Seiten der Lehrkräfte deren Überzeugungen zum Unterrichtsfach und zur Wissenschaft Physik erhoben und eingehend analysiert.

4.1 Studiendesign

Das Forschungsprojekt hat das Ziel, die Auswertephase von Experimenten genauer zu beleuchten. Aus diesem Grund soll diese mittels mehrerer Treatments variiert werden. Die Treatments weisen einen unterschiedlichen Offenheitsgrad auf.

Die Pilotstudie ist in einem 2x3 Design realisiert. Es wird zwischen sechs Treatments mit unterschiedlicher Schüleraktivität unterschieden, die in Tabelle 3 veranschaulicht werden. Die Vorbereitung des Experiments verläuft in allen sechs Treatmentgruppen gleich und wird von der Lehrkraft angeleitet. Danach spalten sich der Unterrichtsverlauf zum ersten Mal auf: Die eine Hälfte der gesamten Stichprobe erfährt lehrergeleitete Demonstrationsexperimente, die andere Hälfte führt selbstständig Schülerexperimente durch, die durch eine Anleitung auf Arbeitsblättern begleitet werden. In den Gruppen mit Schülerexperimenten nimmt die Lehrkraft nur eine moderierende Position ein. Danach spalten sich die Treatments für die Auswertung des Experiments erneut auf. Es wird zwischen drei Variationen der Auswertung unterschiedlicher Offenheit unterschieden:

1. Auswertung im Plenum: Die Auswertung des Experiments wird von der Lehrkraft angeleitet.

2. Angeleitete Auswertung: Die Auswertung des Experiments erfolgt in Schüler-Kleingruppen. Das Vorgehen zur Auswertung ist mit Hilfe von Arbeitsblättern vorskizziert. Als Hilfen stehen das Schulbuch, das Internet etc. zur Verfügung. Nur im Notfall sollte die Lehrkraft als Hilfe herangezogen werden.

3. Selbstständige Auswertung: Die Auswertung des Experiments erfolgt in Schülerkleingruppen. Es gibt keine Vorgaben zum Vorgehen. Als Hilfe stehen das Schulbuch, das Internet etc. zur Verfügung.

Treatment	Phasen des Experiments		
	Vorbereitung	Durchführung	Auswertung
1. Demo-Plenum	Gemeinsam	Lehrkraft	Lehrkraft
2. Demo-Angeleitet	Gemeinsam	Lehrkraft	SuS
3. Demo-Selbstständig	Gemeinsam	Lehrkraft	SuS
4. SuS-Plenum	Gemeinsam	SuS	Lehrkraft
5. SuS-Angeleitet	Gemeinsam	SuS	SuS
6. SuS-Selbstständig	Gemeinsam	SuS	SuS

Tab. 3 Unterscheidung der Treatments nach Schüleraktivität (SuS = Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen)

4.2 Studienverlauf

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt umfasst fünf bis sechs Doppelstunden in der siebten Jahrgangsstufe des Gymnasiums (siehe Tabelle 4). Die erste Doppelstunde verläuft in allen 6 Untersuchungsgruppen gleich und beginnt mit einer Einführung in die Studie und dem Pretest für die Schülerinnen und Schüler. In diesem Pretest werden personenbezogene Daten, das aktuelle Fachwissen und die aktuelle experimentelle Kompetenz erhoben. Im zweiten Teil dieser ersten Doppelstunde findet eine Schulung für die Schülerinnen und Schüler zum Experimentieren statt. In dieser Schulung führt die Lehrkraft ein Beispiexperiment vor. Ziel ist es, dass die Schülerinnen und Schüler erleben, wie ein Experiment geplant, durchgeführt und vor allem ausgewertet wird. Die Lehrkraft sollte hier besonderen Fokus auf die drei oben genannten Schritte der Auswertung des Experiments legen. Am Ende dieser Schulung sollten die Schülerinnen und Schüler in der Theorie Kenntnisse darüber haben, wie ein Experiment im Physikunterricht durchgeführt werden kann und welche Schritte bei der Auswertung wichtig sind. Diese Schulung stellt eine Art Vorstrukturierung der Experimentierphasen dar. Da die Schülerinnen und Schüler schon eine Idee vermittelt bekommen haben, welche Strategien sie beim Experimentieren anwenden können, sind auch die selbständigen Treatments nicht mehr komplett offen, sondern verfügen über eine leichte Lenkung. In den Doppelstunden 2-4 erleben die Schulklassen den Unterricht gemäß ihrem Treatment. In jeder der drei Doppelstunden werden jeweils 2 Experimente geplant, durchgeführt und ausgewertet. Bevor die Experimente ausgewertet werden, füllen die Schülerinnen und Schüler einen Kurztest zu dem jeweiligen Experiment aus, um die Wirksamkeit der Auswertung an sich genauer einschätzen zu können. Die fünfte Doppelstunde beinhaltet einen gemeinsamen Abschluss der Intervention. Die Schülerinnen und Schüler füllen den Posttest zum Fachwissen und der experimentellen Kompetenz aus und haben im Anschluss daran die Möglichkeit, Feedback zu den vergangenen Stunden zu geben. Die sechste Doppelstunde ist optional. Hier

haben Lehrkräfte, die befürchten, dass die selbstständigen Auswertegruppen nicht das richtige oder vollständige Fachwissen gesichert haben, die Möglichkeit, eine lehrergeleitete Ergebnissicherung durchzuführen.

Stunden	Inhalt
1. Doppelstunde	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung • Pretest • Schulung für Schülerinnen und Schüler: Einführung zum Experimentieren
2. Doppelstunde	Experimente: Lichtbrechung
3. Doppelstunde	Experimente: Brechungsgesetz und Sammellinse
4. Doppelstunde	Experimente: Abhängigkeit der Lichtbündelung und Abbildungsmaßstab
5. Doppelstunde	<ul style="list-style-type: none"> • Abschluss • Posttest • Feedback
6. Doppelstunde *optional	Möglichkeit zur Ergebnissicherung

Tab. 4 Studienverlauf Pilotstudie

4.3 Messinstrumente

In der Pilotstudie kommen fünf Messinstrumente zum Einsatz. Zunächst füllen die Schülerinnen und Schüler einen Test zur kognitiven Leistungsfähigkeit aus und geben personenbezogene Daten wie Alter, letzte Schulnoten in Physik etc. an. Dieser Test soll die Möglichkeit bieten, die Heterogenität der Stichprobe zu überprüfen, da wie oben erwähnt, eine vollständige Randomisierung der Probanden nicht durchgeführt wurde. Des Weiteren ist ein Fachwissenstest Teil des Pretests. Dieser Test geht im Wesentlichen auf Winkelmann (2015) zurück und wurde nur in einigen wenigen Items verändert. Er umfasst 22 Multiple-Choice-Items. Weiter wird ein Test zur experimentellen Kompetenz eingesetzt, der auf das Projekt MeK-LSA (Messungen experimenteller Kompetenz in Large Scale Assessments (Dickmann et al., 2013)) zurückgeht und aus 27 Multiple-Choice-Items besteht. Dieser Test umfasst allerdings nicht die komplette Experimentierkompetenz, wie im MeK-LSA Projekt, sondern konzentriert sich auf den Auswerteprozess. In der Literatur finden sich einige Problematiken, zur Erhebung der experimentellen Kompetenz mittels Paper-Pencil-Tests. Unter anderem betonen Schreiber et al. (2014), dass sich zum Experiment gehörende Fähigkeiten und Fertigkeiten nicht valide durch schriftliche Tests erfassen lassen. Allerdings werden durch die Auswertung von Experimenten vorrangig Fertigkeiten abgefragt, die in großen Teilen auf Papier zu erstellen sind (bspw. Diagramme oder Skizzen anfertigen). Daher wird aus testökonomischen Gründen auf ein papierbasiertes Testverfahren zurückgegriffen. Eine Reihe der Items dieses Tests finden sich ähnlich auch in dem Test des MeK-LSA

Projektes, andere wurden eigens (unter anderem in Examensarbeiten) erstellt, beziehungsweise abgewandelt, sodass der Test nun die oben vorgestellten Teilkompetenzen der Auswertung eines Experiments widerspiegelt. Von den Lehrkräften wird ein Fragebogen zu den Überzeugungen zum Unterrichtsfach und zur Wissenschaft Physik (Lamprecht, 2011) bearbeitet.

Tabelle 5 zeigt alle Messinstrumente und deren Messzeitpunkte im Überblick:

Erhobenes Konstrukt	Autorinnen und Autoren	Messzeitpunkt
Kognitive Leistungsfähigkeit	Heller & Perleth (2000)	Pretest
Personenbezogene Daten		Pretest
Fachwissen	Nach Winkelmann (2015)	Pretest, Kurztests, Posttest
Test zur experimentellen Kompetenz	Eigenentwicklung nach Modell von MeK-LSA	Pretest, Posttest
Überzeugung der Lehrkräfte	Lamprecht (2011), nach Neuhaus (2004) und Seidel und Meyer (2003)	Pretest

Tab. 5 Messinstrumente der Pilotstudie

5. Erste Ergebnisse der Pilotstudie

Die Pilotstudie wurde in zwei Klassen im Winter 2015/2016 durchgeführt. In fünf weiteren Klassen läuft die Pilotstudie aktuell. An diesen Zahlen ist zu erkennen, dass die Stichprobe und die auswertbaren Daten aktuell noch sehr gering sind. Die Aussagekraft der vorliegenden Ergebnisse ist daher eingeschränkt. Lediglich eine erste Tendenz kann an dieser Stelle aufgezeigt werden.

5.1 Testanalyse

Für die Testanalyse wurde der Pre-Test mit einer Stichprobe von $N=91$ untersucht.

Nach klassischer Testtheorie weist der Fachwissenstest eine Gesamttestschwierigkeit von 0.31 auf (im Idealfall liegen ein Test oder einzelne Items im mittleren Schwierigkeitsbereich bei 0.5; Werte unter 0.2 sollten mit besonderer Vorsicht betrachtet werden). Fünf der 22 verwendeten Items bewegen sich unter dem kritischen Wert von 0.2. Diese Zahlen zeigen, dass der Test auf den ersten Blick etwas schwer erscheint. Allerdings handelt es sich um eine Auswertung bei einem Einsatz als Pre-Test. Es ist zu erwarten, dass die Items für die meisten Schülerinnen und Schüler noch zu schwierig sind, da das nötige Wissen erst in den kommenden Stunden erarbeitet wird. Die Faktorenanalyse des Fachwissenstests lässt die Annahme zu, dass von einem Konstrukt (Fachwissen) ausgegangen werden kann. Mögliche Subkonstrukte lassen sich mit den unterschiedlichen Themenbereichen (Optik, Mechanik, E-Lehre) des Tests begründen. Der Test weist eine Reliabilität von Cronbachs α

= 0.667 auf. Mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov Tests konnte gezeigt werden, dass der Test mit $D = 0.2$ über der Signifikanzschwelle von 5% liegt und somit normalverteilt ist.

Aufgrund des großen Umfangs des Tests zur Messung der experimentellen Kompetenz und der Menge an Text wurde der Experimentierkompetenz-Test in zwei Testhefte, „exKomp1“ und „exKomp2“, aufgeteilt. Die beiden Testhefte wurden jeweils von der Hälfte der Stichprobe ausgefüllt ($N_{\text{exKomp1}} = 45$, $N_{\text{exKomp2}} = 46$). Die Gesamttestschwierigkeit lag in Testheft exKomp1 bei 0.37 und in Testheft exKomp2 bei 0.39. Jeweils einem Item befand sich unter dem kritischen Wert von 0.2. Wie auch schon im Fachwissenstest wirkt der Test im ersten Moment etwas schwer, allerdings handelt es sich auch hier um einen Pretest. Daher sind die Werte durchaus akzeptabel. Beide Testhefte sind mit $D_{\text{exKomp1}} = 0.066$ und $D_{\text{exKomp2}} = 0.2$ über der 5 % Signifikanzschwelle des Komogorov-Smirnov Tests und somit normalverteilt.

5.2 Lernzuwachs

Eine Betrachtung des Lernzuwachses (Abb. 1) im Bereich des Fachwissens zeigt, dass die untersuchte Stichprobe ($N = 40$) einen signifikanten Anstieg ($p = 0.00$) im Fachwissen um 2,69 Punkte aufweist.

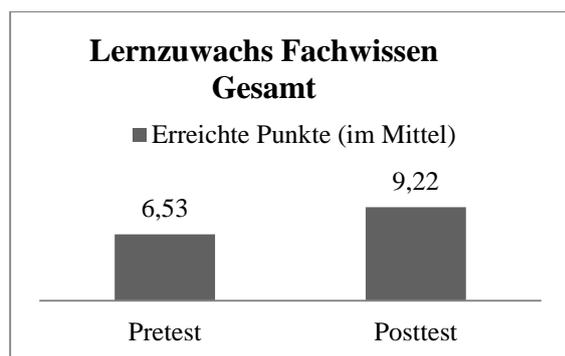


Abb. 1 Lernzuwachs Fachwissen

In beiden Testheften des Tests zur Experimentierkompetenz (Abb. 2) konnte ein Lernzuwachs festgestellt werden (in exKomp1 um 1.45 Punkte, in exKomp2 um 1.17 Punkte). Allerdings zeigte sich nur der Lernzuwachs in Testheft 1 als signifikant.

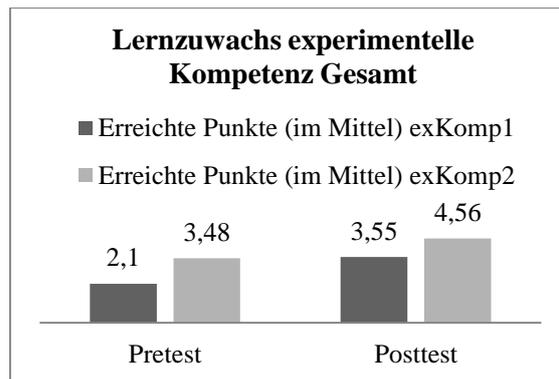


Abb. 2 Lernzuwachs experimentelle Kompetenz

6. Diskussion und Ausblick

Der Fachwissenstest weist eine gute Schwierigkeit auf. Die neu konzipierten Items haben sich gut in den bestehenden Test von Winkelmann (2015) integriert. Das Messinstrument zur Messung der experimentellen Kompetenz ist sehr umfangreich. Dies spiegelte sich auch in der schwindenden Motivation der Probanden und deren Überforderung an einigen Stellen wieder. Daher soll für die Hauptstudie nun herausgestellt werden, welche Items geeignet sind, um daraus ein Instrument zusammen zu stellen.

Unterschiede zwischen den sechs Treatments, sowie die Wechselwirkung zwischen unterrichtender Lehrkraft und jeweiliger Experimentiersituation in der Pilotstudie bleibt zu überprüfen.

Aufgrund der Ergebnisse der Pilotstudie haben wir uns entschieden in der Hauptstudie während der Durchführungsphase der Experimente nur noch Demonstrationsexperimente durchführen zu lassen und auf Schülerexperimente komplett zu verzichten. Hieraus resultiert eine Reduktion auf 3 Treatmentgruppen. Ein Vorteil davon ist sicherlich die Vergrößerung der Stichprobe, aber auch der Wegfall von unerwünschten Störvariablen (bspw. Fehler im Aufbau des Experiments, die zu Fehlern in der Auswertung führen).

Einige Schülerinnen und Schüler zeigten sich überfordert mit der komplett selbstständigen Arbeit. Von solchen Problemen berichtete auch schon Priemer (2011). Ein Grund hierfür könnte das geringe Alter von 11-14 Jahren der Probanden sein. Dagegen weisen Niederer et al (1998) auf die Notwendigkeit hin, Schülerinnen und Schüler mit den Ergebnissen nach dem Experiment alleine zu lassen. Es wird daher noch zu entscheiden sein, ob die offenen Auswertevarianten für die Hauptstudie doch noch stärker strukturiert werden sollten. Dadurch würden die Treatments etwas einfacher gestaltet, die Schülerinnen und Schüler hätten aber dennoch die Möglichkeit, selbstständig zu arbeiten und ihre experimentellen Fähigkeiten zu verbessern.

7. Literatur

- [1] Chinn, Clark A.; Malhotra, Betina A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. In: *Sci. Ed.* 86 (2), S. 175–218. DOI: 10.1002/sci.10001.
- [2] Dickmann, Martin; Eickhorst, Bodo; Theyßen, Heike; Neumann, Knut; Schecker, Horst & Schreiber, Nico (2013). Measuring experimental skills in large-scale assessments: developing a simulation-based test instrument. In C. P. Constantinou, N. Papadouris & A. Hadjigeorgiou (Eds.), *Science Education Research For Evidence-based Teaching and Coherence in Learning*. Proceedings of the ESERA 2013 Conference.
- [3] Dolan, Erin; Grady, Julia (2010). Recognizing Students' Scientific Reasoning: A Tool for Categorizing Complexity of Reasoning During Teaching by Inquiry. In: *Journal of science teacher education* 21 (1), S. 31–55. DOI: 10.1007/s10972-009-9154-7.
- [4] Emden, Markus (2011). Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I. Berlin: Logos Berlin (Studien zum Physik- und Chemielernen, 118).
- [5] Glug, Inga (2009). Entwicklung und Validierung eines Multiple-Choice-Tests zur Erfassung prozessbezogener naturwissenschaftlicher Grundbildung. Kiel: Universitätsbibliothek Kiel.
- [6] Heller, Kurt; Perleth, Christopher (2000). Kognitiver Fähigkeitstest für 4. Bis 12. Klassen, Revision (KFT 4-12+R). Göttingen: Hogrefe, 71-176.
- [7] Hofstein, Avi (2004). The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with the developments, implementation, and research. In: *Chemistry education research and practice*, 5(3), 247-264.
- [8] KMK, Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2004). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004. München: Luchterhand.
- [9] Lamprecht, Jan (2011). Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz: Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik. Berlin: Logos (Studien zum Physik- und Chemielernen, 125)
- [10] Millar, Robin (2010). Practical work. In: J. Osborne & J. Dillon (Hrsg.), *Good practice in science teaching: What research has to say*. Maidenhead, Open University Press, 108-134.
- [11] Neuhaus, Birgit (2004). Einstellungsausprägungen von Biologielehrern. Ein bundesdeutscher Vergleich. Dissertation an der Universität Kassel, Fachbereich Naturwissenschaften, Institut für Biologie, Abteilung Didaktik der Biologie.
- [12] Niedderer, Hans; Tiberghien, Andrée; Buty, Christian; Haller, Kerstin; Hucke, Lorenz; Sander, Florian; Fischer, Hans; Schecker, Horst; v. Aufschnaiter, Stefan & Welzel, Manuela (1998). Labwork in science education. Category based analysis of videotapes from labwork (CBAV) – Method and results from four case-studies. Targeted socio-economic research programme, Project PL 95-2005.
- [13] Schreiber, Nico (2012). Diagnostik experimenteller Kompetenz. Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells. Berlin: Logos (Studien zum Physik- und Chemielernen, 139).
- [14] Schreiber, Nico; Theyßen, Heike; Schecker, Horst (2014). Diagnostik experimenteller Kompetenz: Kann man Realexperimente durch Simulationen ersetzen? In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 161-173
- [15] Priemer, Burkhard (2011). Was ist das Offene beim Experimentieren? In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg. 17, 2011, S. 315-337
- [16] Seider, Tina; Meyer, Lena (2003). Kapitle 11 – Skalendokumentation Lehrerfragebogen. In: Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R. & Lehrke, M. (Hrsg): *Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr- und Lernprozesse im Physikunterricht.“* Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), S. 240-273.
- [17] Tesch, Maike; Reinders, Duit (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg. 10, 2004, S. 51-69
- [18] Vorholzer, Andreas; von Aufschnaiter, Claudia; Kirschner, Sophie (2016). Entwicklung und Erprobung eines Tests zur Erfassung des Verständnisses experimenteller Denk- und Arbeitsweisen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; 2016, S. 1-17
- [19] Winkelmann, Jan (2015). Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht. Berlin: Logos Verlag