

Die Auswirkungen verschiedener Experimentiersituationen auf Leistung, Motivation und Kompetenzerwartung der Schülerinnen und Schüler

Anna Stolz*, Roger Erb[†]

*Abteilung Physik, Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, anna.stolz@ph-gmuend.de

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

Kurzfassung

Untersucht wurde der Einfluss unterschiedlich gestalteter Experimentiersituationen auf den Leistungserwerb von Schülerinnen und Schülern, aber auch auf ihre Motivation und Kompetenzerwartung. Das Studiensetting stellt ein 2x2-Design dar, in dem zum einen nach dem Grad der Offenheit und zum anderen nach der vorliegenden Experimentiersituation differenziert wurde. Die Variation der Offenheit wurde durch einen vorstrukturierten und einen offenen Untersuchungsauftrag realisiert. Das verwendete Material lag für die eine Gruppe in Form von realen Experimentiergeräten vor, während die andere Gruppe mit einer Computersimulation arbeitete. An der Studie nahmen Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 8 teil. Die Ergebnisse der ersten Pilotstudie machten deutlich, dass die offen arbeitenden Gruppen einen höheren Leistungszuwachs erzielten als die gelenkten.

1. Einleitung

Experimente nehmen im Physikunterricht eine wichtige Rolle ein. Sie stellen eine Verbindung zwischen Theorie und Praxis dar und bieten gleichzeitig die Möglichkeit einer Veranschaulichung von physikalischen Sachverhalten. Im Unterrichtsablauf haben Experimente dementsprechend verschiedene Funktionen. Sie können beispielsweise wie in der Wissenschaft dazu genutzt werden, Hypothesen zu überprüfen oder auch dabei helfen, eine Hypothese zu finden. Den Lernenden wird dabei ein Einblick in wissenschaftliche Arbeitsweisen ermöglicht, denn sie können beim Experimentieren Gesetzmäßigkeiten erfahren oder auch Gesetze quantitativ überprüfen. Das Wissen, das Schülerinnen und Schüler beim selbständigen Experimentieren erwerben, bleibt allerdings oft hinter den Erwartungen zurück.

Offene Lernformen stellen eine Möglichkeit dar, Experimente im Unterricht auf andere Weise einzusetzen. Offen können dabei viele Aspekte sein, wie Inhalte, Sozialform, Art der Instruktion u.a.. Mayer und Ziemek (2006) haben ein Raster zur Offenheit beim Experimentieren entwickelt. Dabei variieren die Grade der Offenheit von einem stark geschlossenen Unterricht, bei dem alle Phasen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses von der Lehrkraft vorgegeben werden, bis hin zu einem ganz offenen Unterricht, bei dem alle Phasen von den Schülerinnen und Schülern möglichst selbständig bearbeitet werden. Dazwischen gibt es Mischformen, bei denen der Lehrer entweder noch stark steuert oder zugunsten der Schüler etwas mehr in den Hintergrund tritt. Oft wird zwischen drei Öffnungsgraden unterschieden, structured inquiry, guided inquiry und open inquiry. Der Erkenntnisgewinnungsprozess wird je nach Art der Öffnung entweder eher vom Lehrer beeinflusst oder vom Schüler.

2. Stand der Forschung zum offenen Experimentieren

In der Forschungsliteratur finden sich sowohl Befürworter der eher offenen Unterrichtsformen als auch der stärker geschlossenen. Kirschner, Sweller und Clark (2006) plädieren für eine direkte Instruktion. Ihrer Auffassung nach beanspruchen offene Unterrichtsformen sehr stark das Kurzzeitgedächtnis. Vor allem für die Problemlösefähigkeit werden viele Ressourcen benötigt, so dass das Kurzzeitgedächtnis nicht in erster Linie für den Lernprozess an sich zur Verfügung steht. Der Transfer von Inhalten aus dem Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis wird erschwert. Der Unterrichtsstoff wird somit nur in geringem Umfang von den Lernenden aufgenommen. Nach Ausubel, Novak und Hanesian (1981) nehmen die offenen Unterrichtsformen viel Zeit in Anspruch, da den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gegeben wird, etwas selbst zu entdecken, während ein Lehrervortrag wesentlich mehr Inhalte in der gleichen Zeit vermitteln kann.

Hmelo-Silver, Duncan und Chinn (2007) veröffentlichten einen Kommentar zu der Arbeit von Kirschner et al. (2006) und führten darin Belege auf, die für offene Unterrichtsformen sprechen. Auch Walpuski und Sumfleth (2007) belegen in ihrer Interventionsstudie, dass offenere Unterrichtsformen zu hoher Lernwirksamkeit führen. Es wurde untersucht, wie sich die Effizienz von Kleingruppenarbeitsphasen steigern lässt. Dazu wurden zwei verschiedene Interventionen eingesetzt. Für die Interventionsmaßnahme „Fehlerkorrektur“, bei der die Lernenden die Möglichkeit hatten, beim selbständigen Experimentieren an bestimmten Stellen Fragen zu stellen, ergab sich ein signifikanter Vorteil. Es gibt auch Studien, die offene und gelenkte Unterrichtsformen direkt miteinander vergleichen. In der Studie von Hof (2011)

wurden offener und gelenkter Unterricht zum forschenden Lernen mit fragend-entwickelndem Unterricht verglichen. Nach dieser Studie erreichen die Lernenden sowohl im offenen als auch in geleitetem Unterricht einen Lernzuwachs, dieser ist aber im geleiteten Unterricht größer. Beim Vergleich mit fragend-entwickeltem Unterricht schneiden beide Experimentalgruppen (offen und geleitet) wesentlich besser ab. Es zeigt sich also, dass die Schülerinnen und Schüler auf jeden Fall stärker in das Unterrichtsgeschehen mit einbezogen werden müssen. Gleichzeitig sieht es so aus, dass eine Lenkung durch die Lehrperson zu größerem Lernerfolg verhilft als der offene Unterricht alleine. Der offene Unterricht hat aber gleichzeitig noch den Vorteil, dass die Kompetenzen im Bereich des Experimentierens stärker gefördert werden (vgl. Hof, 2011).

Tesch und Duit (2004) haben mit ihrer Videostudie festgestellt, dass der Lernerfolg davon abhängig ist, wie stark der Unterricht durch Experimente bestimmt wird. Dabei sind die gesamten Experimentierphasen entscheidend, inklusive Vor- und Nachbesprechung. Die Zeit für das reine Experimentieren zeigt keine Effekte auf die Leistungsentwicklung. Es ist also nicht entscheidend, wie viele Experimente im Unterricht eingesetzt werden, sondern wie die Einbindung geschieht.

In der vorliegenden Studie soll gerade die Experimentierphase ohne eine Einbeziehung der Vor- und Nachbesprechung untersucht werden. Dabei werden zwei Aspekte unterschieden, zum einen der Grad der Öffnung und zum anderen die Art des eingesetzten Experimentiermaterials. Im Gegensatz zu den meisten anderen Studien arbeiten die Schülerinnen und Schüler in diesem Fall zu zweit und nicht in Kleingruppen.

3. Forschungsfragen und Hypothesen

- (1) Welchen Einfluss hat der Grad der Öffnung einer Experimentiersituation auf den Erwerb von Fachwissen und die Motivation?

H1.1: Die offene Experimentiersituation hat einen positiven Effekt auf den Lernerfolg.

In der offenen Experimentiersituation arbeiten die Schülerinnen und Schüler nicht einfach nur ein „Kochrezept“ ab. Sie müssen bereits im Vorfeld Überlegungen anstellen, welche Messungen sie vornehmen wollen, um die zu untersuchenden Fragestellungen zu beantworten.

H1.2: Von der offenen Experimentiersituation profitieren vor allem die leistungsstärkeren Schülerinnen und Schüler.

Nach Kirschner et al. (2006) ist davon auszugehen, dass bei leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern das Kurzzeitgedächtnis stark gefordert wird und eine Übertragung

von Inhalten ins Langzeitgedächtnis erschwert wird.

H1.3: Die offene Experimentiersituation hat einen positiven Effekt auf die Motivation.

Vollmeyer und Burns (1996) haben in ihrer Studie festgestellt, dass Probanden mit einem unspezifischen Ziel einen höheren Wissenszuwachs erlangen. Sie vermuten, dass die ungerichtete Erkundung eines Systems dazu führt, mehr Wissen über dieses System zu erlangen. Nach Rheinberg (1999) wirkt sich die Motivation vor und während des Experiments auf die Systematik der Systemerkundung aus, diese wiederum fördert den Wissenserwerb.

- (2) Welchen Einfluss übt das verwendete Material (virtuell vs. real) auf den Erwerb von Fachwissen und die Motivation aus?

H2.1: Die mit virtuellem und realem Material arbeitenden Gruppen zeigen keine Unterschiede im Lernerfolg.

Urhahne, Prenzel, von Davier, Senkbeil und Bleschke (2000) fassen Ergebnisse mehrerer Studien zu computergestütztem Lernen zusammen und stellen dabei fest, dass bei längeren Interventionen die positiven Effekte zum Vorteil des Computereinsatzes kaum noch zum Ausdruck kommen. Gleichzeitig beeinflussen noch weitere Einflussgrößen den Lernerfolg. Bei ihrer Berücksichtigung sinken die Effekte des Lernerfolges beim Computereinsatz.

H2.2: Virtuelles und reales Material zeigen unterschiedliche Effekte auf die Motivation.

Virtuelle Medien wirken sich bei kurzfristigem Einsatz positiv auf die Motivation aus, da sie im Unterricht noch nicht so häufig eingesetzt werden.

Neben der Auswertung der Daten zur Überprüfung der oben aufgeführten Hypothesen sollen auch Zusammenhänge zwischen den erhobenen Variablen untersucht werden.

4. Methodische Umsetzung

In der Pilotstudie wurden vier Klassen der Klassenstufe 8 aus zwei Realschulen untersucht. Insgesamt nahmen 99 Probanden im Alter von durchschnittlich 13,5 Jahren an der Studie teil, davon waren 50 weiblich und 49 männlich. Die Schülerinnen und Schüler jeder Klasse wurden dabei zufällig und gleichmäßig auf zwei der vier Treatments verteilt. Die Intervention erfolgte in einem 2x2-Design. Dabei wurde zum einen nach dem Grad der Offenheit unterschieden und zum anderen nach der Form des zur Verfügung gestellten Experimentiermaterials. Die Schülerinnen

und Schüler haben immer zu zweit gearbeitet und nur in wenigen Ausnahmen alleine.

	Offenes Experimentieren (O)	Gelenktes Experimentieren (G)
Reales Material (R)	RO N = 24	RG N = 25
Virtuelles Material (V)	VO N = 25	VG N = 25

Abb.1: 2x2-Design

Die Variation der Offenheit lässt sich folgendermaßen beschreiben. Nach dem SDDS-Modell von Dunbar und Klahr (1988) fand die Unterscheidung zwischen den Treatments im Experimentiersuchraum statt. Dafür bekam eine Gruppe einen offenen Untersuchungsauftrag und die andere einen vorstrukturierten. Die Vorstrukturierung wurde in Form einer Experimentieranleitung realisiert. Die zu untersuchenden Fragestellungen wurden in allen Gruppen vom Lehrer stark gelenkt ausgearbeitet. Die Hypothesen zu den Experimenten und die anschließende Auswertung der Ergebnisse haben in beiden Gruppen die Schülerinnen und Schüler selbständig erarbeitet.

Zusätzlich zu der Offenheit der Experimentiersituationen wurde der Einfluss von Computersimulationen untersucht. Dafür bekam ein Teil der Schülerinnen und Schüler reales Experimentiermaterial und der andere Teil arbeitete mit der Computersimulation „Yenka“. Das zur Verfügung gestellte Material zu elektrischen Stromkreisen wurde soweit angepasst, dass es zwischen den R-Gruppen und den V-Gruppen vergleichbar war.

Die R-Gruppen bekamen entsprechend zum Material der V-Gruppen zwei Glühlampen, mehrere Kabel, zwei Multimeter und ein Netzgerät. Die Multimeter wurden im Vorfeld bereits so eingestellt, dass die Schülerinnen und Schüler mit dem einen die Spannung und mit dem anderen die Stromstärke messen konnten. Auch am Computer mussten keine Einstellungen am Messgerät mehr vorgenommen werden. Ebenfalls war die in der Simulation verwendete Spannungsquelle ähnlich der realen. Diese Maßnahmen sollten gleiche Bedingungen in allen Gruppen gewährleisten.

Die Unterrichtssequenzen waren so gestaltet, dass zunächst jede Gruppe eine kurze Einführung in die Handhabung der verwendeten Geräte bzw. das Computerprogramm (Yenka) bekam. Dazu wurden die Geräte bzw. Yenka kurz vorgestellt, dann wurde mit den Schülerinnen und Schülern gemeinsam an einem Beispiel die Stromstärke und die Spannung gemessen. Diese Übungen dienten sowohl zur Erklä-

rung der Geräte bzw. des Computerprogramms als auch zur Wiederholung von Stromstärke- und Spannungsmessung. Im Anschluss an die Übungen wurde den Schülerinnen und Schülern die eigentliche Problemstellung vorgestellt.

Wie in den Abbildungen 2a und 2b zu sehen ist, wurden drei Schaltungen mit offenen Schaltern realisiert und kurz erklärt. Nach dem Schließen der Schalter konnten die Schülerinnen und Schüler die unterschiedliche Helligkeit der Glühlampen beobachten. Aus dieser Beobachtung ergaben sich die zu untersuchenden Fragestellungen. Die Schülerinnen und Schüler wurden aufgefordert, mit Hilfe des zur Verfügung gestellten Materials herauszufinden, warum die Glühlampen in zwei Schaltungen gleich hell und in der dritten schwächer leuchten.

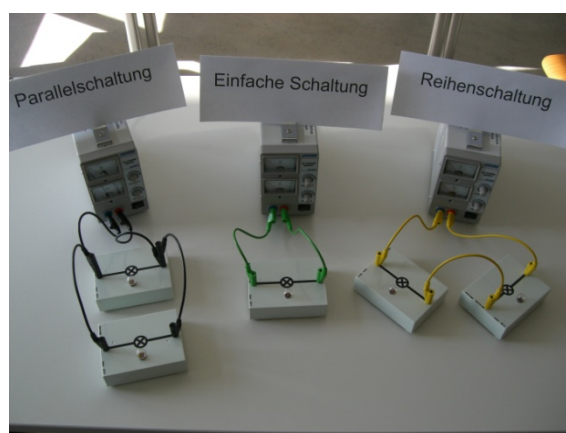


Abb. 2a: Problemstellung reales Material

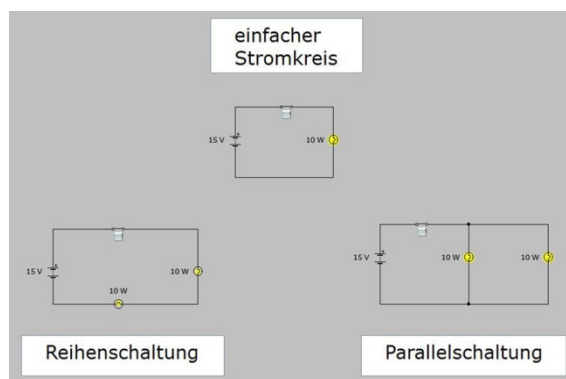


Abb. 2b: Problemstellung virtuelles Material

Nach der selbständigen Formulierung der Hypothesen bekamen die G-Gruppen Experimentieranleitungen (siehe Abb. 3). Die Schülerinnen und Schüler dieser Gruppen sollten an verschiedenen Stellen im Stromkreis die Stromstärke und die Spannung messen und zwar in allen drei vorgestellten Schaltungen. Die O-Gruppen bekamen keine Anweisungen zu den Experimenten, sondern lediglich das gleiche Experimentiermaterial wie die G-Gruppen.

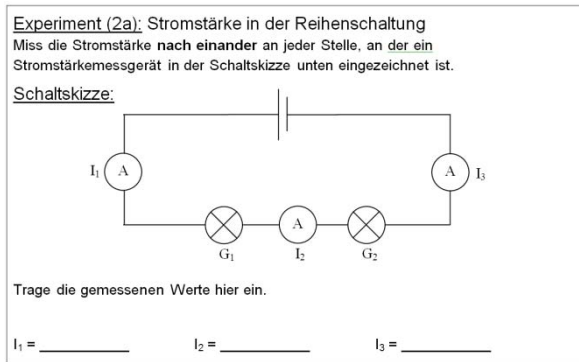


Abb. 3: Beispiel für Anleitung

Vor der Intervention wurden allgemeine Daten der Schülerinnen und Schüler erhoben. Weiter wurde ein Fachwissenstest in einem Pre-Post-Design eingesetzt. Die Aufgaben des Fachwissenstests stammen aus dem „Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test“ von Engelhardt und Beichner (2004). Sie wurden übersetzt und teilweise abgeändert. Alle Aufgaben sind im Multiple-Choice-Format und haben 3 bis 5 Antwortmöglichkeiten. Insgesamt besteht der Fachwissenstest aus 11 Items mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad zu drei Aufgabentypen:

- Welche Glühlampe leuchtet am hellsten?
- Sortiere die Spannungen!
- Sortiere die Stromstärken!

Während der Intervention wurden die Schülerinnen und Schüler zu ihrer Motivation befragt, zum einen direkt vor der eigentlichen Experimentierphase, um ihre aktuelle Motivation (FAM nach Rheinberg, Vollmeyer & Burns, 2001) zu erfassen, und zum anderen nach dem Experimentieren, um ihre intrinsische Motivation (u. a. Flow-Kurzskala nach Rheinberg, Vollmeyer & Engeser, 2003) während der Experimente feststellen zu können.

5. Ergebnisse

Die Auswertung der Pre-Erhebung der Leistung zeigte, dass die Schülerinnen und Schüler über ein vergleichbares Wissen im Bereich der Reihen- und Parallelschaltung von Glühlampen verfügten. Es gab keine signifikanten Unterschiede der Mittelwerte zwischen den Schülerinnen und Schülern, die auf die Treatments verteilt worden waren. Von den elf zu erreichenden Punkten im Test wurden im Mittel 4,65 Punkte erreicht.

Als Nächstes wurde die Lernwirksamkeit der Experimentiersituation ohne Einbeziehung weiterer Variablen überprüft. Dazu wurden die erzielten Punkte der Probanden im Pre- und Posttest miteinander verglichen. Beim Pre-Post-Vergleich der gesamten Stichprobe zeigte der dazu durchgeführte T-Test einen signifikanten Lernzuwachs mit einer großen Effektstärke.

Anschließend wurde der Lernzuwachs in den verschiedenen Gruppierungen untersucht. Die Analyse zeigte, dass sowohl die O- als auch die G-Gruppen einen signifikanten Lernzuwachs erlangten. Die Unterteilung in „reales Material“ und „virtuelles Material“ wies ebenfalls signifikante Unterschiede im Pre-Post-Vergleich auf. Lediglich bei der getrennten Betrachtung der vier Treatments konnte in einem Fall keine Lernwirksamkeit nachgewiesen werden: Für das Treatment „VG“ ergab sich kein signifikantes Ergebnis.

	Sign. Lernzuwachs
Gesamte Stichprobe	✓ (p < 0,001; d = 0.79)
offene Exp.	✓ (p < 0,001; d = 1.02)
gelenkte Exp.	✓ (p < 0,001; d = 0.60)
reales Material	✓ (p < 0,001; d = 0.58)
virtuelles Material	✓ (p < 0,001; d = 1.04)
real-offen	✓ (p < 0,001; d = 0,93)
virtuell-offen	✓ (p < 0,001; d = 1,11)
real-gelenkt	✗ (p = 0,11)
virtuell-gelenkt	✓ (p < 0,001; d = 0,95)

Abb. 4: Signifikanzniveau und Effektstärke aller Teilgruppen

Die Boxplots in Abb. 5 stellen die Verteilung der erreichten Punkte im Pre- und Posttest der vier Treatments dar. Es deutet sich hier schon an, dass die offenen Gruppen mehr dazugelernt haben, als die gelenkten.

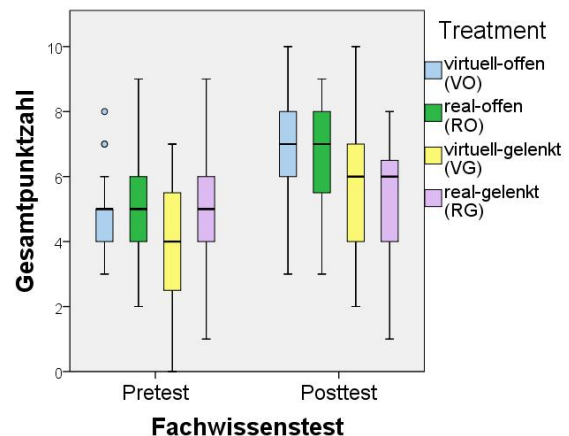


Abb. 5: Boxplots zur Punkteverteilung des Fachwissenstest in den vier Treatments

Um feststellen zu können, ob eine Gruppe einen signifikant höheren Wissenszuwachs im Vergleich zu den anderen zu verzeichnen hat, gibt es zwei Vorgehensweisen. Eine Möglichkeit wären Mittelwertsvergleiche der Posterhebung, da der Pretest -

wie bereits erwähnt - keine signifikanten Unterschiede zwischen den Treatments zeigte. Um trotzdem eine Beeinflussung auszuschließen, wurde für weitere statistische Verfahren der residuale Lerngewinn herangezogen. Die einfaktorielle ANOVA ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Treatments ($p < 0,05$; $\eta^2 = 0,11$). Bei der Betrachtung der Mehrfachvergleiche zeigte sich, dass dieser Unterschied lediglich zwischen den Treatments VO und RG besteht. Die Treatmentgruppe VO hat beim Vergleich des residualen Lerngewinns den höchsten Wert erreicht. Weitere Gruppenvergleiche des residualen Lernerfolgs ergaben einen signifikant größeren Wert bei den O-Gruppen als bei den G-Gruppen mit einem mittleren bis großen Effekt ($p < 0,01$; $g = 0,59$).

Wie erwartet zeigten weitere Analysen, dass gerade die guten Schüler eher von den offenen Experimentiersituationen profitieren. Dieser Vergleich erfolgte über die erbrachte Leistung im Pretest. Dazu wurden drei Gruppen gebildet und in „gute“, „mittlere“ und „schwache“ Schülerinnen und Schüler unterteilt. Diese Unterteilung erfüllte nicht mehr die Bedingungen für einen Mittelwertvergleich über eine ANOVA, so dass hier nichtparametrische Verfahren angewendet wurden, um die Ergebnisse des Posttest zu vergleichen. Das Ergebnis zeigte, dass nur bei den „guten“ Schülerinnen und Schülern ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$; $\phi = 0,41$) zwischen der offenen und der gelenkten Experimentiersituation besteht. Interessanterweise ergab der Vergleich von realen und virtuellen Gruppen ein signifikant besseres Ergebnis im Posttest ($p < 0,05$; $\phi = 0,38$) bei den „mittleren“ Schülerinnen und Schülern der virtuellen Treatments. Über alle Probanden hinweg hat jedoch das Experimentiermaterial offensichtlich keinen Einfluss auf den Lernerfolg, da sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den R- und V-Gruppen zeigten.

Schülergruppen	Sign. Unterschiede zwischen	
	offen/gelenkt	real/virtuell
alle	✓	✗
„gute“	✓	✗
„mittlere“	✗	✓
„schlechte“	✗	✗

Abb. 6: Übersicht über signifikante Unterschiede zwischen offenen und gelenkten Gruppen sowie realem und virtuellem Material

Des Weiteren wurde die Motivation in den einzelnen Treatments betrachtet, dabei konnte festgestellt werden, dass die aktuelle Motivation vor der Experimentierphase keine signifikanten Unterschiede zwischen den Treatments aufwies. Der Mittelwert und die Streuung waren in allen vier Treatments nahezu identisch. Bei der intrinsischen Motivation

dagegen deuten sich Unterschiede an. Die höchste Motivation zeigte sich bei den Schülerinnen und Schülern des Treatments „RO“, wie das folgende Diagramm zeigt.

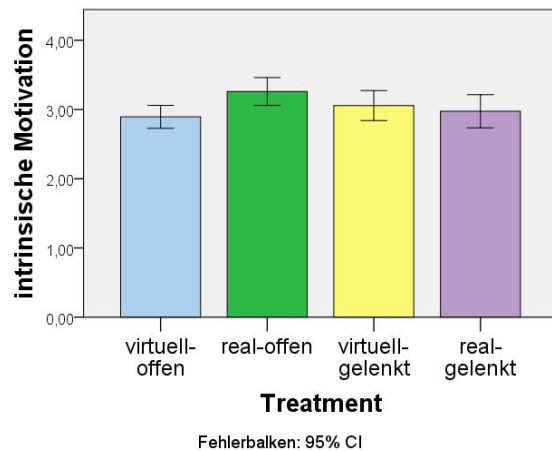


Abb. 7: Fehlerbalkendiagramm intrinsischer Motivation

Vor allem beim Flow-Erleben zeigte sich, auch wenn nur mit einem kleinen Effekt, ein signifikant höherer Wert bei der Treatmentgruppe RO im Vergleich zum Treatment VO ($p < 0,05$; $\eta^2 = 0,08$).

Die Auswertung der weiteren Skalen, die bereits vor der Intervention eingesetzt wurden, ergab keine Unterschiede zwischen den Treatments und auch keine Unterschiede bei anderen Gruppenvergleichen. Das zeigt, dass die Gruppen bezüglich dieser Variablen homogen sind. Es konnten aber vorläufig mehrere Korrelationen zwischen den erhobenen Variablen festgestellt werden, so dass weitere statistische Berechnungen noch anstehen.

6. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass wie erwartet offene Experimentiersituationen zu einem höheren Lernerfolg führen. Somit lässt sich die Hypothese H1.1 bestätigen. Dagegen zeigte sich, dass im Treatment RG kein signifikanter Lernerfolg festzustellen war. Die Vermutung liegt nahe, dass die Schülerinnen und Schüler zu sehr damit beschäftigt waren, die Schaltungen richtig aufzubauen und die Messgeräte korrekt anzuschließen. Zusätzlich hatten sie damit zu kämpfen, die Schaltskizzen in der Anleitung richtig zu interpretieren. Diese Hürde bestand in der Gruppe VG nicht, da sie in der Simulation nur die Schaltskizzen nachzeichnen mussten, um die Messungen durchführen zu können. Im Fachwissenstest wurden ebenfalls nur Schaltskizzen verwendet. Es ist daher anzunehmen, dass den Schülerinnen und Schülern der R-Gruppen der Übertrag von den real aufgebauten Schaltungen zu den Schaltskizzen zusätzliche Schwierigkeiten bereitet.

Wie in Hypothese H1.2 erwartet, haben die leistungsstärkeren Schülerinnen und Schüler einen höheren Lernzuwachs erzielen können. Auch die Hypothese H2.1 konnte bestätigt werden, da sich keine

signifikanten Unterschiede im Lernerfolg zwischen den Gruppen mit realen und virtuellen Materialien zeigten.

Im Hinblick auf die Motivation konnten sich die Vermutungen bislang nicht bestätigen lassen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich nach dieser Vorstudie ein Zusammenhang zwischen der Gestaltung des Lernarrangements und dem Lernzuwachs ergibt. Diese Fragestellung kann also im Rahmen der zweiten Pilotierung und der Hauptstudie weiter verfolgt werden. Dabei wird die Randomisierung noch verbessert werden, in dem zwei Klassen vermischt und anschließend zufallsbestimmt auf die vier Treatments verteilt werden sollen. Des Weiteren werden die Anleitungen für die gelenkten Gruppen dem virtuellen und realen Material angepasst, so dass die Schülerinnen und Schüler je nach Material entweder Schaltskizzen oder real gezeichnete Schaltungen bekommen. Auch die Aufgaben im Fachwissenstest werden auf beide Arten (Schematische Zeichnung und reale Zeichnung) realisiert. Schließlich wird noch die Unterrichtssequenz um eine weitere ergänzt.

7. Literatur

- [1] Ausubel, D.; Novak, J.D., & Hanesian, H. (1981): Psychologische und pädagogische Grenzen des entdeckenden Lernens. In: Neber, H.: Entdeckendes lernen. Weinheim: Beltz
- [2] Engelhardt, P.V. & Beichner, R.J.: Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *Am. J. Phys.* 72, January 2004, 98-115
- [3] Hmelo-Silver, C.E.; Duncan, R.G. & Chinn, C.A. (2007): Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107
- [4] Hof, Sandra (2011): Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch Forschendes Lernen. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie. Kassel: kassel university press
- [5] Kirschner, P.A.; Sweller, J. & Clark, R.E. (2006): Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experimental, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86
- [6] Klahr, David & Dunbar, Kevin (1988): Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science* 12 (1), 1-48
- [7] Klahr, David (2002): Exploring science. The Cognition and Development of Discovery Processes. Cambridge: MIT Press
- [8] Mayer, Jürgen; Ziemek, Hans-Peter (2006): Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie* 317, 4-13
- [9] Rheinberg, Falko (1999): Motivation und Emotionen im Lernprozeß. Aktuelle Befunde und Forschungsperspektiven. In: Matthias Jerusalem und Reinhard Pekrun (Hg.): Emotion, Motivation und Leistung. Göttingen: Hogrefe Verl. für Psychologie, 189-204
- [10] Rheinberg, Falko; Vollmeyer, Regina; Burns, Bruce D. (2001): FAM. Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. Universität Potsdam, Michigan State University, USA
- [11] Rheinberg, Falko; Vollmeyer, Regina; Engeser, Stefan (2003): Die Erfassung des Flow-Erlebens. In: Stiensmeier-Pelster, Joachim; Rheinberg, Falko: Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept. Göttingen: Hogrefe Verl. für Psychologie, 261-279
- [12] Tesch, Maike & Duit, Reinders (2004): Experimentieren im Physikunterricht. Ergebnisse einer Videostudie. *ZfDN* 10, 51-69
- [13] Urhahne, Detlef; Prenzel, Manfred; Davier, Matthias von; Senkbeil, Martin; Bleschke, Michael (2000): Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht. Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *ZfDN* 6, 157-186
- [14] Vollmeyer, Regina & Burns, Bruce D. (1996): Hypotheseninstruktion und Zielspezifität. Bedingungen, die das Erlernen und Kontrollieren eines komplexen Systems beeinflussen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie* 43 (4), 657-683
- [15] Walpuski, Maik & Sumfleth, Elke (2007): Strukturierungshilfen und Feedback zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht. *ZfDN* 13, 181-198