

Praxis durch Praxis

– Das Braunschweiger Experimentierseminar für Lehramtsstudierende –

Thomas Dammaschke*, Alexander Strahl*

*TU Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften IFdN, Abt. Physik und Physikdidaktik,
Pockelsstraße 11, 38106 Braunschweig; <http://www.tu-braunschweig.de/ifdn/physik>
t.dammaschke@tu-bs.de, a.strahl@tu-bs.de

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird das an der TU Braunschweig erfolgreich erprobte und evaluierte Konzept eines Experimentierseminars für Lehramtsstudierende vorgestellt.

Die Besonderheit am Braunschweiger Experimentierseminar ist die dahinterliegende Idee: (erstmalig 2002 von Susanne Metzger [1] und [2] gestartet) Es sollen nicht, wie in Experimentierpraktika sonst oft üblich, rezeptartig detaillierte Versuchsanleitungen abgearbeitet, sondern – eine in der Schule wichtige Kompetenz – selbständiges Experimentieren erlernt und geschult werden. Hierfür müssen die Studierenden ihre Versuche an Themengebieten orientiert autonom konzipieren, zusammenstellen, durchführen, vorstellen und beschreiben.

Je nach Auftrag können das Vorgabe-, Demonstrations- oder Freihand- bzw. Schülerversuche sein. Ziel ist es, dass die Studierenden in Anlehnung an ihren späteren Berufsalltag selbständig und eigenverantwortlich Versuche zu vorgegebenen physikalischen Inhalten zusammenstellen und ausprobieren. Zuvor müssen sie ein fachliches und fachdidaktisches Kolloquium zu den einzelnen Themen absolvieren. In einer anschließenden Präsentations Sitzung – jeweils im zweiwöchigen Turnus – werden die Versuche im Plenum vorgestellt. Dabei werden auch Erfahrungen mit der Durchführung erläutert, schulische, didaktische und methodische Bezüge hergestellt sowie eine Selbst- und Fremdreflexion der Präsentationskompetenzen vorgenommen. Eine schriftliche Ausarbeitung schließt einen Versuchsdurchgang ab.

1. Ausgangssituation

Experimente, genauer Schülerexperimente, so weiß man seit längerem, haben nicht immer die Wirkung auf Schülerinnen und Schüler, die man sich erhofft¹ und werden von Lehrenden auch nicht allzu häufig im Unterricht eingesetzt (vgl. z. B. [3]-[7]). Dennoch ist das Experimentieren – mit Recht – ein elementarer Bestandteil der Naturwissenschaft Physik und auch ein wesentliches Element in allen Curricula für Physik der allgemeinbildenden Schulen (vgl. exemplarisch: [8], [9]).

Die Gründe für die relativ geringe Wirkung sind vielfältig. Doch eine mögliche Ursache ist sicherlich schlicht fehlende Erfahrung beim Experimentieren vor allem von Lehramtsanfängern. Eine andere und gewichtigere Erklärung liegt in der nicht immer aus-

reichend funktionalen bzw. (lern-) zielgerichteten Vorbereitung von Experimenten im Unterricht. So erreichen z. B. Schülerversuche nur selten ihr Ziel, wenn sie um ihrer selbst willen, also ohne gründliche didaktische Vorüberlegungen, im Unterricht eingesetzt werden [6, S. 4].

Da diese Ursachen natürlich auch Lösungsmöglichkeiten aufzeigen, ist es nur folgerichtig, dass auch der experimentellen Ausbildung von Lehramtsstudierenden ein erhöhter Stellenwert beigemessen werden muss.

Aus aktueller neurowissenschaftlicher und lernpsychologischer Sicht gibt es diverse Punkte, die das Lernen fördern [10, S.23ff], [11, S. 60], [12, S. 138ff], [13, S.37], [14, S. 166ff] aber ebenso verhindern können [10, S. 29]. Zum Beispiel soll auf eine emotional-positive Lernumgebung geachtet werden, da nur so Gelerntes über den Hippocampus verarbeitet werden kann [10, S. 28], [11, S. 58]. Ebenso ist die Selbstbestimmtheit ein viel gefordertes, aber nur selten umgesetztes Ziel [15, S. 91] [16, S. 225]. Dabei ist ein wichtiger Faktor, dass die Studierenden Spaß am Lernen haben sollten [15, S. 88,94]. Es wurde versucht, die von der Naturwissenschaft und Lernpsychologie genannten Punkte sowohl in die

¹ Erhoffte Wirkungen nach Hopf [6] sind z. B.: Verbindung von Theorie und Praxis; Erlernen experimenteller Fähigkeiten; Kennenlernen der Methoden naturwissenschaftlicher Denkweise; Erhöhung der Motivation; Weiterentwicklung persönlicher und sozialer Kompetenzen wie selbständiges Lernen, kooperatives Arbeiten, analytisches Vorgehen, kreatives Denken u.a.m. Tatsächlich fallen „die Wissenszuwächse durch eigenständiges Experimentieren relativ gering“ aus [6, S.3]. Mithin gibt es nach Merzyn [5] offenbar keinen Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Unterrichtsexperimenten und einer Erhöhung des Lernerfolgs.

fachliches Standard-Experimentierpraktikum	Braunschweiger Experimentierseminar
<ul style="list-style-type: none"> • rezeptartiges Abarbeiten von detaillierten Experimentieranleitungen • kaum didaktische Ausrichtung • Beschränkung der experimentellen Tätigkeiten auf das Justieren fest aufgebauter Versuche • viele Experimente höherer Komplexität • selten schulische Standardversuche • kaum Ausrichtung auf Demonstrations- und Präsentationsfähigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • zum großen Teil offene Versuchsanweisungen • didaktische Ausrichtung der Versuche • Selbstständigkeit der Studierenden von der Auswahl bis zur Dokumentation der Versuche • sowohl komplexe als auch einfache Versuche • auch Standardversuche • Betonung von Präsentationsfähigkeiten

Tab. 1: Gegenüberstellung von fachlichem Standardexperimentierpraktikum und Braunschweiger Experimentierseminar für Lehramtsstudierende

Konzeptgestaltung des Experimentierseminars einzuarbeiten, als sie auch in dessen Ausführung aktiv zu berücksichtigen.

2. Grundpraktika für Studierende der Physik

Oft müssen Studierende des Physik-Lehramts (v. a. im Gymnasialbereich) an deutschen Universitäten die gleichen Praktika absolvieren wie die Physik-Fachstudierenden. Diese Anfänger- oder Grundpraktika werden oft ohne didaktische Ausrichtung und ohne Betonung der Präsentationskompetenzen der Studierenden vorwiegend an komplexeren Versuchsanordnungen, also explizit nicht an (schulischen) Standardversuchen durchgeführt, was für das Fachstudium auch seine Berechtigung besitzt. Gerade aber das praxisnahe Üben des Aufbaus und der Präsentation von Standardversuchen sollte den Lehramtsanwärtern und -anwärterinnen die nötige Sicherheit respektive Selbstwirksamkeit geben, im späteren Unterricht Versuche gezielt und ohne Scheu (häufiger)² einzusetzen und aus dieser Sicherheit heraus auch Variationen zu Grundversuchen vorzunehmen. Erfahrungen von Lehrern, Fachleitern und Referendaren/Lehramtsanwärtern zeigen, dass die vermeintlich bekannten Standardversuche vor dem eigentlichen Schuldienst selten bis nie durchgeführt wurden, sofern an den betreffenden Universitäten keine zusätzlichen Lehramtspraktika obligatorisch sind.

Die für Lehramtsstudierende abzuleistenden Experimentier-Praktika sind zudem oft bis ins Detail vorgegeben und werden 'nur' kochrezeptartig abgearbeitet (z. B. beschränkt sich das Experimentieren in vielen Grundpraktika 'nur' aufs Justieren fest vorgebauter Versuchsanordnungen). Eine enge Handlungsführung widerspricht jedoch allgemein den zu erwerbenden Experimentierkompetenzen (vgl. z. B. [6] und [7]), was sich bei Lehramtsstudierenden letztendlich auch auf deren Umsetzung von Versuchen in der Schule, mithin also auf Schülerinnen und Schüler, auswirkt. Darüber hinaus sehen

sich die angehenden Lehrer und Lehrerinnen, die nie das selbständige Zusammensuchen von Experimentiermaterial geübt haben, beim Kennenlernen einer konkreten schulischen Physiksammlung nicht selten einem Realitätsschock ausgesetzt.

3. Ziele

Das eigens für Lehramtsstudierende aller Schulformen eingerichtete Experimentierseminar der Abteilung Physik und Physikdidaktik des Instituts für Fachdidaktik der Naturwissenschaften (IFdN) der TU Braunschweig setzt hier an und versucht den oben erläuterten Nachteilen eines rein fachlichen Physikpraktikums entgegenzutreten, indem es den Handlungskompetenzen einen größeren Spielraum eingesteht, um so das häufig in der Lehramtsausbildung zu beobachtende Defizit in der Experimentierpraxis auszugleichen (Tab. 1). Das erste Mal wurde dieses Konzept im Wintersemester 2002/2003 von Susanne Metzger eingeführt [1] und [2].

4. Ablauf

In einer Vorbesprechung werden der Ablauf und die Bedingungen zur Teilnahme geklärt, das erste Arbeits- bzw. Themenblatt ausgegeben und eine Sicherheitsbelehrung durchgeführt, die schriftlich bestätigt werden muss.

Insgesamt müssen in dem zweisemestrigen Experimentierseminar zu allen in der Grundvorlesung behandelten Themenbereichen (Mechanik und Optik im WiSe und Wärme- und Elektrizitätslehre im SoSe) jeweils drei Versuchsblöcke mit unterschiedlichen Schwerpunkten erdacht, zusammengestellt, aufgebaut, durchgeführt, variiert und ausgewertet, präsentiert und beschrieben werden. Die Studierenden arbeiten dabei in der Regel in Zweiergruppen. Der Bezug auf die Grundvorlesungen soll sicherstellen, dass die Studierenden zu Beginn des Seminars über ausreichende Grundkenntnisse der Experimentalphysik verfügen.

Es hat sich herausgestellt, dass es besser ist, allen Gruppen die gleichen Themengebiete und unterschiedliche Versuchsarten zu geben. Alle bereiten sich so fachlich auf denselben Stoff vor, Konzentra-

² Zum Beispiel setzen nach Merzyn [5] nur 10 % der Gymnasiallehrer und -lehrerinnen Schülerversuche im Unterricht ein.

tion und Verständnis werden verbessert und bilden die Grundlage für die Fremdreflexion der anderen Gruppen.

Die Arbeitsanweisungen umfassen im Wechsel drei Versuchsarten.

5. Versuchsarten

A) Vorgabeversuche: Diese sind oft Standardversuche zu bestimmten Themen, zu denen, im Unterschied zu den beiden anderen Versuchsarten (B und C), genauere Anweisungen gegeben werden. Allerdings sind auch diese Versuche nicht aufgebaut, die Studierenden müssen sich ihr Equipment selbst zusammensuchen, ausprobieren, aufbauen, durchführen, auswerten, präsentieren und beschreiben. Versuche dieser Art sind meist mit einer mehr oder weniger umfangreichen Auswertung verbunden, in der explizit eine Fehlerbetrachtung gefordert wird.

B) Demonstrationsversuche umfassen z. B. etwas umfangreichere Versuche, an denen im Unterricht bestimmte grundlegende Phänomene qualitativ oder quantitativ demonstriert werden können. Diese Versuche können sowohl phänomenologisch sein, im Sinne eines Einstiegs in ein schulisches Thema oder auch elaborativ, um beispielsweise induktiv zu einer physikalischen Gesetzmäßigkeit zu gelangen.

Bei den Vorgabe- und Demonstrationsversuchen wird besonderer Wert auf bestimmte experimentierdidaktische Aspekte gelegt, z. B. die gute Sichtbarkeit des Aufbaus, Beschilderungen der verwendeten Geräte (oder aus methodischen Gründen eben gerade nicht), Sicherheitshinweise (z. B. beim Laser), andere organisatorische Notwendigkeiten wie eine verkürzte Anzahl von Messungen u.a.

C) Freihandversuche: Diese Versuchsart dient in erster Linie dazu, mit einfachen und schnellen Low-Cost-Mitteln (idealerweise aus dem Haushalt) geeignete motivierende Schülerversuche durchzuführen. Sie eignen sich aber auch, um die zukünftige Lehrkraft dahingehend zu trainieren, flexibel auf Unterrichtsgeschehen und -entwicklungen zu reagieren.

Zu berücksichtigende didaktische Aspekte könnten hier u.a. sein, verständliche und nachvollziehbare Aufbauanweisungen zu verfassen (sowohl von Lehrer- als auch von Schülerseite).

Alternativ können die Studierenden in diesem Zusammenhang auch *Lernzirkel zum Stationenlernen* entwerfen und die Formulierung von Arbeitsanweisungen üben.

6. Arbeitsschritte

Beispiel eines Themenblattes:

Mechanik I: Schwerpunkt und Gleichgewicht, einfache Maschinen, Impuls- und Energieerhaltung

Voraussetzungen: Definition des Schwerpunkts, stabiles, labiles und indifferentes Gleichgewicht; Hebelgesetze, Drehmoment, Flaschenzug, newtonsche

Axiome; Impulserhaltung; Energieerhaltung; (de)zentraler (un)elastischer Stoß

Versuchsdurchführung: Entwickeln Sie geeignete Freihandversuche zum Selbermachen für Schüler und Schülerinnen zu obigen Themen oder alternativ einen Lernzirkel.

Daraus ergeben sich die folgenden Arbeitsschritte, die die Studierenden nun allein bzw. paarweise zum jeweiligen Thema durchführen müssen:

Die Studierenden müssen ...

(1) ... die nötige Theorie aus einschlägigen Lehrbüchern erarbeiten und in einem Kolloquium wiedergeben.

Das Kolloquium, aus dem sich die erste Teilzensur ergibt, steht immer am Beginn einer neuen Versuchserarbeitung.



Abb. 1: Eine Dreiergruppe beim Kolloquium durch eine studentische Hilfskraft.

(2) ... passende Versuche eruiieren bzw. ausdenken, das nötige Material zusammensuchen, aufbauen, ggf. modifizieren, durchführen und auswerten.

Die Studierenden konstruieren sich ihre Versuche selbst – das ist der Kernpunkt des Experimentierseminars: Praxis durch Praxis!



Abb. 2: Zwei Studentinnen beim Experimentieren mit einem Prisma.

Dabei ist es strukturell unerheblich, ob die Versuche neu entwickelt oder „nur“ nachgebaut werden, denn

die Erfahrungen der Studierenden stehen im Vordergrund.

(3) ... die ausgearbeiteten Versuche im Plenum präsentieren.

Die Präsentationskompetenz wird erhöht. Dabei können/sollen auch schon Möglichkeiten einer schulischen Präsentation ins Auge gefasst werden. Das heißt, dass sich die Studierenden Gedanken darüber machen, wann, in welchem Zusammenhang, in welcher Klassenstufe und unter welchen Bedingungen diese Versuche im Unterricht eingesetzt werden könnten. Arbeitsanweisungen, Arbeitsblätter, Präsentationsfolien, Versuchsanordnungen für das Plenum (bei den Freihandversuchen), können – müssen aber nicht – die Präsentation ergänzen.

Die Durchführung der Versuche wird vom Lehrenden mit einer zweiten Zensur versehen. Die Durchführungsnote ist relativ intuitiv, da hier sowohl Auswahl und Ausarbeitung der Versuche, Selbständigkeit, Exaktheit, Fleiß, Ordentlichkeit, Durchführung usw. einfließen. Die Durchführungsnote ist aber klar von der Präsentationsnote getrennt.

(4) ... nach der Präsentation eine Selbst- bzw. Fremdreiflexion vornehmen.

Zunächst beschreibt die Präsentationsgruppe ihre Eindrücke, dann die Plenumsgruppe. Die Selbst- und Fremdbeobachtungskompetenz von unterrichtlichen Geschehnissen (ohne dass die Präsentation schon Unterricht wäre) wird erhöht. Formen der konstruktiven Kritik im Sinne von Feedbackregeln werden geübt. Um das eigene Selbstkonzept der Studierenden zu stärken, stehen positive Aspekte stets am Anfang der Besprechung, vor allem auch deshalb, weil die Erfahrung zeigt, dass zu oft defizitär gedacht oder gehandelt wird: 'Was kann ich noch nicht?', statt 'Was habe ich bereits erreicht?' (vgl. dazu [17] z. B. Kap. 3.3: Die positive Verstärkung). Der Umgang mit Schülerinnen und Schülern wird auf diese Weise quasi 'am eigenen Leib' vorbereitet. Dieses Vorgehen muss selbstverständlich den Studierenden transparent gemacht werden. Auf diese Weise kann sich auch eine Metakommunikation über die Lehrmethodik entwickeln.



Abb. 3: Präsentation von Versuchen zur Wasserwellenwanne.

Insgesamt unterliegt das ganze Konzept der Überlegung, dass nahezu alle studentischen Tätigkeiten, sofern schulähnlich, im Hinblick auf die spätere Praxis vorbereitend sein können (Praxis durch Praxis). Dabei nehmen die Studierenden nacheinander die Perspektive der zukünftigen Lehrer als auch die der Lernenden ein.

Zum Schluss der Reflexionsphase können noch ggf. Ergänzungen des Dozenten/der Dozentin folgen. Die Präsentation der jeweiligen Versuche wird mit einer dritten Zensur bewertet.

(5) ... eine Woche später ein ausgearbeitetes Versuchsprotokoll samt Reflexion und Unterrichtsbezug abgeben.

Innerhalb einer Woche wird der Versuchsablauf, die Durchführung und die Präsentation überdacht und schriftlich fixiert. Dabei sind auch potentielle Schwierigkeiten bei der Versuchsdurchführung oder bei der Umsetzung bis hin zu Fehlerdiskussionen erwähnenswert. Die Ausarbeitungen können nach Durchsicht bzw. unter Vorbehalt der inhaltlichen Richtigkeit allen Teilnehmern des Seminars zur Verfügung gestellt werden und so als eine Art Experimente-Grundfundus für spätere Zeiten dienen. Auf diese schriftliche Ausarbeitung, die die jeweiligen Teams gemeinsam erstellen und abgeben, wird die letzte und vierte Teilzensur eines Durchganges eine Woche später mit Kommentierung des Lehrenden gegeben. Gerade die konstruktive unmittelbare Kommentierung der jeweiligen Teilleistungen erweist sich als sinnvoll, können doch so Lernerfolge zum anderen Durchgang direkt erfasst werden.



Abb. 4: Selbstreflexion nach einer Präsentationsphase

7. Zusammenfassung

Jeweils zwei Wochen stehen also für einen Versuchsteil den Gruppen zur Verfügung – Kolloquium und Aufbau in der ersten, Durchführung und Präsentation in der zweiten. Dazwischen benötigen Studierende oft noch Zeit, um die Versuche auszuprobieren. Dazu stehen ihnen die Räumlichkeiten der Abteilung sowie die Physiksammlung zur Verfügung. Darüber hinaus unterstützt sie meistens ein Mitarbeiter der Abteilung oder eine studentische Hilfskraft. Im Verlaufe eines Semesters werden so zu jeweils

zwei physikalischen Teilgebieten mit unterschiedlichen Schwerpunkten jeweils drei Versuchskluster bearbeitet, die wiederum mehrere Versuche umfassen können (vor allem bei Freihandversuchen).

Die Gesamtzensur ergibt sich aus dem Mittelwert der jeweiligen insgesamt 24 Teilzensuren (vier für jeden der sechs Versuchskluster). Diese Aufspaltung hat den Vorteil, dass einerseits bestimmte Teilleistungen unmittelbar bewertet werden, was für den Lernfortschritt sehr wichtig ist, sie aber auch mal einen 'schlechten Tag' verzeihen, was die Studierenden nicht unter einen so starken Erfolgsdruck zwingt, wie z. B. eine Klausur. Quasi ganz nebenbei wird so auch nachhaltiger gelernt.

Man ahnt, dass dieses Vorgehen einen recht hohen Aufwand für die Studierenden bedeutet, aber auch die Physikdidaktik muss ihre Ressourcen in Form von Zugang zur Physiksammlung und zu den Räumlichkeiten zur Verfügung stellen können. Bedenkt man jedoch, dass für andere Physikpraktika Räume permanent blockiert sind und stets mehrere studentische Hilfskräfte eingestellt werden müssen. Die Evaluation zeigt, dass es sich lohnt.

8. Evaluation

Im Rahmen der Qualitätssicherung der Lehre an Hochschulen wurde an der TU Braunschweig wie an vielen anderen Universitäten das webbasierte Testinstrument EvaSys [18] für Lehrveranstaltungen aller Art eingeführt. Auf diese Auswertung beziehen sich die folgenden Ausführungen, die eine kleine Auswahl der standardmäßig gestellten Fragen des EvaSys-Fragebogens umfassen.

Exemplarisch wird im Folgenden die Auswertung des Wintersemesters 2009/2010 vorgestellt. Mittelwert (MW) und Teilnehmeranzahl (n) sind angegeben. Die Bewertungen anderer Semester sind ähnlich. Die einzelnen Evaluationen sind vollständig online zu erhalten:

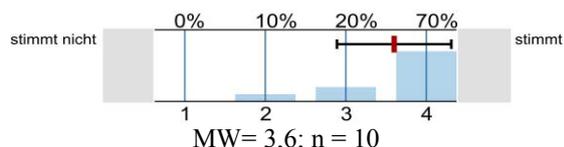
[WiSe 2010/11: strahl_WS_09_10-exsem_I.pdf](#)

[SoSe 2010: strahl_SS_10-exsem_II.pdf](#)

[WiSe 2010/11: strahl_WS_10_11-exsem_I.pdf](#)

Zunächst wurde nach einigen grundlegenden Einstellungen gefragt (die Fragennummerierung und die Grafiken entsprechen dem EvaSys-Original).

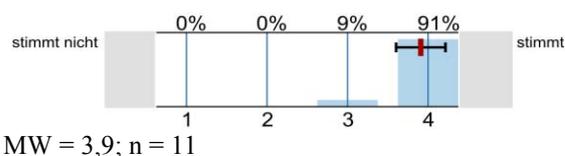
2.3) Die Art, wie die Veranstaltung gestaltet ist, trägt zum Verständnis des Stoffes bei.



2.4) Die Veranstaltung ist vermutlich für die spätere Berufspraxis sehr nützlich.

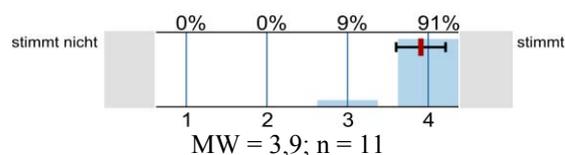


2.16) Unabhängig von der Art der Vermittlung finde ich das Thema der Veranstaltung interessant.

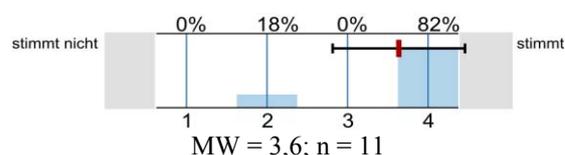


Dieses Interesse spiegelt sich in einer recht hohen Motivation wider, wie man an den folgenden Ergebnissen zur Vor- und Nachbereitung sieht.

2.20) Ich bereite mich auf die Veranstaltung vor (z. B. durch Lesen der Literatur).

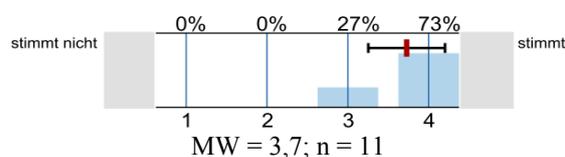


2.21) Ich bereite die Veranstaltung nach.



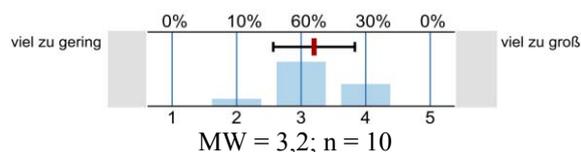
Aus diesen Ergebnissen ergibt sich allerdings auch ein erhöhter Arbeitsaufwand.

2.22) Mein Arbeitsaufwand für die Veranstaltung ist verglichen mit anderen Veranstaltungen hoch.



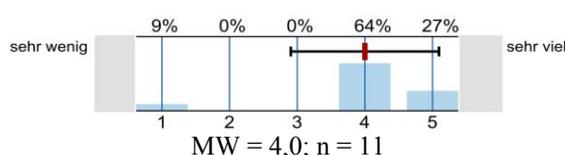
Stoffumfang und Tempo der Veranstaltung halten die Studierenden dagegen eher für akzeptabel, bzw. für nur leicht zu hoch, bedenkt man die fünfstufige Antwortskala, bei der die Drei die Mitte darstellt. Das ist überraschend, weil der Arbeitsaufwand viel höher als bei den meisten Veranstaltungen ist. Es scheint aber, dass dies nicht so wahrgenommen wird.

2.25) Der Stoffumfang der Veranstaltung ist:

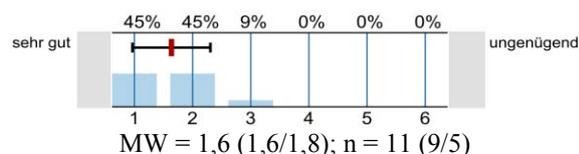


Insgesamt attestieren die Studierenden dem Seminar einen hohen persönlichen Lernerfolg und vergeben ihm eine recht gute Gesamtzensur.

2.23) Ich habe in der Veranstaltung gelernt.



2.27) Welche „Schulnote“ (1-6) würden Sie der Veranstaltung insgesamt geben?



In Klammern stehen die Ergebnisse des unmittelbar vorausgehenden und nachfolgenden Semesters.

Die Ergebnisse dieser persönlichen Einschätzungen der Studierenden sind recht ermutigend, sodass das Experimentierseminar in jedem Fall weitergeführt werden wird.

9. Ausblick

Kritische Töne gab es insofern, als einige Studierende fordern, die Transparenz bei der Benotung und der Kommentierung der Präsentationsreflexion zu erhöhen. Möglich wäre auch ein Kriterienkatalog, der die erwarteten Leistungen systematisiert. Dieser jedoch würde vermutlich zu einer Einschränkung der experimentellen und darstellerischen Freiheiten führen. An weiteren Verbesserungen wird gearbeitet.

Interessant wäre eine Untersuchung darüber, ob dieses Seminar im Vorbereitungsdienst bzw. Referendariat auch zu einer erhöhten Anwendung von Versuchen im Unterricht führt.

Einige Äußerungen der Studierenden zum Schluss:

- ✓ „So sollten Seminare öfter sein.“
- ✓ „gern wieder! eine der wenigen Veranstaltungen die für den Lehrer-Beruf auch wichtig ist.“

10. Literatur

- [1] Metzger, Susanne (2004): Physikalische Experimente für der Schule. In: Höner, Kerstin; Looß, Maike; Müller, Rainer (Hg.): Studienmaterial zu interdisziplinären Aspekten der Naturwissenschaftsdidaktiken. Band 1. Münster: Lit Verlag, 2004.
- [2] Metzger, Susanne (2005): Experimentieren im Physikunterricht – mehr als „Kochrezepte“ abarbeiten. In: Nordmeier, V. & Oberländer, A. (Hrsg.): Beiträge zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der DPG in Berlin 2005. Berlin: Lehmanns Media 2005.
- [3] Hodson, Derek (1990): Practical work in school science. A critical look at practical work in school science. In: The ASE's journal for science education Association for Science Education, 70. Hatfield: Herts, 1990.
- [4] Hodson, Derek (1993): Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work. In: Studies in Science Education, 22. Leeds: Routledge 1993. P. 85-142.
- [5] Merzyn, Gottfried (1994): Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht. Kiel: IPN, 1994.

- [6] Hopf, Martin (2004): Schülerexperimente - Stand der Forschung und Bedeutung für die Praxis. In: Praxis der Naturwissenschaften. Physik in der Schule. 53. Jahrgang, Heft Nr. 6. Freising: Aulis, 2004.
- [7] Hopf, Martin (2007): Problemorientierte Schülerexperimente. Studien zum Physik- und Chemielernen. Band 68. Berlin: Logos 2007.
- [8] Kultusministerkonferenz (2004): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss.
- [9] Niedersächsisches Kultusministerium: Kerncurriculum für das Gymnasium. Physik. Schuljahrgänge 5 - 10. Hannover: Nds. KM 2007.
- [10] Spitzer, Manfred (2006): Medizin für die Schule. In: Ralf Caspary (Hg.): Lernen und Gehirn. Herder spektrum Band 5763 6. Aufl. 2009.
- [11] Roth, Gerhard (2006): Möglichkeiten und Grenzen von Wissensvermittlung und Wissenserwerb. In: Ralf Caspary (Hg.): Lernen und Gehirn. Herder spektrum Band 5763 6. Aufl. 2009.
- [12] Stern, Elsbeth (2006): Wie viel Hirn braucht die Schule? In: Ralf Caspary (Hg.): Lernen und Gehirn. Herder spektrum Band 5763 6. Aufl. 2009.
- [13] Illeris, Knud (2006): Das "Lerndreieck". In: Ekkehard Nussli (Hg.): Vom Lernen zum Lehren. Lern- und Lehrforschung für die Weiterbildung. Bielefeld: Bertelsmann Verlag S. 29-41.
- [14] Schirp, Heinz (2006): Neurowissenschaften und Lernen. In: Ralf Caspary (Hg.): Lernen und Gehirn. Herder spektrum Band 5763 6. Aufl. 2009.
- [15] Hermann, Ulrich (2006): Lernen findet im Gehirn statt. In: Ralf Caspary (Hg.): Lernen und Gehirn. Herder spektrum Band 5763 6. Aufl. 2009.
- [16] Deci, Edward L./Ryan, Richard M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. In: Zeitschrift für Pädagogik, 39. Jahrgang. Weinheim: Beltz 1993. S. 223-238.
- [17] Edelmann, Walter (2000): Lernpsychologie. 6., vollst. überarb. Aufl. Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union 2000.
- [18] Electric Paper. Gesellschaft für Softwarelösungen mbH. EvaSys.
<http://www.electricpaper.de/produkte/evasy-education.html> (02.03.11).

Alle Abbildungen aus dem Experimentierseminar Wintersemester 2010/2011.