

Hypermedia in der Vorbereitung auf das Physikalische Praktikum

Annika Fricke*, Horst Schecker*, Ilja Rückmann⁺

*Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, Abtlg. Physikdidaktik, Universität Bremen, africke@physik.uni-bremen.de, schecker@physik.uni-bremen.de; ⁺Physikalisches Praktikum, Universität Bremen; Otto-Hahn-Allee 1, 28359 Bremen, ir@ifp.uni-bremen.de

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird die Entwicklung und Evaluation von Hypermedia-Skripten beschrieben, welche von Geowissenschafts- und Chemiestudierenden für die Vorbereitung auf das Physikalische Praktikum eingesetzt werden. Ziel dieser Hypermedia-Skripte ist eine stärkere Unterstützung der Nebenfachstudierenden, da gerade diese ein meist geringes Vorwissen aufweisen. Die Hypermedia-Skripte bieten neben den Inhalten des klassischen Vorbereitungsskripts optionale Vertiefungen (z.B. zur Fehlerrechnung) sowie Selbsttestaufgaben. Zu drei Praktikumsversuchen des Bremer Praktikums wurden interaktive Bildschirmexperimente in die Hypermedia-Skripte eingebaut. Sie ermöglichen eine virtuelle Erprobung späterer Handlungen am realen Versuchsaufbau. Untersucht wurde der Ansatz mit Hilfe von Interventions- und Vergleichsgruppen (Hypermedia-Skript/Papier-Skript). Erste Ergebnisse der Evaluation zeigen, dass die Lernumgebung zumindest von einigen Studierenden als wirkliche Unterstützung wahr- und angenommen wurde (insbesondere die interaktiven Bildschirmexperimente). Gleichzeitig zeigt sich eine gewisse Zurückhaltung bei anderen Studierenden hinsichtlich der Nutzung der Materialien. Ein möglicher Grund liegt darin, dass ein Mehrwert des online-basierten Skripts angesichts eines gespürten Mehraufwands bei begrenztem Zeitbudget nicht gesehen bzw. erwartet wird.

1. Einleitung

Die hier vorgestellte Studie ist Teil des Projekts, „eLearning und eManagement in der Physikausbildung (eLaP)“. Das Ziel dieses Projekts ist die Steigerung der Qualität und Lernwirksamkeit des Physikalischen Praktikums für Nebenfachstudierende, insbesondere Geowissenschafts- und Chemiestudierende. Ansatzpunkte sind die Vor- und Nachbereitung der Experimentierphasen im Praktikum. Die Struktur und die Versuche des Bremer Grundpraktikums werden beibehalten. Das Projekt besteht aus zwei Teilstudien. Die erste Teilstudie befasst sich mit der Entwicklung und Evaluation von adressatenbezogenen Hypermedia-Skripten für die Vorbereitung. Die zweite Teilstudie untersucht die Akzeptanz und Wirkung von vorstrukturierter Online-Protokolle [1]. Im Fokus stehen Nebenfachstudierende, da sie sich durch ein meist geringes Vorwissen auszeichnen und somit einen besonderen Unterstützungsbedarf benötigen. In diesem Beitrag wird über die Teilstudie zur hypermedialen Vorbereitung berichtet. Aktuell finden noch weitere Datenaufnahmen statt, so dass die hier angegebenen Ergebnisse als vorläufig anzusehen sind.

2. Multimedia im Praktikum

Hypermediale Lernumgebungen wurden bereits in früheren Projekten im Physikalischen Praktikum in der Nebenfachausbildung eingesetzt. So hat Hüther [2] zwei Lernumgebungen mit gleicher Zielsetzung

für die Physikausbildung von Medizinstudierenden verglichen: ein adressatenspezifisches Praktikum mit Realexperimenten sowie eine darauf basierende hypermediale Lernumgebung [3]. Bei der hypermedialen Lernumgebung wurden die Realexperimente durch Interaktive Bildschirmexperimente (IBEs [4]) ersetzt. Der Vergleich der Lernumgebungen zeigte, dass es im Wesentlichen zum gleichen Lernerfolg sowie zu einer engeren zeitlichen Verknüpfung von Experiment und Theorie kam.

Da für Geowissenschafts- und Chemiestudierende Fähigkeiten der praktischen Durchführung von Experimenten für ihr späteres Berufsfeld notwendig sind, beschränkt sich der Einsatz der IBEs in unserem Ansatz anders als bei Hüther auf die Unterstützung der Vorbereitung auf das Praktikum mit Realexperimenten.

Der Einsatz von IBEs in der Vorbereitung auf das Praktikum wurde bereits von Zastrow [5] untersucht. Bei ihrer Studie lag der Schwerpunkt des Einsatzes der IBEs allerdings auf dem Experimentieren mit Messgeräten (Oszilloskop). Die IBEs, die in unserer Studie zum Einsatz kommen, ermöglichen es dem Studierenden den späteren Realversuch virtuell zu erproben. Unser Ansatz verzichtet auch auf eine gesonderte Vorbereitung des Versuchsaufbaus selbst, wie es in früheren Projekten (Roth, Spohr & Jodl [6]) mit Hilfe von Versuchsaufbau erklärenden Stop-Trick-Animationen gemacht wurde.

3. Forschungsfragen

Anhand des Einsatzes von Hypermedia-Skripten sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Fördern multimedial angebotene Informationen über einen Versuch und vorbereitende virtuelle Handlungsmöglichkeiten die Auseinandersetzung mit dem Versuchsthema?
- Wie bewerten Studierende die Hypermedia-Skripte im Vergleich zu den Papier-Skripten?
- Verkürzt die Nutzung der vorbereitenden Hypermedia-Skripte bei der Durchführung des Realexperiments die Phase des Versuchsaufbaus und werden weniger Fehler bei der Durchführung gemacht?

4. Entwicklung der Hypermedia-Skripte

Zu drei Versuchen des Bremer Praktikums wurden Hypermedia-Skripte entwickelt: „Dünne Linsen und Augenmodell“, „Fraunhoferbeugung und Interferenz“ und „Stirling-Maschine“. Der Aufbau der Hypermedia-Skripte orientierte sich an den folgenden Punkten:

- linearer Hauptstrang: Texte gemäß dem Papier-skript, einschließlich Glossar;
- optionale Vertiefungen: Animationen, Vertiefungen zu Fehlerrechnung, Termumformungen oder einzelnen Versuchselementen, Selbsttestaufgaben mit Feedback, selbst erstellte interaktive Bildschirmexperimente (IBEs).

Die optionalen Vertiefungen sind als Angebot für Nebenfachstudierende konzipiert, um ihr geringeres Vorwissen (im Vergleich zu den Vollfachstudierenden ausgleichen) themenbezogen ausbauen zu kön-

nen.

Zur Erstellung der Hypermedia-Skripte wurde ein Autorentool der Universitäten Düsseldorf, Essen und Wien verwendet (Demo-Zugang: [7]). Die IBEs sind mit den realen Versuchen des Bremer Praktikums erstellt worden und ermöglichen die virtuelle Erprobung der Experimente. Mit Hilfe der eingebauten Selbsttestaufgaben (z.B. zum physikalischen Hintergrund der im Versuch verwendeten Verfahren) wird versucht die Studierenden kognitiv zu aktivieren und ein reines Abarbeiten der Aufgaben zu verhindern.

5. Untersuchungsdesign

Zur Evaluation der Hypermedia-Skripte wurde pro Skript jeweils eine Interventions- und Vergleichsgruppe aus Nebenfachstudierenden gebildet (Hypermedia-Skript/ Papier-Skript). Die Teilnahme an der Studie war freiwillig.

Als qualitative Erhebungsmethoden kamen Videoaufzeichnungen der Durchführung des Realexperiments sowie halbstrukturierte Leitfadeninterviews wenige Tage nach dem Experiment zum Einsatz (s. Abb. 1). Videos wurden nur beim Versuch „Dünne Linsen und Augenmodell“ mitgeschnitten. Die Nutzung der Hypermedia-Skripte wurde anhand von Logfiles registriert. Mit einem Fragebogen wurden folgende Personenmerkmale erhoben: Dauer des schulischen Physikunterrichts, Selbstwirksamkeitserwartungen, Interesse an Physik und Computerkenntnisse/-affinität. Die Studierenden gaben in der schriftlichen Erhebung vor dem Experiment eine Einschätzung ihres verwendeten Skripts und bearbeiteten einen kurzen Fachwissenstest (versuchsspezifisches Wissen).

Nach dem Experiment schätzten die Studierenden

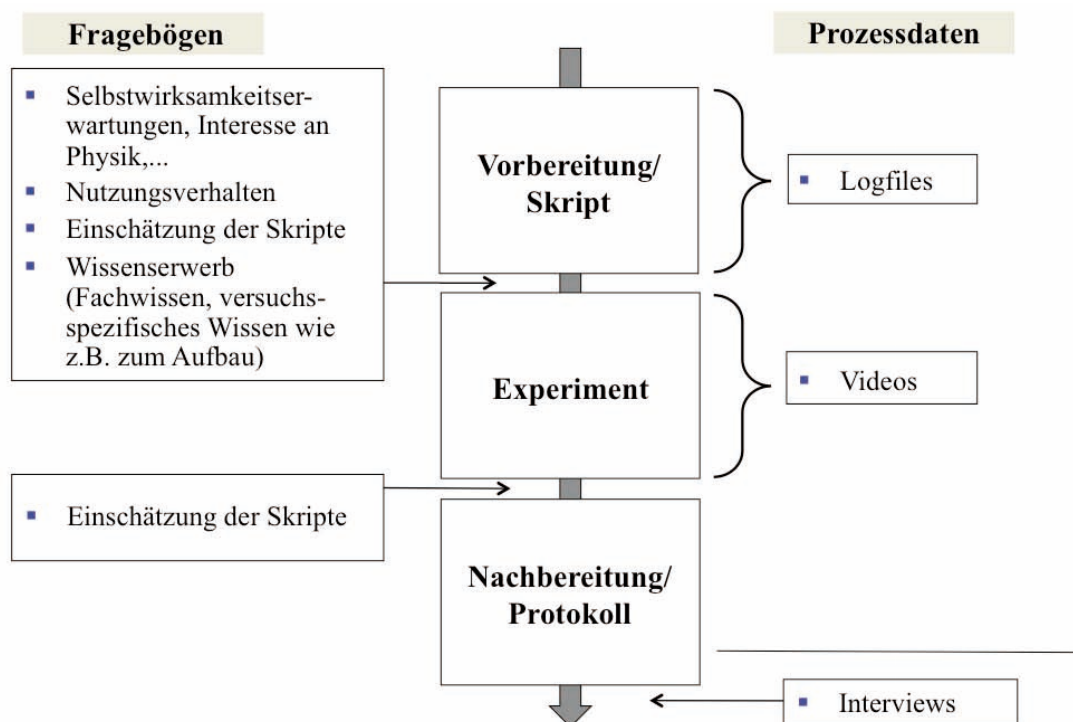


Abb. 1: Ablauf und Datenerhebung in der Studie zur hypermedialen Vorbereitung auf das Praktikum.

das jeweilig verwendete Skript erneut ein. So konnte überprüft werden, ob ihre Einschätzung der Vorbereitung durch die Versuchsdurchführung verändert wurde. Eine Prä-Post-Messung des Fachwissens war aus organisatorischen Gründen nicht möglich. Geplant war, dass die Studierenden die Vorbereitung auf den Praktikumsversuch in der Universität durchführen sollten, um den Zeitaufwand kontrollieren zu können. Ein Teil der Studierenden war am Beginn der Studie jedoch nicht persönlich zu erreichen, da das Semester erst neu begonnen hatte. Die Vorbereitung mit dem jeweiligen Skript fand dann zu Hause statt.

Anhand der Logfiles wurden die Studierenden der Interventionsgruppe nach zusätzlichen Kriterien selektiert. Beispielweise war bei dem Skript „Dünne Linsen und Augenmodell“ das Kriterium, dass die Studierenden mindestens 30 Minuten mit dem Skript gearbeitet hatten und sich dabei mindestens 3 der 5 IBEs angesehen hatten. Dieses Mindestkriterium wurde eingeführt, da bei geringerer Nutzung kein Effekt (insbesondere bei den Videos) erwartet werden konnte. Beim Versuch „Dünne Linsen“ konnten so nur 9 Studierende in die Interventionsgruppe aufgenommen werden (s. Tab.1). Zur Teilnahme an der Studie wurden 53 Studierende aufgefordert. 33 Studierenden haben sich mindestens teilweise mit

Hilfe des Hypermedia-Skripts vorbereitet. An den Nachinterviews zu dem Versuch (vgl. Abb. 1) nahmen 7 Studierende teil.

6. Erste Ergebnisse

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die Untersuchungen aus dem Sommersemester 2010. Es wurden alle drei Hypermedia-Skripte zu den oben genannten Themen evaluiert. Als Datenbasis dienen die Logfiles, die Fragebögen und die Nachinterviews.

6.1. Beschreibung der Probandengruppen

Die Probanden waren Geowissenschafts- und Chemiestudierende im zweiten Fachsemester (s. Tab.1). Jede Interventions- und Vergleichsgruppe (IG, VG) setzt sich aus diesen beiden Studierendengruppen zusammen. Bei den ersten beiden Versuchen befanden sich zusätzlich noch Biologiestudierende in den Gruppen (Dünne Linsen: 3 Bio in IG, Beugung: 4 Bio in VG). Das Alter der Probanden liegt fast ausschließlich zwischen 19 und 23 Jahren. Nur sechs Studierende sind etwas älter (24-26 Jahre).

Das physikalische Vorwissen der Studierenden war wie erwartet eher gering. Wie in Tabelle 1 zu sehen, lag der Anteil derjenigen, die Physik in der Qualifikationsphase der gymnasialen Oberstufe (Kl. 12, 13)

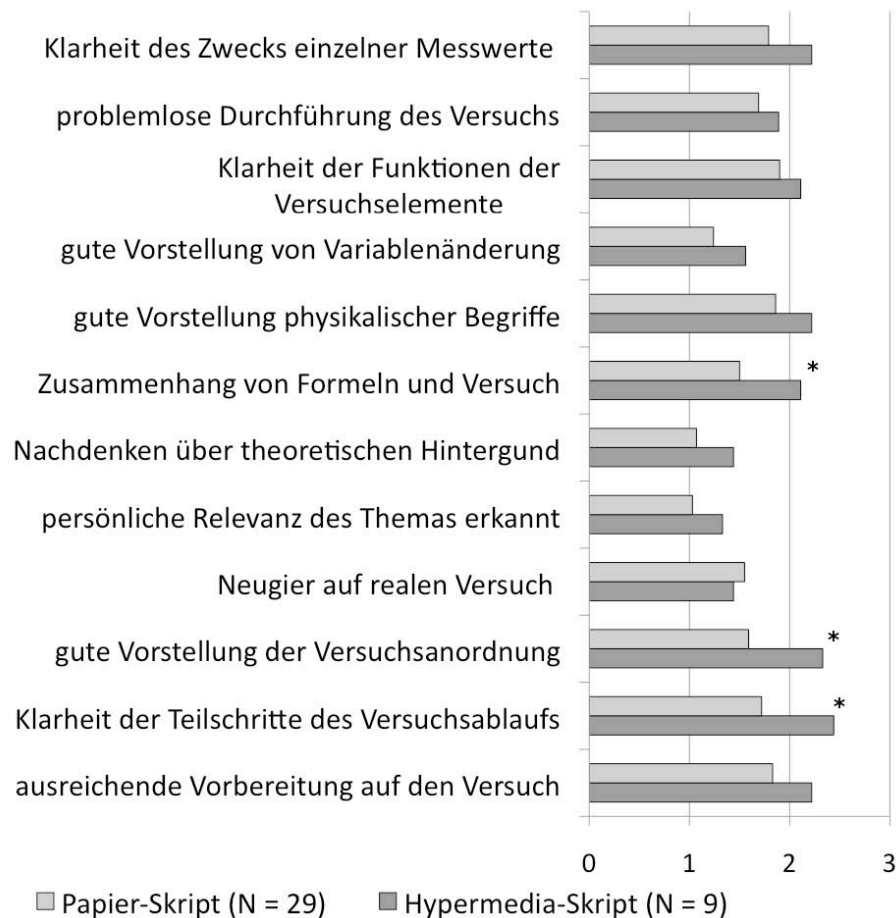


Abb. 2: Vergleich der Einschätzungen des Papier- und des Hypermedia-Skriptes zum Versuch „Dünne Linsen“ durch Vergleichs- und Interventionsgruppe (0: trifft gar nicht zu, 3: trifft völlig zu; * Signifikant auf 0.05 Niveau)

belegt hatten um 50 Prozent oder darunter (mit Ausnahme der IG des Versuchs „Beugung“).

Versuch	IG	VG	Physik in Klasse 12/13
Dünne Linsen	9 (33/53)	29	IG: 55% VG: 47%
Beugung	5	18	IG: 80% VG: 44%
Stirling	17	10	IG: 13% VG: 10%

Tab. 1: Probandenanzahlen bei den drei Versuchen und Umfang des schulischen Physikunterrichts

Bei einer Evaluation von Hypermedia-Skripten sind die Computerkenntnis sowie -affinität sicherlich zu berücksichtigen. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Interventions- und Vergleichsgruppe. Alle Studierenden schätzen ihre Computerkenntnisse als gut ein (3 Items, Cronbachs $\alpha = 0.71$). Bei den Computernutzungsdauern gaben die Probanden des Versuchs „Dünne Linsen“ in der Interventionsgruppe an, entweder „tägl. bis 2 Stunden“ oder „tägl. mehr als 2 Stunden“ den Computer zu nutzen. Bei der Vergleichsgruppe machen 23 von 29 Studierenden die gleichen Angaben.

Trotz der hohen Nutzungsdauern und Kenntnisse sind die Studierenden im Punkt „Computeraffinität“ - also ihrer Erwartung gut mit dem Computer (Physik) lernen zu können und dies auch tun zu wollen - etwas zurückhaltender. Bei der Computeraffinität (6 Items, Cronbachs $\alpha = 0.71$) unterscheiden sich die beiden Gruppen jedoch ebenfalls nicht wesentlich.

Ein Vergleich der Vorbereitungsdauern der Interventions- und Vergleichsgruppe beim Versuch „Dünne Linsen“ zeigte, dass die Studierenden sich mit dem Hypermedia-Skript tendenziell länger vorbereiten als die Studierenden mit dem klassischen Skript. Diese Tendenz zeigte sich auch noch, wenn man die Interventionsgruppe mit den 9 Studierenden der Vergleichsgruppe mit der längsten Vorbereitungszeit vergleicht:

$$t_{IG} = (144 \pm 96) \text{ min}$$

$$t_{VG} = (114 \pm 63) \text{ min}$$

Die Angaben basieren auf den eigenen Einschätzungen der Studierenden. Die Vorbereitungsdauern mit den Hypermedia-Skripten fielen bei den beiden anderen Versuchen ebenfalls etwas länger aus als die mit den Papier-Skripten. Die Differenzen waren dort allerdings geringer als beim Versuch „Dünne Linsen“.

6.2. Einschätzung der Skripte

Die Fragebögen der Interventions- und Vergleichsgruppe zum Versuch „Dünne Linsen“ lieferten an drei Stellen mit Hilfe des U-Tests signifikant unter-

schiedliche Einschätzungen der beiden Skriptarten (s. Abb. 2). Das Hypermedia-Skript führt nach Einschätzung der Studierenden gegenüber dem Papier-Skript zu einem besseren Verständnis des Zusammenhangs von Formeln und Versuch, einer besseren Vorstellung der Versuchsanordnung sowie einer besseren Klarheit der Teilschritte des Versuchsablaufs.

Bei den halbstrukturierten Leitfadeninterviews im Anschluss an die Versuchsdurchführungen wurden Fragen zur wahrgenommenen Unterstützung durch die Skripte und allgemein zur Akzeptanz der Hypermedia-Skripte gestellt. Von den sieben geführten Interviews stammt ein Studierender aus der Interventionsgruppe. Die sechs anderen Interviews wurden mit Studierenden geführt, die sich zwar mit dem Hypermedia-Skript vorbereitet hatten, die aber wegen einer zu geringen Nutzungsintensität (s. oben) nicht zur Interventionsgruppe gezählt werden konnten. Da die Zuordnung zu den beiden Gruppen erst im Nachhinein geschehen ist, war das zum Zeitpunkt der Interviews noch nicht ersichtlich. Die Auswertung orientierte sich an der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [8].

Die Analyse der Interviews kann nach bisherigem Auswertungsstand in folgenden drei Thesen zusammengefasst werden:

These 1: Der größte von den Studierenden wahrgenommene Mehrwert der Hypermedia-Skripte liegt in den IBEs. Die weiteren Zusatzangebote (z.B. Aufgaben) werden als zu zeitaufwendig oder als unwichtig angesehen.

Die meisten Studierenden sehen in der Einbettung von IBEs zwei entscheidende Vorteile gegenüber dem Papier-Skript. Einerseits können sie sich so einige Elemente des Versuchsaufbaus erst richtig vorstellen und so die Aufgabenstellung erst verstehen. Zusätzlich sammeln sie erste Erfahrungen, wie sich die Änderung bestimmter Variablen auf das Gesamtsystem auswirken. Auf die Frage, wie den Studierenden die IBEs geholfen haben, wurde beispielsweise Folgendes geantwortet:

Proband 1 (P1): „Ja, ich habe schon mal den Versuchsaufbau, wie er in real auch wirklich aussehen soll und - äh - ich konnte mir zum Beispiel beim Augenmodell gar nicht vorstellen, wie das mit der wassergefüllten Pumpe aussehen soll. Wo soll ich denn da Wasser rein spritzen? Und dann habe ich gesehen, dass man oben halt die Spritze rein macht und das Wasser und ... Ich konnte mir manche Sachen echt überhaupt nicht vorstellen vom Lesen und das war ganz gut das mal so wirklich real vor sich sozusagen zu sehen. Und - äh - in welche Richtung ich die Linse verschiebe. ... Ja. (längere Pause) Das war eigentlich ganz gut, dass der Text noch mal optisch virtualisiert wurde ...“

Interviewerin (I): „Hm. Also war es mehr oder weniger wirklich der Versuchsaufbau, den du dann

einmal gesehen hast, oder auch, wie man schon irgendwas macht?“

P1: „Ja, ich habe es halt auch ausprobiert und das Bild schärfer oder ... Also ich konnte auch nicht vorstellen, was mit dem Objekt gemeint ist und dann habe ich gesehen, dass sie halt dieses scharfe F zum Beispiel immer gemeint haben.“

Bei den weiteren Zusatzangebote des Hypermedia-Skripts wird nur ein begrenzter Nutzen gesehen. Das drückt sich schon in der seltenen Bearbeitung der in das Hypermedia-Skript integrierten Selbsttestaufgaben aus. Selbst von den neun Studierenden der Interventionsgruppe haben nur drei Studierende ein oder zwei Aufgaben (von fünf möglichen) bearbeitet. Eine Bearbeitung ohne Eingabe einer Antwort kann für diese Auswertung natürlich nicht berücksichtigt werden. Die eine interviewte Person, die alle fünf Aufgaben beantwortet hatte, sah die Aufgaben hingegen für sich persönlich als hilfreich an.

Als häufigster Grund für die unterlassene Bearbeitung wurden Zeitgründe genannt:

I: „Hm. Was meinst du, warum hast du die [Aufgaben] in dem Moment nicht gemacht?“

P2: „Aus Zeitgründen.“

I: „Ja.“

P2: „Dadurch dass ich ja schon das ganze Skript dann durchgegangen bin und immer Schritt für Schritt - äh - habe ich es aus Zeitgründen gar nicht mehr geschafft.“

Das leitet über zu unserer zweiten These:

These 2: *Es gibt zwei grundlegende Ursachen der eher geringen Nutzung des Hypermedia-Skripts:*

- *geringe Physikstudiumsmotivation*
- *ein begrenztes für Physik investiertes Zeitbudget*

Für viele der Geowissenschafts- und Chemiestudierenden ist das Physikstudium eine Auflage ihres eigentlichen Faches und wird auch so wahrgenommen. Sie wollen möglichst viel Zeit in ihr Hauptfach investieren und planen der Physik deswegen nur einen begrenzten Zeitaufwand ein.

Wie man dem folgenden Interviewausschnitt entnehmen kann, liegen einige Gründe für die geringe Nutzung des Hypermedia-Skripts nicht am Skript selbst:

I: „Hm - und habt ihr euch auch diese ... Experiment am Bildschirm da schon angeguckt? [Teil ausgelassen]“

P1: „Ja, habe ich gemacht. Einmal kurz, aber ich hatte dann keine Zeit mehr es mir genauer anzugucken.“

I: „Hm. Also fandest du es - hat es dir nichts gebracht, oder?“

P1: „Ich hätte eine Weile länger gebraucht, um es anzugucken, um es wirklich zu verstehen, aber da

hat mir dann ein wenig die Zeit zu gefehlt. Weil es war eine etwas stressige Woche.“

I: „Hm. Und bei dir?“

P2: „Ja, ich glaube, ich hatte es mir auch kurz mal angeschaut, aber ich habe mich jetzt auch nicht so weiter ... rein vertieft. Also ich habe mal kurz reingeschaut, aber nicht mich genauer damit beschäftigt.“

I: „Also schien es euch nicht so hilfreich? Also für euch persönlich.“

P1: „Also für mich persönlich zählt nur, dass ich da irgendwie durch diesen Versuch komme und mindestens 7 Punkte kriege. Und alles andere ist mir ehrlich gesagt nicht so wichtig. Weil das ist nicht unbedingt mein Lieblingsfach.“

Diese Aussagen gelten nicht generell für Nebenfachstudierende. Auch viele Nebenfachstudierende bemühen sich um ein Verständnis der Versuche im Physikalischen Praktikum. Dennoch haben sich die Studienmotivation und die wahrgenommenen begrenzten Zeitressourcen bei der Evaluation der Hypermedia-Skripte als relevante Faktoren gezeigt.

These 3: Als besonders sinnvoll wird eine Kombination aus Hypermedia- und Papier-Skript angesehen. Die Studierenden möchten aufgrund der besseren ortsunabhängigen Verfügbarkeit nicht auf das Papier-Skript verzichten. Davon unabhängig wird ein Mehrwert im Hypermedia-Skript gesehen.

In den meisten Fällen bevorzugen die Studierenden eine Kombination aus Hypermedia- und Papier-Skript aus ganz pragmatischen Gründen. Das Hypermedia-Skript ist mit den Zusatzinformationen zu umfangreich zum Ausdrucken und zur Mitnahme ins Praktikum, sodass deshalb das Papier-Skript zusätzlich gewünscht wird. Nur wenige Studierende wollten das Papier-Skript zur ersten Orientierung bei der Vorbereitung und das Hypermedia-Skript um im zweiten Schritt Verständnisprobleme zu klären.

Ein Vorteil des Papier-Skripts, dass es ortsunabhängig verwendet werden kann, zeigt sich in dem unteren Interviewausschnitt:

P2: „Aber das andere Skript [Papier-Skript] finde ich insofern ganz gut, dass es ziemlich kompakt ist und man es halt in der Straßenbahn vorbereiten kann oder halt wo man sich gerade befindet oder mal ein Stündchen Zeit hat oder so.“

Einige Studierende wünschen sich das zusätzliche Papier-Skript auch, weil sie am Computer nicht so gut lernen und etwas benötigen, wo sie sich Dinge markieren können.

6.3. Wissenserwerb

Das versuchsspezifische Fachwissen wurde bei allen drei Versuchen jeweils unmittelbar vor der Durchführung im Praktikum getestet (Kurztests mit 6 bis

10 Items). Der Mann-Whitney-U-Test führte bei keinem der drei Versuche zu einem signifikanten Unterschied zwischen Interventions- und Vergleichsgruppe, obwohl die Interventionsgruppen der zwei ersten Versuche besser abschnitten. Dieses Ergebnis kann als Anzeichen für eine gleiche Lernwirksamkeit der beiden Skriptarten bezüglich des Erwerbs versuchsspezifischen Fachwissens gewertet werden. Die Frage nach dem versuchsspezifischen Handlungswissen kann mit den durchgeführten Tests nicht beantwortet werden.

Versuch	Cronbachs α (Itemanzahl)	IG	VG	U-Test
Dünne Linsen	0.53 (6)	4,11 \pm 1,45	3,28 \pm 1,19	n. sig.
Beugung	0.65 (8)	6,00 \pm 2,54	4,17 \pm 2,38	n. sig.
Stirling	0,75 (10)	6,71 \pm 2,31	7,00 \pm 2,49	n. sig.

Tab. 2: Ergebnisse der Fachwissenstests

7. Fazit und Ausblick

Die hier berichteten ersten Ergebnisse der Untersuchungen zur Akzeptanz, Nutzung und Lernwirksamkeit hypermedialer Praktikumskripte können nur Tendenzen liefern. Es zeichnet sich eine grundsätzliche positive Einschätzung der hypermedialen Vorbereitung ab (insbesondere der IBEs), die jedoch stark durch einen wahrgenommenen erhöhten Zeitaufwand bei der Vorbereitung auf den Praktikumsversuch moderiert wird. Zurzeit laufen Erprobungen, Befragungen und Interviews mit weiteren Nebenfachstudierenden.

Inwieweit die Hypermedia-Skripte oder konkreter die interaktiven Bildschirmexperimente zu einer besseren Durchführung des Realexperiments führen (besseres Handlungswissen), wird gerade anhand von Videodaten untersucht.

Literatur

- [1] Fricke, A. & Schecker, H. (2011). Computergestützte Vor- und Nachbereitung des physikalischen Praktikums. In: Höttecke, D. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. GDGP. Jahrestagung in Potsdam 2010. Münster: LIT-Verlag, S. 528-530.
- [2] Hüther, M. (2005). Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung zum Thema Gasgesetze - Eine Studie im Rahmen des Physikpraktikums für Studierende der Mediziner. Berlin: Logos.
- [3] Hüther, M. & Theyßen, H. (2005). Vergleichende Untersuchung zur Lernwirksamkeit einer hypermedialen Lernumgebung und eines Praktikums an der Hochschule. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 11, S. 117-129.
- [4] Kirstein, J. (1999). Interaktive Bildschirmexperimente - Technik und Didaktik eines neuartigen Verfahrens zur multimedialen Abbildung physikalischer Experimente. Dissertation, TU Berlin.
- [5] Zastrow, M. U. (2001). Interaktive Experimentieranleitungen - Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im Physikalischen Praktikum. Berlin: Logos.
- [6] Roth, D., Spohr, S. & Jodl, H.J. (2001). Konzept einer multimedialen Praktikumsvorbereitung. In: Didaktik der Physik. Frühjahrstagung Bremen 2001.
- [7] <https://www.univie.ac.at/physikwiki/index.php/Hauptseite?elearning=1#an>
- [8] Mayring, P. (2002). Einführung in die qualitative Sozialforschung. Weinheim: Beltz-Verlag.