

Prof. Dr. Andreas Hemmerich, Uwe Pape, Arnold Stark
Fachbereich Physik

3.5 Problemorientiertes, offenes Experimentieren im Physikalischen Praktikum I für Studierende der Naturwissenschaften

Im *Physikalischen Praktikum I für Studierende der Naturwissenschaften* wurde ein neues Konzept zum „offenen Experimentieren“ entwickelt und erfolgreich eingeführt. Zwei Experimentierumgebungen, welche die Behandlung einer Vielzahl von Fragestellungen ermöglichen und eine Programmgestaltung, welche dem offenen Charakter experimentellen Forschens sowie der Bedeutung wissenschaftlicher Kommunikation gleichermaßen Rechnung trägt, ermöglichen das Erlernen eigenverantwortlichen wissenschaftlichen Arbeitens im Team. Dabei erwerben die Studierenden zentrale Kompetenzen: Entwurf und Präsentation von Versuchskonzepten, die Schärfung der Konzepte in der Diskussion, die Durchführung von Messungen sowie ihre Präsentation und Diskussion.

Ausgangslage und Konzept

Das *Physikalische Praktikum I für Studierende der Naturwissenschaften* findet zwei Mal pro Semester statt und wird jährlich von circa 400 Studierenden absolviert. Hier und im *Praktikum II* erfolgt die experimentalphysikalische Grundausbildung der Studierenden der Studiengänge Physik, Geophysik, Ozeanografie, Meteorologie, (Lebensmittel-)Chemie, Informatik und Computing in Science. Das Praktikum besteht aus zwölf Versuchen. Je Versuch stehen vier Stunden zur Verfügung. Dazu kommen Zeiten für Vorbereitung und Protokoll-Ausarbeitung (siehe Abbildung 27 auf Seite 100). Eine Dozentin bzw. Dozent betreut maximal acht Studierende, die zu zweit vorstrukturierte Versuchsprogramme anhand einer Anleitung Schritt für Schritt abarbeiten. Dieser reproduktiv orientierte Arbeits- und Lernablauf ist auch an anderen Universitäten typisch für die klassische Praktikumsausbildung.

Die gegenwärtige Ausbildung im Praktikum ist durch eine Reihe von Randbedingungen gekennzeichnet: Die Bologna-Reform mit zahlreichen studienbegleitenden Prüfungen fördert ein auf Prüfungsbewältigung hin zugeschnittenes Studienverhalten mit reproduktiver Ausprägung. Nach unserer Beobachtung nehmen die mathematischen und physikalischen Kompetenzen der Studierenden zu Studienbeginn im Mittel ab bei gleichzeitiger Zunahme der Streuung. Hierfür könnten die Umstellung auf das achtjährige Gymnasium sowie der Anstieg der Absolvtenzraten verantwortlich sein. Im *Physikalischen Praktikum I* werden Studierende

verschiedener Studiengänge und verschiedener Semester gemeinsam unterrichtet. Eingangskennntnisstand und Motivationslage der Studierenden sind äußerst heterogen. Eine Synchronisation zwischen Vorlesungsstoff und Praktikumsthematik kann oft nur unvollständig realisiert werden.

Vor diesem Hintergrund entstand der Wunsch, den genannten Schwierigkeiten mit einem neuen Lehrkonzept zu begegnen, die reproduktive Arbeitsweise aufzubrechen und Lernsituationen zu schaffen, bei denen die Lernenden sich in einem kreativen Prozess mit Problemen auseinandersetzen und im Rahmen einer flexiblen Versuchsumgebung offene Lösungswege selber gestalten und entdecken können. Es sollten viele verschiedene und unterschiedlich anspruchsvolle Lösungswege möglich sein, so dass unabhängig von den jeweiligen Startpositionen individuelle Lernerfolge erarbeitet werden können. Zusätzlich sollten kommunikative Prozesse im Team ermöglichen, dass Studierende mit unterschiedlichen Vorkenntnissen und Sichtweisen voneinander profitieren und dass die erfolgende Verbalisierung und Visualisierung das Gelernte bereichern.

Für ein derartiges neues Konzept standen nur wenige mögliche Vorbilder zur Verfügung, die zudem unter anderen Voraussetzungen funktionieren. Zu nennen ist erstens das *Laboratorium für offenes Experimentieren (LOFEX)* der Universität Duisburg-Essen¹. Im Rahmen des *LOFEX*-Konzepts, welches sich in erster Linie an Lehramtsstudierende richtet, wird ein motivierendes, nicht apriori offensichtliches Phänomen vorgegeben. Im Kontext dieses Phänomens können Fragestellungen eigenständig formuliert und im Rahmen einer sorgfältig präparierten Versuchsumgebung in verschiedene Richtungen untersucht werden². Dabei wird notwendigerweise die Unkenntnis der Experimentierenden hinsichtlich des Ausgangsphänomens und seiner Erklärung vorausgesetzt. In einem regelmäßig durchgeführten Einstiegspraktikum mit hohen Durchgangszahlen lässt sich dieses Szenario nicht umsetzen, da Informationen über Aufgabenstellungen mit hoher Volatilität zirkulieren. Daher erschien eine Übernahme des *LOFEX*-Konzepts nicht als sinnvoll. Parallel zu unserem eigenen im Rahmen des Lehlabors durchgeführten Projekt wird seit 2012 das kompetenzorientierte „Paderborner Physik-Praktikum“³ aufgebaut. Im Laufe von fünf Semestern führt es die Studierenden von

1 URL: http://www.uni-due.de/didaktik_der_physik/lofex.shtml [01.10.2014]

2 Vgl. Braun, T./Backhaus, U. (2007): Offenes Experimentieren in der Lehramtsausbildung. Tagungsband der DPG-Frühjahrstagung Regensburg, Didaktik der Physik. Berlin: Lehmanns Media.; www.didaktik.physik.uni-duisburg-essen.de/~backhaus/pdfs_fuer_Webseite/OffenesExperimentieren_DPG07.pdf [01.10.2014]

3 URL: physik.uni-paderborn.de/3P [01.10.2014]

einfachen Experimenten, die einzelne Kompetenzfacetten fördern, bis zum freien Experimentieren. Das Konzept des Paderborner Physik-Praktikums enthält einige Elemente, die auch in unserem Projekt implementiert sind (siehe unten), zum Beispiel wechseln hier wie dort Experimentierphasen und moderierte Diskussionsrunden einander ab. Das Paderborner Physik-Praktikum ersetzt das herkömmliche Physikpraktikum vollständig, was nur aufgrund der vergleichsweise kleinen Absolventenzahlen möglich ist. Im Rahmen eines großen Praktikums mit vielen hundert Absolventinnen und Absolventen pro Jahr erscheint eine abrupte Umstellung unmöglich und würde zum zeitweisen Erliegen des Praktikumsbetriebs führen. Deshalb verfolgen wir einen evolutionären Prozess, indem ein Teil der klassischen Experimente nach und nach durch Experimente nach neuem Konzept abgelöst wird. Diese neuen Experimente können nur im laufenden Praktikum eingeführt, erprobt, evaluiert und im Lichte der Erfahrungen und Bedürfnisse der Studierenden und Dozierenden weiterentwickelt werden, und sie müssen sich im Praktikumsalltag mit großen Studierendenzahlen bewähren.

Ein Ausgangspunkt unseres Entwicklungsprozesses waren Erfahrungen eines der Autoren mit offenem Experimentieren im gymnasialen Physikunterricht⁴. Weitere Erfahrungen gewannen wir 2010/2011 bei der Einführung des *Experimentierlabors Interferometrie* in das *Physikalische Praktikum II*. Hier wurden erste Schritte zu problemorientiertem Experimentieren erprobt, ohne die Grundstruktur zu reformieren. Eigenständige Planung und Diskussion in der Gruppe wurden dabei noch nicht verankert. Mit dem von April 2013 bis März 2014 durchgeführten Lehrlabor-Projekt *Problemorientiertes, offenes Experimentieren im Physikalischen Praktikum I für Studierende der Naturwissenschaften* geben wir nun eine konsequentere Antwort auf die vorstehend genannten Herausforderungen.

Mit dem Lehrlabor-Projekt wurden folgende Ziele verfolgt: In einem Teil des *Physikalischen Praktikums I* sollte das rezeptartige Experimentieren aufgebrochen und durch ein neues Lehrkonzept für offenes, problemorientiertes Experimentieren ersetzt werden. Die Studierenden sollten stärker aktiviert und ihr eigenes Denken und Handeln in den Mittelpunkt gestellt werden. Sie sollten eigene Ansätze einbringen, im Team experimentelle Vorgehensweisen entwerfen, diskutieren und umsetzen, Versuchsentwürfe und -ergebnisse präsentieren und im wissenschaftlichen Diskurs Verbesserungsvorschläge machen und annehmen. Repetitiver Leerlauf, zum Beispiel das Abschreiben von Protokollen, sollte reduziert werden.

⁴ Vgl. Stark, A. (2007): Wie wirken sich qualitätssichernde Maßnahmen auf von Schülern selbst entworfene Experimente aus? Eine Untersuchung im Physikunterricht der Klassenstufe 10 des Gymnasiums zum Thema Druck. Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung. Hamburg.

Zur Verfolgung dieser Ziele wurde ein für die Bedingungen des Praktikums geeignetes Konzept offenen Experimentierens entworfen, im laufenden Praktikumsbetrieb und unter unveränderten Rahmenbedingungen eingeführt, erprobt und im Projektzeitraum stetig weiterentwickelt. Dieses Konzept basiert auf folgenden Eckpunkten:

- Jedes offene Experiment erfolgt in einer Experimentierumgebung, die sich für viele Fragestellungen und viele experimentelle Lösungsmöglichkeiten eignet.
- Je Experimentierumgebung gibt es mindestens 30 verschiedene Aufgabenstellungen. Die zu bearbeitende Aufgabenstellung wird den Studierenden erst zu Versuchsbeginn mitgeteilt. Alternativ können die Studierenden eigene Aufgabenstellungen vorschlagen.
- Zwei Teams mit bis zu vier Studierenden bearbeiten zwei verschiedene Aufgabenstellungen.
- Eine zeitliche Phasierung (siehe Abbildung 27) synchronisiert die Arbeit der Teams und hilft den Studierenden, strukturiert und qualitativ zu handeln.
- Die Dozentin bzw. der Dozent führt die Studierenden in Konzept und Experimentierumgebung ein, initiiert die Teambildung, verteilt Aufgaben und steht als Diskussionspartnerin beziehungsweise -partner bereit – nicht um die Teams zu lenken, sondern um maximalen Spielraum zur Problemlösung zu eröffnen.
- In Phase 3 (Versuchsentwurf) entwickelt jedes Team Ideen zur Lösung der Aufgabe. Mit der Versuchsumgebung wird die Aufgabe auch experimentell erschlossen. Bei der Kommunikation im Team entsteht ein Versuchsentwurf, der auf Flip-Chart-Blättern dargestellt wird.
- Im 1. Kolloquium (Phase 4) präsentieren die Teams einander ihre Entwürfe, diskutieren darüber, suchen Fehler und Probleme und schlagen Verbesserungen oder Alternativen vor.
- In Phase 5 (Versuchsdurchführung) wird das Experiment aufgebaut, durchgeführt und protokolliert. Gegebenenfalls wird die Zeit auch für Verbesserungen oder zusätzliche Messungen genutzt.
- In Phase 6 (Schnellauswertung) werten die Studierenden Messergebnisse exemplarisch aus und stellen sie auf Flip-Chart-Blättern dar.
- Im 2. Kolloquium (Phase 7) präsentieren und diskutieren die Teams ihre experimentellen Ergebnisse. Die Auswertemethodik wird besprochen und Widersprüche zwischen Ergebnissen und Erwartungen werden diskutiert. Mit einem Vortestat endet der Versuchstag.
- Jedes Team arbeitet gemeinsam ein Protokoll des offenen Experiments aus (Phase 8) und übergibt es am nächsten Praktikumstag der Dozentin bzw. dem Dozenten.
- Die Dozentin bzw. der Dozent prüft das Protokoll und bespricht es mit dem Team (Phase 9). Eventuell sind Korrekturen erforderlich, bevor ein Testat erteilt wird.

	Inhalt	Dauer	Inhalt	Dauer
1	Vorbereitung (zu Hause)	~1,5 h	Vorbereitung (zu Hause)	~1,5 h
2	Einführung + Aufgabenstellung	25 min	Vorbesprechung	45 min
3	Versuchsentwurf	45 min	Versuchsdurchführung	2-3 h
4	1. Kolloquium: Versuchsentwürfe	30 min		
5	Versuchsdurchführung	70 min		
6	Schnellauswertung	30 min		
7	2. Kolloquium: Versuchsergebnisse	30 min		
8	Protokoll-Ausarbeitung (gemeinsam)	3 – 6 h	Protokoll-Ausarbeitung (einzeln)	4 – 8 h
9	Protokollrückgabe	15 min	Protokollrückgabe	15 min

Abbildung 27: a) Phasierung für offenes Experimentieren b) Experimentieren nach Anleitung

Umsetzung des Lehrprojekts

Verantwortlich für Gestaltung und Durchführung des Projekts waren die Autoren. Die Dozentinnen und Dozenten des Praktikums wurden in den Neugestaltungsprozess von Anfang an mit einbezogen. Mit Hilfe einer zu diesem Zweck entwickelten Anleitung sowie Hospitationen eigneten sich einige der Praktikumsdozentinnen und -dozenten die notwendigen Voraussetzungen zur eigenverantwortlichen Betreuung des neuen, offen gestalteten Experimenttyps an und konnten durch ihre Erfahrungen direkt den Entwicklungsprozess unterstützen. Zwei Dozierende waren unmittelbar an Entwicklung und Einführung des offenen Experiments „Gleich- und Wechselstrom“ beteiligt.

Die Koordinierungsstelle Lehlabor und ein weiterer Mitarbeiter des Universitätskollegs halfen bei Entwicklung und dreimaliger Durchführung und Auswertung einer Online-Evaluation des *Physikalischen Praktikums I* und des offenen Experimentierens. Der Fachbereich Physik finanzierte Sachmittel für die neue Experimentierumgebung „Gleich- und Wechselstrom“.

Der zeitliche Projektablauf ist in Abbildung 28 dargestellt.

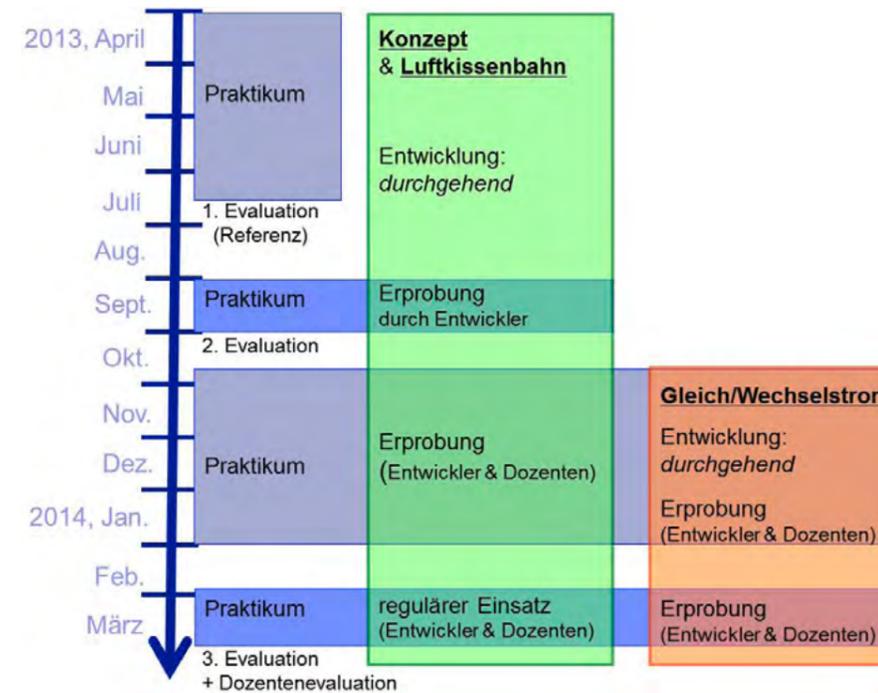


Abbildung 28: Zeitlicher Ablauf des Projekts

Charakteristisch sind die Verzahnung des Prozesses mit den im Projektzeitraum durchgeführten Praktika und die iterative Entwicklung und Erprobung von Konzept, Phasierung, Aufgabenstellungen und Experimentierumgebungen. Die erste Erprobung im Praktikum erfolgte im September 2013 mit der Experimentierumgebung „Luftkissenbahn“. Dabei wurden von Mal zu Mal Konzeptdetails, Aufgabenstellungen und Phasierung variiert. Die beobachteten Variationen im sich jeweils ergebenden Ablauf führten zu Schlussfolgerungen und Anpassungen, also zu einer Weiterentwicklung.

Ab Januar 2014 erfolgte die Erprobung des offenen Experiments „Gleich- und Wechselstrom“.

Ab Februar 2014 wurde das offene Experimentieren zunehmend in der Verantwortung von Dozentinnen und Dozenten aus der traditionellen Praktikumsbetreuung durchgeführt, die zuvor mindestens einmal hospitiert hatten und die sich auf eine neue Anleitung stützen konnten. Erfahrungen, Meinungen und Wünsche der Dozentinnen und Dozenten wurden in Gesprächen erfasst sowie im März 2014 schriftlich evaluiert.

Das Meinungsspektrum der Studierenden wurde in mehreren Befragungszyklen ermittelt.

Erfahrungen und Ergebnisse

Laut den Ergebnissen der Online-Evaluationen gibt es unter den Studierenden mehrheitlich und zunehmend positive Einschätzungen zum neuen Versuchskonzept. Insbesondere wurden – den Evaluationsergebnissen nach – überwiegend ohne Überforderung erfolgreich offene Versuche entworfen, präsentiert und diskutiert, durchgeführt sowie ausgewertet. Das neue Versuchskonzept war für die meisten Studierenden interessanter und machte mehr Spaß als Versuche traditioneller Art – für Studierende der Physik ebenso wie für Studierende anderer Studiengänge. Allerdings teilten nicht alle Studierenden diese Einschätzung, wie an den Teilergebnissen in Abbildung 29 ablesbar ist. Zum Teil lässt sich das auf Fehler bei der Umsetzung zurückführen. Es gibt aber auch Studierende, die es frustriert, bei Problemen keine direkte Hilfe zu bekommen.

Die Ergebnisse der Evaluation unter den Dozentinnen und Dozenten zeigten ebenfalls, dass das neue Versuchskonzept sowohl von den Studierenden als auch von den Dozentinnen und Dozenten positiv aufgenommen wurde.

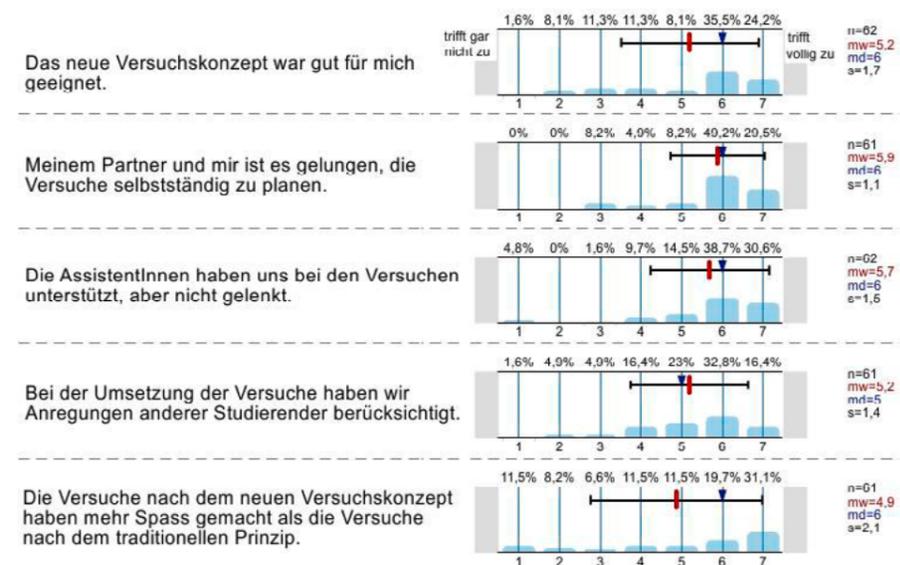


Abbildung 29: Teilergebnisse der 3. Evaluation

Die Dozentinnen und Dozenten bestätigen, dass die Studierenden ein im Vergleich zum traditionellen Konzept hohes Maß an Engagement aufboten, und dass es in den Teams tatsächlich zu wissenschaftlichem Diskurs und zu physikalischen Lernfortschritten kam. In den Kolloquien hingegen kam der Diskurs nicht immer wie gewünscht zustande. Interessant ist die Selbsteinschätzung der Dozentinnen und Dozenten: Fast alle trauen sich die Leitung des offenen Experimentierens zu; viele räumen aber ein, noch nicht ausreichend über einige für die Betreuung

offenen Experimentierens typische Verhaltenskompetenzen zu verfügen. Schwierigkeiten bereitet oft, Falsches hinreichend lange stehen lassen zu können, damit die Studierenden Gelegenheit erhalten, den Fehler selbst zu entdecken. Einigen Dozentinnen und Dozenten fällt es schwer, sich zurückzuhalten und nicht direkt durch Kommunikation der Lösung zu „helfen“. Die offene Moderation eines wissenschaftlichen Diskurses in den Kolloquien fällt nicht allen leicht, und einige Dozentinnen und Dozenten fühlen sich überfordert, wenn sie von Studierenden aufgebrachte neue Aufgabenlösungen nicht kennen beziehungsweise verstehen.

Aus den Beobachtungen der Autoren ist folgendes festzuhalten:

- Es gelang, die nicht-offenen Versuchsstrukturen aufzubrechen. Experimentieren nach Anleitung oder Vorlage wurde durch ein wissenschaftsnäheres, freies Experimentieren ersetzt.
- Die Studierenden waren beim offenen Experimentieren wesentlich aktiver als beim Experimentieren nach Anleitung, besonders wenn die Aufgabenstellung erkennbar ein zu lösendes Problem enthielt (zum Beispiel „Wie kann man mit einer Luftkissenbahn Massen bestimmen?“)
- Allen Studierenden gelang es, Versuche selbstständig zu entwerfen und durchzuführen.
- Phasierungen mit vier beziehungsweise acht Zeitstunden (Phasen 2 – 7) sind zeitlich knapp beziehungsweise deutlich zu lang. Viereinhalb oder fünf Stunden wären angemessen, jedoch sind die Studierenden nach vier Stunden müde und hungrig und wollen wie bei den „normalen“ Versuchen Feierabend machen.
- Gerade bei knappem zeitlichen Rahmen ist eine umfangreiche Einführung in die Experimentierumgebung notwendig, da sonst Bedienfehler Zeit kosten und demotivieren.
- Alle Teamgrößen zwischen zwei bis vier Studierenden funktionieren. Besonders effektiv wirken drei Studierende zusammen: Beim Entwurf haben mehr Köpfe mehr Ideen, für die Durchführung und Auswertung sind drei Studierende genug.
- Die Team-Dynamik sollte beachtet werden; zum Beispiel kann ein dominierendes Mitglied über nützliche Ideen anderer hinweggehen.
- Greift die Dozentin bzw. der Dozent konzeptwidrig in die Versuchsplanung ein, kann dies zu Konflikten führen, denn die Studierenden machen sich ihren Versuchsentwurf auch emotional zu eigen.
- In den Kolloquien tragen die Teams Entwürfe und Ergebnisse in der Regel gut verständlich vor. Anschließend kommt es oft zu fruchtbaren Diskussionen, in denen die meistens Teams Kritik und Anregungen der anderen Studierenden annehmen können und den Entwurf oder die Auswertungsmethode entsprechend ändern.

- Sind die Zuhörerinnen und Zuhörer unkritisch und akzeptieren Entwürfe und Ergebnisse trotz offensichtlicher Mängel, so kann die bzw. der Dozierende auf Lücken in der Argumentation aufmerksam machen.
- Einigen Dozentinnen und Dozenten fällt es schwer, als Ansprechpartnerin bzw. Ansprechpartner bereit zu stehen, ohne zu steuern.
- Dozentinnen und Dozenten, die es gewohnt sind, „alles“ über ein Experiment zu wissen, fällt es schwer, neue Lösungswege der Studierenden zu begleiten, ohne sicher zu sein, ob der Weg zum Ziel führt.
- Oft widersprechen experimentelle Ergebnisse den Erwartungen, so dass Studierende einen „kognitiven Konflikt“ erleben und bei der Diskussion beeindruckende Lernprozesse stattfinden können.
- In den meisten Fällen arbeiten die Studierenden bei der Auswertung und der Ausarbeitung des Protokolls gut zusammen, so dass sich authentische Protokolle ergeben. Repetitiver Leerlauf wird also erfolgreich eingedämmt.

Fazit und Ausblick

Im Rahmen des Lehr-labor-Projekts *Problemorientiertes, offenes Experimentieren im Physikalischen Praktikum I für Studierende der Naturwissenschaften* wurden Konzept, Phasierung, zwei Experimentierumgebungen, viele Aufgabenstellungen, und für Dozierende eine Anleitung für offenes Experimentieren entwickelt und erfolgreich

erprobt. Sie bilden einen zuverlässigen, qualitätssichernden Rahmen, so dass die Studierenden in Teams die Aufgaben aktiv und auf unterschiedlichste Weisen lösen, wobei sie sich im Diskurs gegenseitig unterstützen, anregen und Rückmeldung geben.

Die Ergebnisse der Beobachtungen und Evaluationen belegen, dass das offene Experimentieren funktioniert, die Ziele weitgehend erreicht werden und das Konzept von der zunehmenden Mehrzahl der Studierenden sowie Dozentinnen und Dozenten angenommen wird. Die offenen Experimente „Luftkissenbahn“ und „Gleich- und Wechselstrom“ werden nun im regulären Praktikumsbetrieb eingesetzt, so dass sich das Praktikum als ein Teil des Studiums etablieren kann, der



Abbildung 30: Ein Team stellt experimentelle Ergebnisse vor

fern von reproduktiver Prüfungsroutine Raum für erste Erfahrungen damit bietet, was moderne Forschung und eigenverantwortliches Arbeiten im Team bedeuten.

Im Rahmen des Projektes zeigte sich, dass die betreuenden Dozentinnen und Dozenten für das Gelingen entscheidend sind: Sie erklären Konzept und Versuchsumgebung, stehen als Diskussionspartnerinnen bzw. -partner zur Verfügung, steuern möglichst wenig, moderieren und müssen Aufgabenstellungen und Lösungswege, die sie zuvor selbst nicht kennen, zulassen und begleiten können. Dieses hohe Maß an didaktischen und fachlichen Anforderungen macht es notwendig, die Dozentinnen und Dozenten stärker in den Entwicklungsprozess einzubeziehen und außerdem ein spezielles Training zu entwickeln, damit das offene Experimentieren dauerhaft erfolgreich ist.

Im Rahmen des im April 2014 begonnenen weiterführenden Lehlabor-Projekts *Festigung und Ausweitung von offenem Experimentieren in den Physikalischen Praktika I + II* wird gemeinsam mit dem Zentrum für Hochschul- und Weiterbildung der Universität Hamburg ein spezielles Training für die Lehrenden im Praktikum entwickelt, in dem die Besonderheiten des offenen Experimentierens gezielt thematisiert und trainiert werden sollen.

Parallel erfolgt ein Transfer des offenen Experimentierens in das Physikalische Praktikum II. Im Vergleich zum Praktikum I erlaubt es eine tiefere inhaltliche Auseinandersetzung mit physikalischen Phänomenen. Wir erwarten, dass hier mit mehr Zeit (achtstündige Phasierung) die Vorteile des offenen, problemlösungs-zentrierten Experimentierens besonders wirkungsvoll deutlich werden können.