

Forschendes Lernen im Physikpraktikum

Antrag für ein „Fellowship für Innovationen in der Hochschullehre“

Antragsteller:

Dr. Micol Alemani, Institut für Physik und Astronomie, Universität Potsdam

Persönliche Motivation:

In meiner Karriere habe ich große Motivation aus beidem, meiner Tätigkeit Forschung und meiner Lehre, gezogen. Ich bin zutiefst überzeugt, dass die intensive Wechselwirkung von Forschung und Lehre der Schlüssel zur Exzellenz in beiden Bereichen ist. Mein Ziel ist es, meinen Studenten einen forschungsbasierten Ansatz im Physikpraktikum zu ermöglichen.

Ich wurde persönlich zuerst mit diesem Ansatz im Fortgeschrittenenpraktikum an der Uni Mailand als Physikstudentin konfrontiert, dank des starken Engagements meines Betreuers im Praktikum. Ich fühlte mich zum ersten Mal selbst für ein Projekt verantwortlich und war überzeugt wahre Wissenschaft zu machen. Dieser Ansatz hat mein Denken und Handeln als Wissenschaftlerin geprägt. Aufgrund dieser Erfahrung habe ich mich für eine experimentelle Diplom und dann auch Doktorarbeit an der Freie Universität Berlin entschieden.

In den Jahren danach habe ich meine Forschung an der University California Berkeley und Stanford University als Postdoc mit meiner Lehre an der California State University kombiniert und immer wieder getestet, wie die wissenschaftliche Arbeitsweise in der Lehre angewandt werden kann. Seit 1 ½ Jahren arbeite ich als festangestellte Praktikumsleiterin des Physikalischen Grundpraktikums an der Universität Potsdam.

Meine Sichtweise auf die wissenschaftliche Methode kann ich am besten mit den Worten des Nobelpreisträgers Donald Cram ausdrücken: *“An investigator starts research in a new field with faith, a foggy idea, and a few wild experiments. Eventually the interplay of negative and positive results guides the work. By the time the research is completed, he or she knows how it should have been started and conducted.”* Prof. K. Moler von Stanford Universität erklärt Ihren Studenten das was Cram als ‘fog’ - also Unsicherheit - bezeichnet

bedeutet ein produktiver Stimulus um zu lernen und stetig weiter zu forschen durch Erfolg aber auch durch Misserfolg hindurch [1]. Ich beobachte in meiner täglichen Arbeit, dass viele meiner Studenten im Praktikum sich durch diese intrinsische Unsicherheit in der Forschung verunsichert fühlen und demotiviert werden. Ich sehe, dass Studenten am Ende ihres Bachelorstudiums meist nicht eine wissenschaftliche Problemlösung und ein Selbstverständnis als Wissenschaftler entwickelt haben.

In dem Fellowship sehe ich für mich persönlich die Möglichkeit, innovative Wege zu finden um Experimentalphysik im Praktikum zu lehren indem ich Studenten Erfahrungen mit der wissenschaftlichen Arbeitsmethode anbiete. Für die Studierenden in der Physik ergibt sich damit die Möglichkeit aus dem Bachelor bereits mit einem positiven Selbstverständnis als Wissenschaftler zu arbeiten, in der Forschung aber auch in anderen Bereichen der Arbeitswelt. Ich werde mit dem Fellowship eine systematische Forschungsstudie über die Effekte von innovativen, forschungsbasierten Lernmethoden durchführen.

Anlass zur geplanten Lehrinnovation

Gesamtgesellschaftlicher Wandel und universitäre Ausbildung: Unsere Gesellschaft wird komplexer. Die Möglichkeiten freier Information und Kommunikation durch das Internet ändern unsere Art zu leben und demokratische Entscheidungen zu finden. Gleichzeitig befindet sich die Arbeitswelt in einem rapiden Wandel durch Automatisierung in Produktion, Organisation und Design (Industrie 4.0) [2]. Zunahme an Kurzlebigkeit und Komplexität treibt Bedarf auf kritischen, kreativ und selbstständig denkenden Arbeitskräften. Eine hohe Problemlösungskompetenz gepaart mit Kommunikations- und Teamfähigkeit werden im Arbeitsmarkt vorausgesetzt. Trotz vielgeäußerter Kritik bilden die Universitäten Menschen aus, die mit genau diesen Herausforderungen umgehen können.

Unsere Doktoranden beherrschen genau diesen Kanon an kritischen Fähigkeiten für eine rapide fortschreitende Welt. Die Nachfrage von promovierten Wissenschaftlern in der High-Tech oder Finanzbranche bezeugt die Leistung unserer Doktorandenausbildung [3]. Innerhalb von nur zwei Jahren erlernen die Doktoranden oft die essentiellen Fähigkeiten eines Wissenschaftlers. Die Vertiefung in ein Fachgebiet und Aufbau eines eigenen Forschungsthemas ist dabei der Anlass um den Umgang mit Unsicherheit zu erlernen,

Problemlösungsstrategien zu erwerben und effektiv in der Kommunikation zu werden. Allerdings ist es auch offensichtlich, dass ein Werdegang von Abitur zu fertiger Doktorarbeit um die 8-9 Jahre kosten kann. Es stellt sich also die zentrale Frage: Können Elemente dieser wissenschaftlichen Ausbildung schon früher erworben werden?

Zentrale Rolle des Praktikums in der wissenschaftlichen Ausbildung: Das Praktikum nimmt hier eine ganz zentrale Stellung ein, da hier die eigenständige Erfahrung der Studenten schon immer im Mittelpunkt stand. Die Universitäten haben dieses Format des Lernens schon immer mit einem sehr hohen Betreuungsaufwand versehen (ein Betreuer auf 4-8 Studenten, in Gruppen von jeweils zwei Studenten).

Diese wesentliche Rolle des Praktikums wurde bereits 2014 von der American Association of Physics Teachers (AAPT) erkannt [4]. Die AAPT hat neue Ziele für das Physikpraktikum definiert und ihre Mitglieder dazu aufgefordert in den Praktika die Lücke zwischen Praktika und Forschung zu reduzieren um Studierenden von Anfang an das forschende Lernen nahezubringen. Ich habe im Jahr 2014 an der California State University solch eine Transformation aktiv mitgestaltet.

Im Zentrum dieses neuen Ansatzes steht das aktive Engagement des Studenten im eigenen Lernprozess [5]. Der Physik Nobelpreisträger Carl Wiemann bezeichnet diesen Ansatz als ‚active learning‘ [6].

Die wesentlichen Züge stellt man am besten im Kontrast mit der traditionellen Form des Praktikums vor. Herkömmlicherweise folgen Studenten einem linearen Schema von der Versuchsvorbereitung zur wertenden Diskussion des Versuches. Sie folgen dabei einer detaillierten Einführung zur Vorbereitung. Im Skript sind dann die Aufgabenstellungen als auch rezeptartig die Arbeitsschritte zur Durchführung präzise dargestellt. Abschließend erhalten unsere Studenten die Aufgabe, ihre Messwerte mit den Literaturwerten zu vergleichen. Die Studenten lernen durch diese Herangehensweise sehr viele unterschiedliche apparative Methoden kennen und bekommen so einen relativ großen Überblick der physikalischen Messtechniken.

Forschungsorientiertes Lernen: Wir wollen nun eine aktivere Lernumgebung aufbauen, bei der forschendes Lernen im Mittelpunkt steht. In dieser Umgebung sollen die Studenten die theoretischen Konzepte aus der Vorlesung benutzen, um eine Fragestellung zu bearbeiten.

Zunächst wird der ‚Erfolg‘ eines Experiments umdefiniert. Es geht nicht primär um die Bestätigung eines Literaturwertes sondern um die Bewertung einer selbstentwickelten Messmethode. Das verhindert die von mir oft beobachtete Fixierung auf Reproduktion der Literaturwerte unter Vernachlässigung der kritischen Betrachtung von Messmethoden.

Den Studierenden wird größere Freiheit bei der Wahl und Durchführung der Messmethode als im herkömmlichen Praktikum eingeräumt. Die Studenten erhalten nicht eine vorgefertigte Serie von Schritten. Wir gestatten Ihnen forschend zu lernen auch indem sie Fehler machen und analysieren. Diese Art der Lernerfahrung ist sehr nahe an dem tatsächlichen wissenschaftlichen Laboralltag und eröffnet den angehenden Forschern einen wichtigen Einblick in die Karriere als Wissenschaftler. Die Studenten sollen so selbst die kritischen Fähigkeiten wie z.B. Kreativität, (selbst)kritische Denkweise, Modellieren, troubleshooting und Selbstbewusstsein im Labor entwickeln. Wir wollen eine kritische Herangehensweise an Experimente fördern, d.h. Hinterfragen des experimentellen Ansatzes und die Darlegung seiner Vor- und Nachteile. Wie bereits oben dargestellt, werden diese Charakteristika nicht nur von Jungforschern in der Universität sondern auch in der freien Wirtschaft geschätzt.

Die USA haben sicherlich eine Vorreiterstellung in der Restrukturierung der Physikpraktika gehabt. In Deutschland gibt es aber auch bereits Anzeichen eines Umdenkens. Im biomedizinischen Ingenieursstudiengang der Hochschule Albstadt hat die Landesstiftung Baden-Württemberg bereits ein Pilotprojekt im Bereich der Masterausbildung gefördert [7].

Ziele der Lehrinnovation, Neuartigkeit

Ziel der Lehrinnovation ist die Implementierung von Praktikumsexperimenten im Stil des forschungsbasierten Lernens. Diese neuen Experimente werden parallel zu den traditionellen Experimenten zum gleichen Themengebiet aufgebaut. Dadurch entsteht die Möglichkeit, den Lernerfolg von Studierenden mit gleichen Vorkenntnissen in den verschiedenen Ansätzen direkt statistisch zu vergleichen und zu bewerten.

Zur Realisierung dieser Lehrinnovation habe ich das Themengebiet der Mechanik identifiziert, das innerhalb des Praktikums in fünf traditionellen Versuchen untersucht wird.

Dieses Gebiet wird im ersten Semester bearbeitet während die Studierenden in der Vorlesung Physik I die nötige Vorkenntnis erwerben.

Ich werde durch Prä- und Posttests sowie Fragebögen die Ergebnisse der traditionellen und forschungsorientierten Lehrmethode erfassen und bewerten. Durch die anschließende Publikation dieser Daten in Fachzeitschriften wird dieses Wissen breit zugänglich werden.

Ich diskutiere regelmäßig mit Praktikumsleitern aus Deutschland im Rahmen der DPG Praktikumsleitergruppe (AG Physikalische Praktika) [8] und mir ist aus dem deutschsprachigen Bereich nur ein Reformansatz des Grundpraktikums Physik an der Universität Paderborn bekannt [9]. Bisher gibt es keine systematischen und veröffentlichten Studien über neue forschungsorientierte Ansätze im Physikpraktikum von deutschsprachigen, ja sogar nach meinem Kenntnisstand nicht aus europäischen Institutionen. Es wäre naiv die amerikanischen Studien, die die Effizienz des forschungsorientierten Lernen sehr deutlich zeigen [10,11], direkt auf unser Praktikum anzuwenden. Das amerikanische Bildungssystem ist vom Kindergarten an anders ausgerichtet im Vergleich zu unserem, so dass Studierende mit verschiedenen Voraussetzungen in die Praktika gehen.

Methodologische Vorgehensweise:

Wir werden zwei verschiedene Aspekte in diesem Projekt untersuchen.

1) *Wissenschaftlichen Fähigkeiten und die positive Einstellung zur Wissenschaft.* Hier wird zu bewerten sein, ob die forschungsbasierten Experimente erfolgreicher sind in der Heranbildung von Wissenschaftlern.

Wir werden Studierende während der Experimentdurchführung beobachten und ihre Aktivitäten in einem Formular dokumentieren und bewerten. Zu diesen Aktivitäten gehören das experimentelle Design, gruppeninterne Diskussionen und Selbstkritik und Lösungsansätze. Die Protokolle werden auch zur Bewertung der wissenschaftlichen Fähigkeiten herangezogen werden.

Wir werden Fragebögen entwickeln, die Fertigkeiten der Studierenden einschätzen können und das Bild eines Wissenschaftlers aus Sicht der Studierenden ermitteln können. Geeignete englische Versionen sind bereits von der Universität in Colorado entwickelt worden und wir planen diese Tests auf den kulturellen und sprachlichen Kontext in Deutschland

umzuwandeln [12]. Dabei ist mir die Diskussion mit Professoren im Institut besonders wichtig, um das wissenschaftliche Selbstverständnis der Physiker hier zu entwickeln. Außerdem werden wir zur Bewertung der wissenschaftlichen Fertigkeiten eine neue Form von Versuchen entwickeln, die den Studierenden am Ende des Praktikums eine freie Bearbeitung eines Themas erlaubt. In diesem Versuchsformat werden wir dann Fähigkeiten wie Planung, Kreativität, und Sorgfalt bei der Ausführung testen.

2) *Fachwissen der Studierenden.* Wir wollen die gleiche thematische Vielfalt wie das traditionelle Physikpraktikum beibehalten und testen, wie das Fachwissen in der forschungsorientierten Form beeinflusst wird. Dazu werden wir multiple-choice Tests erstellen, die uns eine realistische Einschätzung der Kenntnisse vor- und nach der Versuchsdurchführung erlauben. Diese Fragebögen helfen sicherlich auch den Studierenden, ein klares Bild unserer Erwartungen an ihr Fachwissen zu erhalten.

Studiengänge und -abschnitte der geplanten Lehrinnovation

Die Lehrinnovation soll im Physik Grundpraktikum des Studiengangs Physik-Bachelor implementiert werden. Zunächst wollen wir unsere Innovation auf die Experimente im Themenbereich Mechanik anwenden und durch parallele Versuche mit verschiedenen Versuchsgruppen diesen Ansatz bewerten. Das Grundpraktikum ist Pflicht für alle Bachelor-Studierende der Physik als auch in reduzierter Form für Studierende auf Lehramt-Physik.

Erprobung der Lehrinnovation, Erfolgsbewertung und Risikobewertung

Die Bewertung der Lehrinnovation ist wie oben beschrieben ein zentraler Teil dieses Projekts. Durch die parallele Bewertung des traditionellen und forschungsbasierten Praktikums mit Studierenden aus gleichen Kohorten werden unsere Bewertungen frei von externen Parametern. Die möglichen Risiken können anhand der beiden oben definierten Kategorien bewertet werden: Falls die neue Praktikumsform die wissenschaftlichen Fähigkeiten nicht fördert, müssen wir den Ansatz überdenken. Möglich ist, dass Studierende in dem ersten Kontakt mit forschungsorientierten Praktika zunächst befremdet oder überfordert sind. Hier gilt es, die Betreuer entsprechend zu schulen. Im amerikanischen Sprachraum hat sich die Terminologie eines ‚scaffolding‘ – also Gerüsts – etabliert. Durch

gezielte Unterstützung, die allerdings weit entfernt von durchdachten Anweisungen im traditionellen Praktikum ist, sollen Studierende animiert werden, eigene Gedanken und Herangehensweisen zu erarbeiten.

Im Bereich des Fachwissens ist das größte Risiko die Vernachlässigung einer thematischen Vertiefung auf Kosten der Ausbildung wissenschaftlicher Fertigkeiten. Wir wollen ja die Breite des Praktikums nicht vernachlässigen auf Kosten eines forschungsbasierten Lernens. Das solide Fachwissen ist die Grundlage jeden Forschens. Sollten die statistischen Tests dieses Manko hervorheben, so müssen hier eindeutig Gegenmaßnahmen ergriffen werden, z.B. in Form von kurzen Tutorien vor den Versuchen.

Verstetigung der geplanten Lehrinnovation

Wir werden eine Verstetigung implementieren, wenn die statistischen Tests die forschungsbasierte Lernform im Praktikum als überlegen herausstellen. Unser Projekt wird sich über zwei Jahre erstrecken. Wenn der Erfolg in beiden Kategorien unzweifelhaft klar ist, so werden wir basierend auf den Erfahrungen der Mechanik-Experimente zunächst die Anfängerexperimente in Thermodynamik, Elektrizitätslehre und Optik im Zeitraum eines weiteren Jahres auf forschungsbasiertes Lernen umstrukturieren. Die Atom- und Kernphysik Experimente für fortgeschrittene Studierende werden wir dann innerhalb von 1,5 Jahre umstrukturieren.

Auf einer Zeitskala von 5-10 Jahren werden wir dann auch diese Lehrinnovation in den Physikpraktika für Nebenfachstudierende (Biologie, Ernährungswissenschaft, Erdwissenschaft, Geo-Ökologie, Chemie) einführen. Wir werden unsere Erfahrungen mit den Kollegen aus den fachspezifischen Praktika teilen und versuchen, einen universitätsweiten Konsens über die Lehrstrategie im Praktikum zu erzielen.

Übertragung der Lehrinnovation auf andere Lehr- und Lernsituationen

Zunächst einmal kann die Lehrinnovation auf physikalische Grundpraktika im deutschsprachigen Raum übertragen werden. Ich bin im Arbeitskreis der Praktikumsleiter der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (AG Physikalische Praktika) [8] tätig und werde

dieses Forum nutzen, um mit meinen Fachkollegen Erfahrungen über die Lerninnovation auszutauschen. Zudem bin ich noch immer mit meinen Kollegen aus den USA in Kontakt und habe somit die Möglichkeit Vergleiche zu amerikanischen Lernsituationen zu ziehen und dortige Lernsituationen zu beeinflussen.

Das wissenschaftsbasierte Lernen im Praktikum ist aber nicht nur auf die Physik beschränkt. Im Prinzip sollte es auch auf andere experimentelle Praktika in den Naturwissenschaften anwendbar sein. Dafür müssen dann andere Tests zur Verifizierung der Effektivität entwickelt werden. In Potsdam werden wir das wie oben beschrieben nach dem hier beantragten Projekt vorsehen. Wir haben Chemie- und Biologiepraktika als auch Praktika in den Geowissenschaften mit ähnlichen historisch gewachsenen Ansätzen wie im Physikpraktikum.

Erwartungen an den Austausch mit anderen Fellows

Ich habe mit Freude die bereits geförderten Programme durchgesehen und fühle mich von sehr vielen Themen angesprochen. Besonders interessant würde ich es finden, mit Herrn Prof. Dr. Hanck über die Auswertung meiner Statistiken in R zu diskutieren, mit Prof. Dr. Heiß über seine Erfahrungen im ‚peer learning‘ zu sprechen, oder mit Prof. Dr. Winzker über Erfahrungen mit dem ‚Remote Lab‘ zu diskutieren.

Der Austausch mit Kollegen auf Physik-Konferenzen gehört für mich zur Arbeit im Praktikum. Dieses Fellowship-Programm bietet mir die fantastische Möglichkeit, über den Tellerrand zu schauen und interessante Ansätze aus anderen Disziplinen kennenzulernen. Ich bin mir sicher, dass bei der großen Anzahl an ingenieurwissenschaftlichen Fellows auch interessante Ansätze für die Physik, z.B. in der Integration von Online Medien, dabei sein werden.

Organisatorische Einbindung und Vernetzung innerhalb meiner Hochschule

Seit 2016 bin ich die Leiterin des Grundpraktikums Physik und des Praktikums für das Nebenfach Physik. Meine Stelle ist eine zentrale und permanente Funktionsstelle im Institut für Physik/Astronomie an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät.

Ich tausche mich regelmäßig mit den Lehrenden in der Physik und den Nebenfächern aus. Mein direkter Ansprechpartner im Physikinstitut ist Prof. Dr. D. Neher. Außerdem berate ich mich regelmäßig mit den Lehrenden im Grundstudium der Physik (Prof. Bargheer, Prof. Beta, Prof. Gühr, Prof. Gerhard) und meinen Kollegen in den Fortgeschrittenenpraktika (Dr. Gebert) und dem Didaktikpraktikum (Dr. Magdans). Wir entscheiden zusammen, welche thematischen Schwerpunkte wir setzen wollen und wie wir die Praktika zueinander kompatibel gestalten.

Literatur

- [1] Prof. K. Moler, Stanford University Teaching Commons und "Syllabus" Ihres Physik Praktikum Kurs
- [2] Die Zeit, 23.01.14, nr.05
- [3] Science magazine, Career Trends, 2015
- [4] The Physics Teacher 53, 253 (2015)
- [5] Jo Handelsman et al. Science, Vol. 304, 5670 (2004)
- [6] Louis Deslauriers *et al.* Science 332, 862 (2011)
- [7] Kompetenz hoch 4, Fellowship Hochschullehre Stifterverband 2014
- [8] Siehe: www.physikalische-praktika.de
- [9] Marc Sacher, Physik Journal 13, 6 (2014)
- [10] Karelina and Etkina, Phy. Rev. ST 3, 020106, (2007)
- [11] B. R. Wilcox and H. J. Lewandowski, Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 12, 020132 (2016)
- [12] W. K. Adams et al., Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 2, 010101 (2006)