

FREIE VERSUCHE IM PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN-PRAKTIKUM ZUR ERLANGUNG SELBSTSTÄNDIGER EXPERIMENTIERKOMPETENZ

Paulina Müller, Carsten von Westarp, Dagmar Rokita, Gerwald Lichtenberg
HAW Hamburg, Fakultät Life Sciences, Labor für Physik

ZUSAMMENFASSUNG

Laborveranstaltungen nehmen einen wichtigen Platz in der natur- und ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung ein. Typische Lernziele gehen dabei über grundlegende Kenntnisse im Umgang mit Messgeräten und die Wiederholung von theoretischen Grundlagen hinaus: Laborarbeit soll Studierende befähigen, das Zusammenwirken von Modell und Experiment zu erfassen, sodass Theorien zur Hypothesenbildung herangezogen und Ergebnisse in Bezug auf Messunsicherheiten und Modellannahmen diskutiert werden können. Das Physikkolabor der Fakultät Life Sciences der HAW Hamburg nahm Erfahrungen während der Covid-19 Pandemie zum Anlass, zu hinterfragen, ob vorgefertigte Versuche allein die Kompetenzen naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns ausreichend vermitteln und wie mehr studierendengeführtes Experimentieren bei vergleichbarem Betreuungsaufwand realisiert werden kann. Vorgestellt wird ein hybrides Konzept, das konsekutive Laborversuche mit der selbstständigen Entwicklung eines Experiments verbindet.

Keywords: Laborlehre, Projektbasiertes Lernen, Kompetenzorientierung, Physik

1. AUSGANGSLAGE UND FORMAT IN DER COVID-19 PANDEMIE

Das physikalische Grundlagenpraktikum der Fakultät Life Sciences wird jedes Semester für Studierende verschiedener ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge angeboten. Es hat einen Umfang von 2,5 Creditpoints, ist unbenotet (bestehen/nicht bestehen) und darf maximal zweimal wiederholt werden.

Die für das Physik-Praktikum relevanten Learning-Outcomes des Moduls Physik B sind (Modulhandbuch BC-MT):

„Die Studierenden wenden physikalische Gesetze auf technische Anlagen und Prozesse an, um experimentelle Ergebnisse vorauszusagen, messtechnisch zu überprüfen, informationstechnisch zu bearbeiten und zu dokumentieren. Sie analysieren Hypothesen mit Hilfe physikalischer Gesetze um Fehler in Aussagen, Ableitungen und Rechnungen zu finden und wissenschaftliche Laborarbeit durchzuführen.

Die Studierenden erarbeiten sich selbstständig physikalische Inhalte und Methoden, erklären sich physikalische Zusammenhänge und Experimente, reflektieren die Verbindungen zwischen Theorie und Experiment, kommunizieren fachbezogen in der Gruppe und mit den Lehrenden.“

Vor der Covid-19 Pandemie bestand die Veranstaltung aus sechs festgelegten physikalischen Experimenten mit steigendem methodischem und fachlichem Anspruch, die von Studierenden in Zweiergruppen an betreuten Terminen im Labor durchgeführt und in Protokollen verschriftlicht wurden. Zur

Entwicklung der Lehrziele und als Basis zur Bewertung der Studierenden war bereits ein kompetenzorientiertes Konzept (Reis, 2015 und Reis, 2018) erstellt worden, das den Lehranspruch an das Praktikum in das Learning Outcome und Niveaustufen definiert. Für die verschiedenen Teile der Laborarbeit (Hypothese formulieren, Durchführen, Ergebnisdiskussion) sind jeweils Mindestniveaus formuliert, die zum Bestehen der Veranstaltung erreicht werden müssen.

Der Beginn der Pandemie erforderte die Umstellung auf ein remote-durchführbares Konzept. Die Lehrenden entwickelten einfache Versuche, die mit haushaltsüblichem Material von den Studierenden zuhause durchgeführt werden konnten, allerdings erwies sich der Nachweis der definierten Kompetenzen in diesem Setting als schwierig: statt durchzuführende Versuche durch Themenvorträge zu ersetzen oder Simulationen zu diskutieren, entstand die Idee, die vorhandene Kompetenzorientierung zur Öffnung des Konzepts zu nutzen. Neben mit Videomaterial und Online-Inhalten unterstützten Heimversuchen, wurde das Entwickeln eines eigenen Versuchs inklusive Recherche und Hypothesenformulierung, selbstständiger Durchführung und anschließender Videopräsentation Bestandteil des Praktikums. Dank des neuen Veranstaltungsdesigns musste trotz des Ausfalls sämtlicher Präsenzlehre nicht auf selbst durchgeführte Experimente verzichtet werden, doch es zeigten sich auch weitere Vorteile. Viele Studierenden legten ein hohes Maß an Kreativität und Motivation an den Tag und das eigenständige Design der Versuche und Auswertung ermöglichte eine direkte und transparente Beurteilung der Studierendenkompetenz. Schwierigkeiten traten zum Teil bei Studierenden auf, insbesondere, wenn die freien Versuche im Kontrast zu der Erwartungshaltung standen. In den Abschluss der selbstständigen Phase wurden Peer-Feedback und Reflexion in der Gruppe eingebaut, wodurch die Präsentation der eigenen Projektarbeit mit anschließender Gruppendiskussion

noch praxisnähere Züge aufweist und der freie Versuch insgesamt einen vollständigen Forschungskreis abzubilden versucht (Huber, 2014).

Außerhalb des Labors war die Auswahl der Messgeräte und Materialien stark eingeschränkt. Alle Studierenden verfügten über einfache Längenmessgeräte wie Gliedermaßstab oder Lineal sowie Zeitmessgeräte wie Stoppuhren. Flexibel und umfangreich konnten Smartphones und ihre eingebaute Sensorik genutzt werden. Als besonders zweckmäßig erwies sich die App „phyphox“ (Staaks, 2018), entwickelt an der RWTH-Aachen, die nicht nur das Auslesen und Auswerten der Daten der Sensoren ermöglichte, sondern auch eine Fülle an Versuchsanleitungen bot. Daneben wurden alltägliches Material wie zum Beispiel Laserpointer, CDs, Fahrräder mit Tachometer, Spielplatzwippen, eine Half-pipe, Trinkgläser oder eine Konservendose mit viel Kreativität fürs Experimentieren genutzt. Trotz den Einschränkungen gelang es so, eine breite Auswahl von Themen und Experimenten umzusetzen.

2. UMGESTALTUNG DER PRÄSENZLEHRE NACH DER PANDEMIE

Ab dem Sommersemester 2021 war die Nutzung der Laborräume wieder möglich. Ein von den Studierenden entwickelter freier Versuch blieb aber weiterhin Bestandteil des Praktikums um den Anteil erstrebenswerter (Dressel, 2013) projektbasierter und problemzentrierter Lehre beizubehalten. Das Konzept seit 2022 teilt die Veranstaltung in zwei Phasen: eine Laborphase, die drei vorgegebene Versuche mit direkter Betreuung durch Lehrende umfasst, und eine freie Phase, in der die Studierenden ein Experiment selbst entwerfen, durchführen und auswerten. Nach einem Diskussionstermin mit dem Betreuerteam

	Physikalische Theorie	...	Ergebnisse
1	Theorie mit großen Defiziten (unvollständig, nicht notwendige Teile, Konzeptfehler)	...	Unvollständige und nicht sinnvolle Darstellung
2	Weitgehend vollständig, aber nicht notwendige Teile oder Konzeptfehler	...	Unkritische Darstellung der Ergebnisse
3	Vollständige Theorie ohne Konzeptfehler, muss nicht konsistent sein	...	Übersichtliche Darstellung ohne Plausibilitätskontrolle
4	Konsistente, funktionale Theoriebildung ohne Bezug auf Hypothese	...	Übersichtliche, vollständige Darstellung der Ergebnisse + grobe Fehlerabschätzung
5	Konsistente, funktionale Theoriebildung mit Bezug zur Hypothese	...	Vollständige Darstellung der Ergebnisse + fehlerfreie Fehlerrechnung

© LS Physiklabor

Abb. 1: Die Spalten „Physikalische Theorie“ und „Ergebnisse“ der zur Beurteilung zugrunde gelegten Kompetenzmatrix. Mindestanforderung ist Stufe drei (hellgrün).

wird die Versuchsidee „freigegeben“, weitere Unterstützung erfolgt auf Anfrage der Studierenden. Abschluss der Veranstaltung stellt die Präsentation des freien Versuchs und der Ergebnisse vor der gesamten Praktikumsgruppe dar, bei der auch die abschließende Bewertung nach der Kompetenzmatrix stattfindet. Die Stufen der Matrix sind in Abbildung 1 exemplarisch für die zwei Kategorien „Physikalische Theorie“ und „Ergebnisse“ dargestellt.

Es muss in allen Kategorien ein Mindestniveau erreicht werden, außerdem können Fehlleistungen im freien Versuch nicht durch gute Leistungen bei den Laborversuchen ausgeglichen werden. Die Präsentation der selbstständigen Laborarbeit als Prüfung verbindet Learning Outcome, Lernaktivität und Überprüfung im Sinne des Constructive Alignments (Baumert, 2013).

Die drei Labortage sollen die Studierenden deshalb sukzessive auf die verschiedenen Anforderungen, die im freien Versuch gestellt werden, vorbereiten. Schwerpunkte sind die Abschätzung von Messunsicherheiten und Fehlerfortpflanzung, die Formulierung einer Hypothese, die Kriterien genauer und präziser Messungen sowie die Diskussion von Modellannahmen und deren Realisierung bzw. Grenzen der Realisierung. Enge Betreuung im Labor und individuelle Diskussion der schriftlichen Protokolle ermöglichen die wiederholte Spiegelung der fachlich richtigen Ergebnisse, Vorgehen oder Schlussfolgerungen. Gleichzeitig wird der Umfang des unterstützenden Materials von Versuch zu Versuch reduziert: zu Beginn wird Vorbereitungs material in schriftlichen und Videoformaten, eine Protokollvorlage, ein Musterprotokoll und Übungsmaterial zur Verfügung gestellt. Im zweiten Versuch erhalten die Studierenden noch eine Anleitung

mit theoretischen Grundlagen und wieder eine Protokollvorlage, im dritten Versuch nur noch ein Aufgabenblatt und eine Literaturempfehlung. Die Studierenden sollen in der ersten Phase die Prinzipien des experimentellen Arbeitens verinnerlichen und gleichzeitig erfahren, wie ihr Eigenanteil und ihre Selbstständigkeit zunimmt, da sich die Unterstützung verringert.

3. BEWERTUNG DER LEHRENDEN

Die Betreuenden, zum Teil mit langjähriger Erfahrung, beobachteten keine nennenswerte Verunsicherung der Studierenden beim Wechsel von der betreuten in die freie Phase. Da die Learning Outcomes beim Konzeptwechsel über die Pandemie hinweg dieselben blieben, stützt auch die vergleichbar gebliebene Durchfallquote den Eindruck der Lehrenden, dass die Diskontinuität des Lehrformats keine unzumutbare Hürde darstellt. Umfang und Komplexität der von den Studierenden entworfenen Versuche variiert und es zeigt sich, dass die große Freiheit der Studierenden, Thema, Hypothese und Aufbau selbstständig zu entwickeln, zu einer großen Breite von Anspruch und Leistung führt. Teilweise werden komplexere Themen nach eigenem Interesse gewählt, teilweise Experimente realisiert, die bereits bekannt oder mit wenig Aufwand recherchierbar sind, und einige Studierende wählen ihren Versuch mit dem strategischen Ziel, den Arbeitsaufwand zu minimieren. Die Erfahrungen zeigen die Möglichkeit einer Klassifizierung der unterschiedlichen Herangehensweisen an die Projektkonzeption, die im Folgenden anhand realer Beispiele illustriert wird:

Innovativ: Eine Gruppe entwarf ein dreidimensionales Objekt mit drei verschiedenen geformten Rampen unterschiedlicher Krümmungen und produzierte es selbstständig im

Studierendenlabor. Ihre Hypothese, dass die am stärksten gebogene Bahn die schnellste sei, untersuchten sie mithilfe von Laufzeitmessungen für verschiedene Kugeln.

Problemzentriert: Eine zweite Gruppe untersuchte Tangential- und Winkelgeschwindigkeit einer herabrollenden Röhre. Zur Messung der Geschwindigkeit wurde eine Methode gewählt, die Phyphox anbietet, und die Hypothese analog zu den Laborversuchen im Hinblick auf die Präzision der Messung formuliert und diskutiert.

Minimal: Eine letzte Gruppe untersuchte den Zusammenhang zwischen Endgeschwindigkeit und Höhe einer schiefen Ebene, entsprechend einer Beispielrechnung auf Vorlesungsfolien. Der Versuch wurde mit möglichst einfachen Mitteln (Laufzeitmessung mit Stoppuhr) umgesetzt und die Ergebnisse mit der bekannten Formel verglichen.

Die Lehrenden müssen innerhalb der Betreuung der freien Versuche die Vergleichbarkeit der Leistungen steuern, beobachten aber die Vorzüge des Veranstaltungskonzepts in der ganzheitlichen Forderung der verschiedenen Kompetenzen. In vorgegebenen Versuchen wird die Hypothese zu Anfang des Protokolls als Pflichtanforderung ausgefüllt und wenig beachtet. In den freien Experimenten erleben die Studierenden hingegen oft, dass eine schwache Hypothese zu schwer auswertbaren Versuchen führt. Bei der Durchführung können sie ihre kreative Lösungskompetenz entwickeln, da bei Problemen, die häufig auch bei vermeintlich simplen Messungen auftreten, nicht unmittelbar Hilfe zur Verfügung steht. Außerdem zeigt sich, dass die Entwicklung eigener Zielvorstellungen für die Ergebnisauswertung einen Schritt über das Bearbeiten gestellter Aufgaben hinausgeht. Bei der Abschlusspräsentation profitieren die Studierenden dann von der Auseinandersetzung mit den diversen Ansätzen der verschiedenen Gruppen.

Auf der anderen Seite erfordert der starke methodischen Fokus Einschnitte: physikalisch-fachlicher Umfang geht verloren. In lediglich drei Laborversuchen lassen sich nur begrenzte Themen bearbeiten, so sind zum Beispiel schon zwei von diesen aus dem Bereich klassische Mechanik und auch viele der freien Versuche verbleiben in diesem Feld. Aufwändigere Experimente, alltagsfernere Phänomene und Physik mit Faszinationsfaktor sind weggefallen. Der Bruch im Format ist kritisch zu hinterfragen: die grundlegenden Kompetenzen müssen in nur drei Labortermen entwickelt werden, gleichzeitig haben die Studierenden nur einen freien Versuch und können ihre Fähigkeiten nicht mehr iterativ verbessern.

Zu beachten ist der spezifische Kontext der Veranstaltung: mit der Regelstudienplatzierung der Veranstaltung im 2. und 3. Semester und in den heterogenen Gruppen mit diversen Bildungsbiografien und unterschiedlichen Studienfächern, profitieren viele der Studierenden von den breiten methodischen Entwicklungsmöglichkeiten. Curriculumsintegriert gedacht, gestaltet der freie Versuch eine wertvolle frühe Erfahrung von wissenschaftlicher Auseinandersetzung mit einer selbst gestellten Fragestellung.

4. FEEDBACK DER STUDIERENDEN

Insbesondere die Frage, ob Studierende den Bruch zwischen Labor und freier Phase begrüßen oder das zweigeteilte Konzept kritisch sehen, motivierte das Betreuerteam eine Evaluation durchzuführen. Eine Befragungsrunde fand am Ende der Veranstaltung in einer Semesterkohorte statt, außerdem wurden Fragebögen zur Bewertung der Veranstaltung an Studierende geschickt, die vor längerer Zeit das Praktikum belegt hatten. Der Rücklauf in dieser Gruppe war gering ($N_1=14$), während in der Semesterkohorte sämtliche Studierende, die das

Praktikum aktuell belegt hatten, an der Befragung teilnahmen ($N_2=63$). Beide Fragebögen basierten auf einer fünfstufigen Likert-Skala, um die Meinung der Studierenden zu erfassen.

In beiden Befragungen erreichte die Gesamtbewertung der Veranstaltung die Durchschnittsnote „gut“ ($N_2: \bar{x}=1,98/\sigma=0,83$ und $N_1: \bar{x}=1,78/\sigma=0,55$) auf einer Skala von „sehr gut“ (1) bis „mangelhaft“ (5). 85% der ehemaligen Teilnehmenden und 93% der Semesterkohorte stimmten der Aussage, das Praktikum fördere das selbstständige Arbeiten zu oder „voll und ganz“ zu. Der Anteil der Zustimmenden zu der Aussage „die Veranstaltung war durch die zwei Phasen interessanter“ lag für die letztere Gruppe bei etwa 70%, wohingegen 17% angaben, ein einheitliches Format zu befürworten. Die negative Korrelation zwischen den Items war weniger deutlich, als der komplementäre Charakter der Aussagen vermuten ließe ($r=-0,22$). Lediglich drei der 63 Studierenden der Semesterkohorte meldeten eindeutige Überforderung mit dem freien Versuch, 13 stimmten der entsprechenden Aussage zumindest teilweise zu. Eine positive Korrelation mit der Angabe, nur betreute Versuche bevorzugt zu haben, lag nicht vor ($r=-0,14$). Zur Beurteilung des Langzeitziels wurden die ehemaligen Teilnehmenden dazu befragt, ob das Physikpraktikum sinnvolle grundlegende Kenntnisse vermittele, was 70% der Antwortenden bestätigten. Die Bewertung, ob das Praktikum Spaß bereitet hätte, erhielt im Durchschnitt die Note gut.

Insgesamt lässt sich aus der Evaluation schließen, dass das zweiteilige Format den Studierenden keine besonderen Schwierigkeiten bereitet und die Veranstaltung dadurch als interessanter beurteilt wird. Für einen Vergleich, ob die Studierenden zu einem späteren Zeitpunkt im Studium ein reines betreutes Laborpraktikum oder die zweiphasige Veranstaltung als lehrreicher empfinden, fehlen leider Daten, da die Teilnahme der Kohorte der nach längerer Zeit befragten Studierenden

nicht bis vor die Umstellung zurückreicht. Geplant ist, die Feedbackbogen in ähnlicher Form allen kommenden Praktikumsgruppen vorzulegen, und verstärkt zu versuchen, Studierende dazu zu befragen, ob sie ihren Lernerfolg in Laborversuchen oder freiem Experiment höher einschätzen.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Die Erfahrungen im physikalischem Grundpraktikum der Fakultät Life Sciences der HAW Hamburg zeigen, dass klassische Formate mit angeleiteten Versuchen gut um einen freien Versuch ergänzt werden können, trotz des didaktischen Bruchs in der Mitte des Semesters.

Der Anspruch, die Veranstaltung kontinuierlich zu verbessern besteht weiterhin – so ist etwa die Einführung eines zwei-Wege Modells im Gespräch, bei dem die Studierenden zwischen anspruchsvolleren Laborversuchen oder einer selbstständigen Projektarbeit wählen können, um zum Beispiel fachlich Interessierten die Möglichkeit zu bieten, weitere Gebiete der Experimentalphysik zu entdecken. Die begleitende Evaluation soll in ähnlicher Form beibehalten werden, um langfristig Aussagen über den Erfolg der Veranstaltung und die Weiterentwicklungen treffen zu können.

Literatur

Baumert, B. & May, D. (2013). Constructive Alignment als didaktisches Konzept: Lehre planen in den Ingenieur- und Geisteswissenschaften. *Journal Hochschuldidaktik*, 24(1-2), 23-27. <https://doi.org/10.17877/DE290R-7122>

Huber, L. (2014). Forschungsbasiertes, forschungsorientiertes, forschendes Lernen – alles dasselbe? Ein Plädoyer für eine Verständigung über Begriffe und Unterscheidungen im Feld forschungsnahen Lehrens und Lernens. *Das Hochschulwesen*, 62(1-2), 22-29.

Dressel, K., Jorzik, B., & Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft. (2013). Lehren – Lernen – Prüfen. In B. Jorzik & Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (Hrsg.), *Charta guter Lehre* (S. 11-23). Stifterverband.

Reis, O. (2015). Learning Outcomes als diagnostisches und didaktisches Instrument. In F. Bock, A. Henkelmann, & C. Handschuh (Hrsg.) *Kompetenzorientierte Kirchengeschichte*. (S. 17-35). LIT Verlag.

Reis, O. (2018). Lehre und Prüfen aufeinander ausrichten. *DUZ* 03/2018, 67-69.

Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics Education*, 53(4), 045009. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e>

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. (2020). *Modulhandbuch Bachelor Medizintechnik, Fakultät Life Sciences*. <https://www.haw-hamburg.de/bachelor-medizintechnik-studierende/>

Angaben zu den Autorinnen und Autoren

Paulina Müller

WiMa HAW Hamburg seit 2024, M.Sc. Physik an der TU Darmstadt, vormals Business Consultant in der Softwareentwicklung.

Carsten Westarp

WiMa HAW Hamburg seit 2012, Dipl.-Phys. Universität Hamburg, vormals Applikationsingenieur Inteltek Nord.

Dagmar Rokita

WiMa HAW Hamburg seit 2007, Honorar Prof. Deutsch-Kasachische Universität Almaty, Dr.-Ing. TU Hamburg, Dipl.-Geophys. Uni Hamburg, DV Convent GmbH Hamburg, HHLA Hamburg.

Gerwald Lichtenberg

Prof. Physik, HAW Hamburg, wiss. Leitung Anwendungszentrum ILES des Fraunhofer IWES, Habilitation Systemtheorie TUHH, Dr.-Ing. Regelungstechnik TUHH, Dipl.-Phys. Uni Hamburg, vormals Leitung ZLL der TUHH, Projektleiter IBM.