

Die Spannung steigern

Laborpraktika didaktisch gestalten



Impressum

Schriften zur Didaktik in den Ingenieurwissenschaften Nr. 3

Hamburg 2015

Herausgeber

Zentrum für Lehre und Lernen (ZLL)
(hier: Mirjam Sophia Gleßmer, Sönke Knutzen,
Peter Salden)
www.tuhh.de/zll

Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH)
Am Schwarzenberg-Campus 3 (E)
21073 Hamburg

Layout, Satz und Gestaltung

Viktoria Constanze Schneider

Titelbild

Viktoria Constanze Schneider

Bildnachweis

TUHH/Gabi Geringer, S. 7; TUHH/ Lina P. A.
Nguyen, S. 9, 25, 41; Alette Winter, S. 15; Viktoria
Constanze Schneider, S. 22; Alexander Tscheulin,
S. 26; TUHH/Alina Gruhn, S. 27; Siska Simon, S.
28, 51; Johannes Art, S. 48

GEFÖRDERT VOM



Dieses Vorhaben wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01PL11047 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren. Gemeinsames Bund-Länder-Programm für bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre.

 Diese Publikation ist unter folgender Creative-Commons-Lizenz veröffentlicht: BY-NC-ND
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de/>

In dieser Reihe bereits erschienen:



Grußwort

In unserem Engagement für erfolgreiches Lehren und Lernen setzen wir an der Technische Universität Hamburg-Harburg nicht zuletzt darauf, die Begeisterung der Studierenden für technische Phänomene zu wecken und weiter zu fördern. Das gemeinsame Arbeiten an kleinen Aufgaben und Projekten und das forschende Erkunden von Zusammenhängen sind dabei Faktoren, die Studierende zum Lernen motivieren und aus denen Studienerfolg wächst.

Laborpraktika sind Veranstaltungen, in denen sich dies besonders gut umsetzen lässt. Gerade auch in ihnen wird die Faszination für die Studienfächer einer technischen Universität lebendig und greifbar. Denn für die Studierenden ist das Laborpraktikum die Gelegenheit, relevante theoretische Phänomene auch mithilfe von praktischen Erfahrungen zu verstehen. Die Labore ergänzen und erweitern damit die Lernmöglichkeiten, die durch die klassischen Lehrformate geboten werden.

Mit dem Thema „Laborpraktika“ erschließen wir in der vorliegenden Broschüre einen wichtigen Baustein für gelungenes Lehren und Lernen im MINT-Bereich, der lange zu wenig Beachtung erfahren hat. Doch gerade auch praktische Tätigkei-



ten müssen mit Bedacht in Lernprozesse integriert und mit theoretischer Reflexion eingerahmt werden. Auf den folgenden Seiten zeigen wir vielfältige Möglichkeiten, dies erfolgreich zu tun.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre!

Prof. Dr. Sönke Knutzen
Vizepräsident Lehre der TUHH

Inhaltsverzeichnis

Grußwort	3	Das Laborpraktikum nachbereiten und Feedback geben	34
Inhaltsverzeichnis	4	Rückmeldung geben - mit oder ohne Note	36
Im Laborpraktikum kritisches Denken fördern	6	Zeitpunkte für Feedback	37
Ein Praktikum didaktisch planen	10	Selbsttests als Reflexionsmethode zum Wissensstand und zur Haltung	38
Lernziele bestimmen und formulieren	12	Lernzuwachs für das Lernziel „Versuchsplanung“ messen: der EDAT-Test	39
Ein Laborpraktikum mit dem Einheitenraster planen	13	Ergebnisse auf Postern präsentieren	40
Experimente ergebnisoffen anlegen	14	Ein Protokoll schreiben lassen und betreuen	41
Begleitmaterial erstellen	15	Selbstständiges Überarbeiten fördern: Checkliste zur Überarbeitung eines Protokolls	42
Online-Vorbereitung auf das Laborpraktikum	16	Peer Feedback zu Protokollen anleiten	44
Screencasts für das Selbststudium bereitstellen	17	Lehrqualität im Praktikum verbessern	45
Open Educational Resources für das Selbststudium	18	Service	46
Das Lernportfolio im Laborpraktikum	19	Das ZLL	46
Im Labor	20	Weiterqualifizierung	49
Denkprozesse mit aktivierenden Methoden anregen	22	Abteilung für Fachdidaktik der Ingenieurwissenschaften	50
Gedankenexperimente zur Auseinandersetzung mit Theorie	23	Literatur	52
Über Beobachtungen sprechen	24		
Peer Instruction im Praktikum	25		
Studierende durch Fragen aktivieren	26		
Problemorientiertes Arbeiten im Labor	27		
Gruppen einteilen	28		
Gruppen organisieren	29		
Rollen im Labor	30		
Werkzeuge für gemeinsames Schreiben	31		
Den Austausch zwischen Gruppen fördern	32		
Ergebnisdiskussion und Versuche weiterdenken	33		

Im Laborpraktikum kritisches Denken fördern

Laborpraktika sind in Ingenieurs- und Naturwissenschaften traditionell ein Teil der Lehre. Doch obwohl sie von Studierenden wie Lehrenden geschätzt werden, gibt es auch Stimmen, die ihren Sinn in Frage stellen. Ein Hauptkritikpunkt ist, dass Laborpraktika keine effiziente Methode der Wissensvermittlung darstellen. Diese Kritik wird unter bestimmten Bedingungen von der Lehr-Lernforschung gestützt (z. B. Hart u. a. 2000).

Wo liegen die Probleme? Studierende sind in Praktika oftmals vor allem damit beschäftigt, die vorliegenden praktischen Arbeitsschritte auszuführen, anstatt sich auf das Verständnis der ablaufenden Prozesse zu konzentrieren. Hierzu trägt auch bei, dass Praktikumsversuche durch die Vielzahl gleichzeitig im Blick zu behaltender Dinge kognitiv recht anspruchsvoll sind. Letztlich ist Studierenden oftmals auch der Bezug von Laborexperimenten zu anderen Inhalten ihres Studiums unklar.

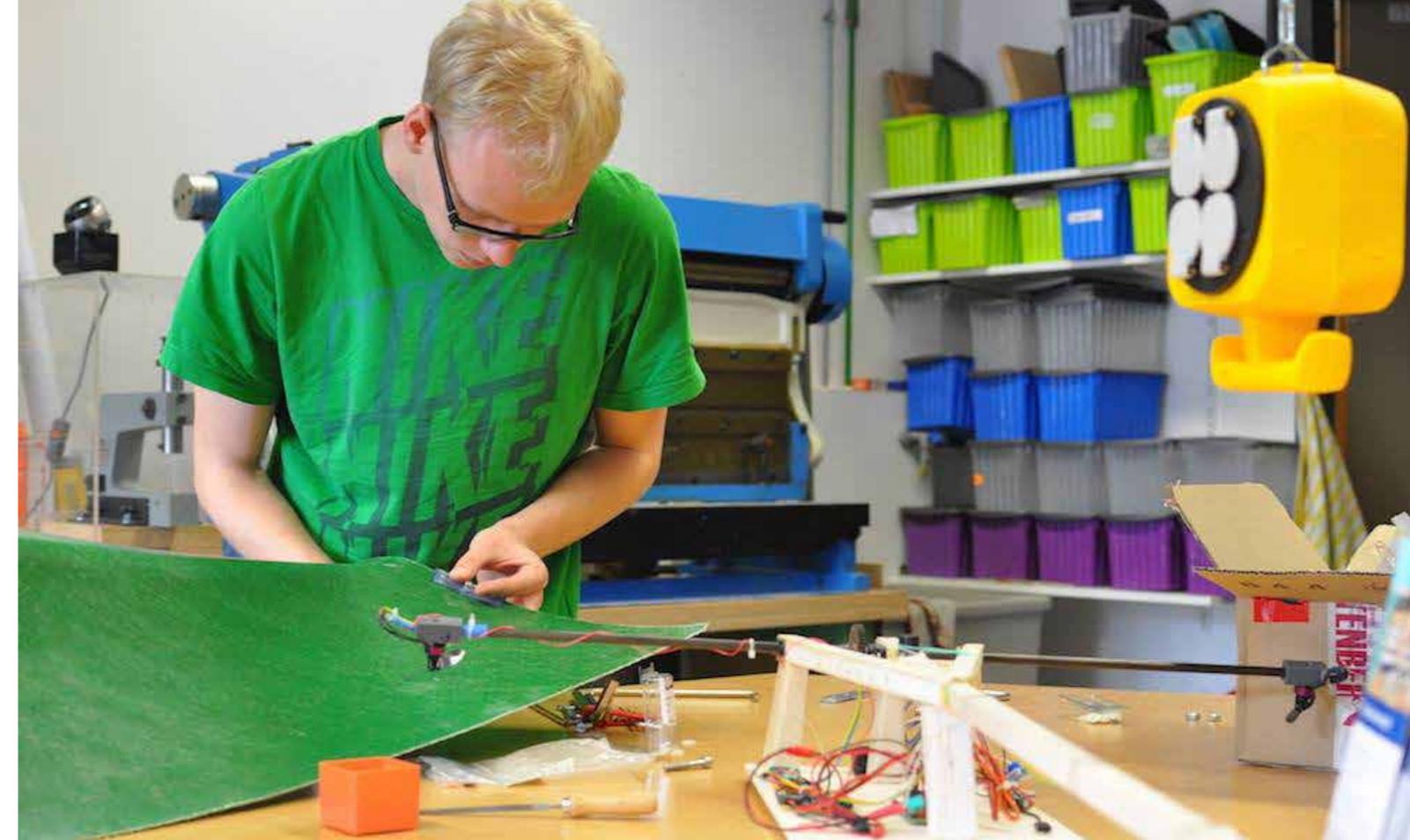
Die gute Nachricht: Es lässt sich durchaus beeinflussen, ob ein Laborpraktikum für die Studierenden gewinnbringend ist oder nicht. Eine Hilfestellung ist für die Studierenden hierbei die klare Unterscheidung zwischen dem Ziel des Praktikums und seinem Zweck: Ein Ziel eines Versuchs wäre z. B., mit einem Oszilloskop den Verlauf einer Spannung über die Zeit zu messen. Der mit der Durchführung des Versuchs verfolgte Zweck wäre

dann z. B., den Umgang mit einem Oszilloskop zu lernen, die Abhängigkeit der Spannung von anderen Größen zu erkennen, die Zusammenarbeit in einer Gruppe zu üben oder aber wissenschaftliches Arbeiten zu erlernen. Entscheidend ist der Zweck (oder, didaktisch gesprochen, das Lernziel): Nur wenn Studierende wissen, dass es hauptsächlich um einen konkreten Lernprozess geht und nicht darum, am Ende eine korrekte Messung mit optimalen Ergebnissen durchgeführt zu haben, können sie sich auf das Wesentliche, den Lernprozess, konzentrieren.

Kritisches Denken im Laborpraktikum

Laborpraktika eröffnen durch die Kleingruppenarbeit und einen guten Betreuungsschlüssel die Möglichkeit, individueller als in anderen Veranstaltungen auf Studierende einzugehen. Sie geben außerdem die Gelegenheit, Arbeiten eines Ingenieurs bzw. einer Ingenieurin zu üben, berufstypische Arbeitsabläufe zu erleben und, nicht zuletzt, das vielbeschworene kritische Denken zu fördern.

Kritisches Denken kann auch im Rahmen der Gestaltung ingenieurwissenschaftlicher Lernprozesse definiert werden als die Untersuchung einer Frage oder eines Problems mit Blick auf die Bildung einer Hypothese oder einer Schlussfolgerung. Dabei können bzw. sollen im Untersuchungsprozess alle Annahmen aktiv hinterfragt werden (vgl. Kurfiss



1988). Kritisches Denken ist somit Voraussetzung und Nährboden jeglicher wissenschaftlichen Arbeit.

Als grundlegender Bestandteil von Forschung und Lehre gehört es zu den Hauptzielen von Universitäten, die Fähigkeit der Studierenden zu kritischem Denken zu fördern. Dies vollzieht sich nicht automatisch, sondern erfordert kontinuierliche Übung und die Unterstützung durch Lehrmethoden, die konkrete Probleme und deren Diskussion fokussie-

ren (Meyers 1986). Hierfür können kleine didaktische Elemente eingesetzt werden wie z. B.

- das Einholen von offenen Fragen zu durchgeführten Experimenten und deren Aufgreifen in der nächsten Unterrichtseinheit (Angelo 1995),
- widersprüchliches Material zu Inhalten des Praktikums austeilen und Studierende dazu diskutieren lassen (Strohm/Baukus 1995),
- Gruppenarbeit mit Peer- und Lehrenden-Feedback (Cooper 1995).

Viele weitere Methoden unterschiedlichen Umfangs werden in den nachfolgenden Kapiteln dieser Broschüre vorgestellt.

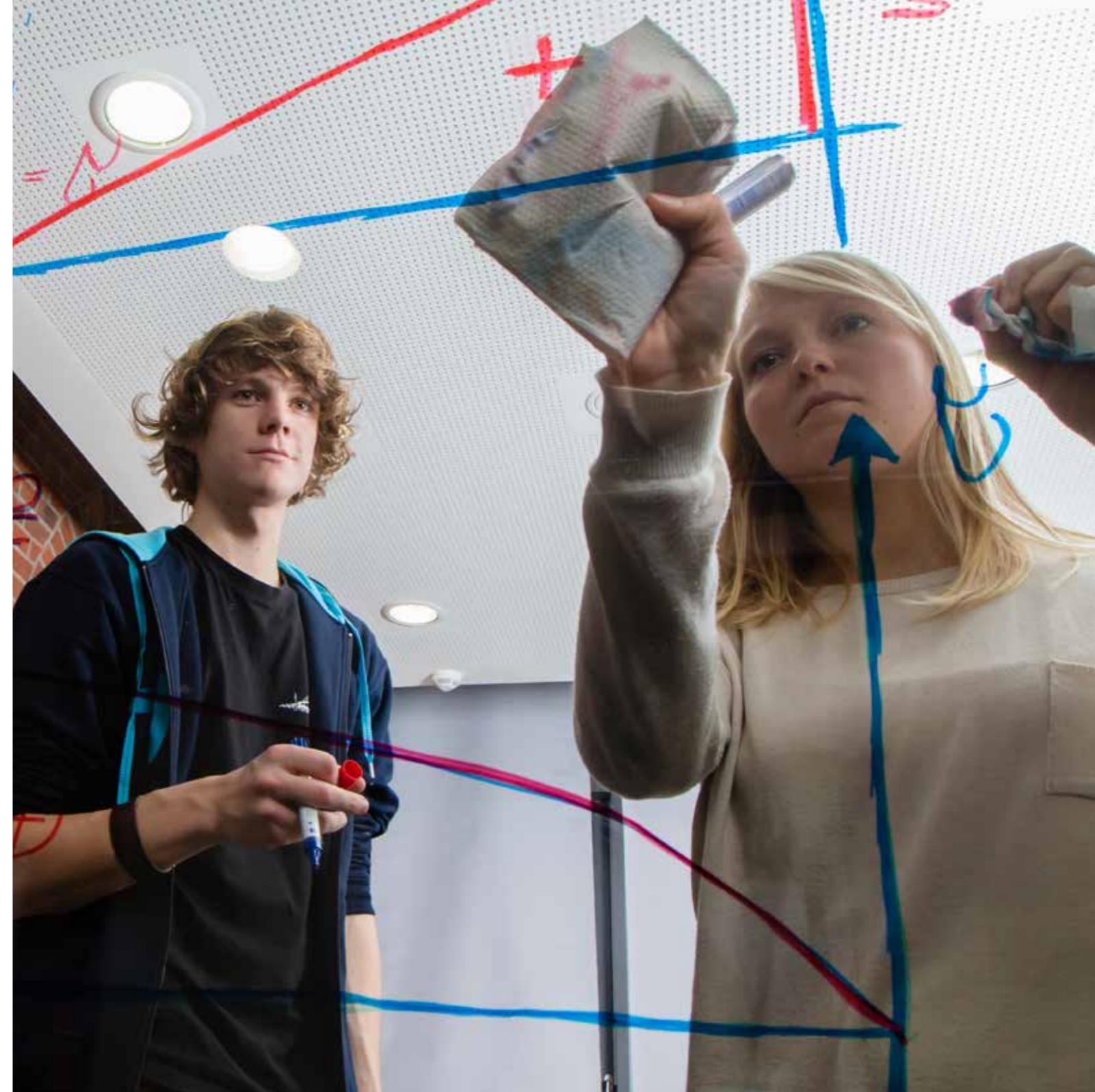
Vom kritischen Denken zum forschenden Lernen

Von der Förderung kritischen Denkens ist es kein weiter Weg zur Gestaltung der Laborarbeit als Forschungsprozess. Denn im Laborpraktikum können Studierende forschend lernen, indem sie allein oder in der Gruppe Schritte eines Forschungsprozesses selbstständig erfahren. Es können Versuche mit Fragestellungen vorgegeben werden, die zwar in der Forschung schon gelöst, für die Studierenden aber neu sind. Dabei kann auf Zufallsfunde, erhellende Momente und Umwege des Versuchs eingegangen werden oder die Experimente können sogar ergebnisoffen gestaltet werden (► S. 14). In einer anderen Variante können die Lernenden eine Frage nur lösen oder gar selbst formulieren, wenn sie den aktuellen Forschungsstand aufarbeiten, daraus eigene Thesen entwickeln und relevante Methoden für die Durchführung von Versuchen begründet selbst auswählen. Dies macht eine

flexiblere Organisation der Laborpraktika nötig, verlangt von den Studierenden aber auch, ihre Untersuchung planvoll mit den gegebenen Laborressourcen in Einklang zu bringen (vgl. Weaver/Russell/Wink 2008).

Oftmals kommen Studierende erst spät in ihrem Studium mit aktuellen Forschungsfragen in Kontakt. Dabei ist es sehr motivierend, Einblick in die aktuelle Arbeit der eigenen Professorin bzw. des eigenen Professors zu erhalten. Laborpraktika geben einen passenden Rahmen, Studierende früh an Fragen, Themen und Methoden von Forschung und Entwicklung des jeweiligen Fachs heranzuführen. Vor allem geht es darum, dass Studierende selbst forschend agieren und Prozessschritte immer selbstständiger durchlaufen – begonnen bei der Identifikation eines Forschungsproblems bis hin zur Präsentation und Diskussion von Ergebnissen.

Ulrike Herzog, Mirjam Sophia Gleßmer, Klaus Vosgerau



Ein Praktikum didaktisch planen

Wie stimme ich Lernziele, Lehr-Lerngeschehen und Prüfungen ab? Wieso sollten Lehrveranstaltungen „rückwärts“ geplant werden?

Ein hilfreicher Ansatz zur Planung und Gestaltung von Lehrveranstaltungen ist das Constructive Alignment (Biggs 2007). Praktisch bedeutet es, die ganze Veranstaltung „rückwärts“ zu planen.

Was ist Constructive Alignment?

Die Kernidee des Constructive Alignment ist, dass schon bei der Planung von Lehre Lernziele, Prüfungen und Lehr-/Lerngeschehen systematisch abgestimmt werden. Nicht nur der Stoff ist dabei der Ausgangspunkt, sondern das, was die Studierenden damit im Hinblick auf anschließende Veranstaltungen oder spätere Berufe tun können sollen.

Diese Grundidee gilt nicht nur für die einzelne Veranstaltung, sondern für den gesamten Studiengang: Auch ein Studiengang sollte in seinem Verlauf und seinen Modulzielen ausgehend von dem Wissen und den Fertigkeiten konzipiert werden, die die Studiengangabsolventinnen und -absolventen am Ende aufweisen sollen.

Warum Constructive Alignment?

Constructive Alignment hilft dabei,

- Lernziele transparent zu machen,
- Lernziele, Prüfung und Lehr-/Lerngeschehen aufeinander abzustimmen und
- den Fokus nicht nur auf Inhalte, sondern auf die Aktivitäten der Studierenden zu legen – d. h. darauf, was sie mit einem Inhalt tun können sollen.

Wie plane ich im Sinne des Constructive Alignment?

Im ersten Schritt müssen die Lernziele geklärt werden (► S. 12). Was genau sollen Studierende nach Teilnahme an dem Praktikum können? Zur Lernzielbestimmung gehört auch die Bestimmung der Kompetenzen, die man bei den Studierenden schon zu Beginn des Praktikums voraussetzt, und derer, die für nachfolgende Veranstaltungen vorausgesetzt werden.

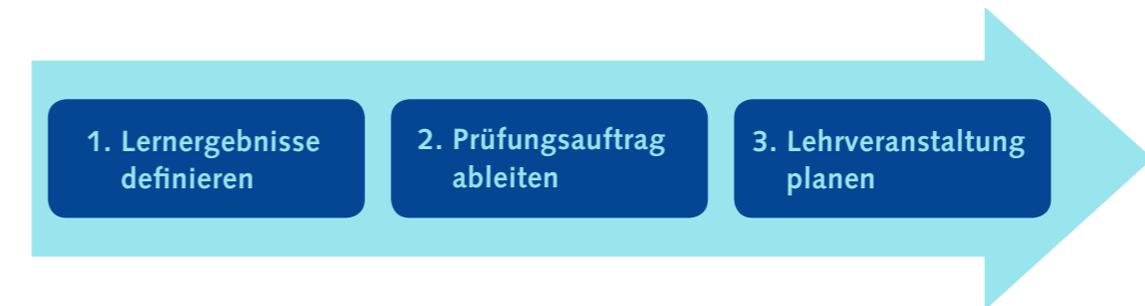
Dann kommt man an den Punkt, ab dem man im Sinne des Constructive Alignment „rückwärts“ vorgeht: Im zweiten Schritt muss geklärt werden,

welche Art von Prüfung die im Praktikum zu erwerbenden Kompetenzen am besten prüfen kann. Davon handelt das letzte Kapitel der vorliegenden Broschüre (► S. 34). Welche Situationen können herbeigeführt werden, in denen die Studierenden die Fertigkeiten anwenden, um zu zeigen, dass sie diese beherrschen? Ist eine schriftliche, mündliche oder praktische Prüfung angemessen? Zu diesen Überlegungen gehört auch die Frage, wie zusätzlich zur Prüfung am Ende des Semesters schon semesterbegleitend Feedback gegeben werden kann, so dass die Studierenden immer über ihren Lernstand informiert sind und nötigenfalls nachsteuern können.

Im dritten Schritt – zu finden im vorletzten Kapitel dieser Broschüre – muss dann die Form des Lehr-/Lerngeschehens festgelegt werden (► S. 20). Zum Beispiel können Gruppenarbeiten oder aktivierende Methoden in die Präsenzveranstaltungen eingeplant werden, die ganze Veranstaltung kann

entlang eines Projekts oder Problems gestaltet oder ein begleitendes Portfolio geführt werden. Auch bei diesem Planungsschritt ist entscheidend, dass das Veranstaltungsgeschehen zu Lernzielen und Prüfung passt. Optimalerweise üben die Studierenden bereits in der Veranstaltung aktiv, was sie in der Prüfung später zeigen müssen.

Erst im letzten Schritt beginnt dann die Feinplanung, die in diesem Kapitel vorgestellt wird, d. h. die Ausarbeitung des detaillierten Ablaufs (► S. 13), die Einplanung ergebnisoffener Sequenzen (► S. 14) und die Vorbereitung von Material für das Selbststudium (► S. 16, 17, 18).



Lernziele bestimmen und formulieren

Die Formulierung von Lernzielen ist auch bei der Planung von Laborpraktika der erste Schritt. Denn von den konkreten Lernzielen hängt ab, wie genau das Laborpraktikum gestaltet und welche Kompetenzen am Ende – oder auch schon begleitend – geprüft (oder anders evaluiert) werden sollen. Nur dann, wenn zu Beginn der Veranstaltung messbare Lernziele formuliert worden sind, lässt sich am Ende die Effektivität des Laborpraktikums überprüfen (vgl. Feisel/Rosa 2005, 127). Messbar bedeutet, dass beobachtbare Handlungen von Studierenden als Ziele beschrieben werden.

Einen Ansatz für Lernziele von Laborpraktika liefern die 13 von Feisel und Rosa (2005) genannten Ziele. Sie wurden von einem Expertengremium aus amerikanischen Lehrenden der Ingenieurwissenschaften entwickelt. Hier werden u. a. als Lernziele genannt:

- Studierende sollen Stärken und Grenzen theoretischer Modelle in Bezug auf deren Fähigkeit einschätzen können, etwas über Phänomene der realen Welt auszusagen.
- Studierende sollen einen experimentellen Ansatz entwickeln können, um angemessene Verfahren, Instrumente und/oder Software einzusetzen.
- Studierende sollen Ergebnisse einer Untersuchung interpretieren und daraus Schlussfolgerungen ziehen können.

- Studierende sollen aus Fehlern lernen können, indem sie eine Versuchsanordnung und -durchführung überarbeiten, wenn die Ergebnisse nicht zufriedenstellend sind.

Darüber hinaus sollten Studierende in einem Labor auch andere berufsrelevante Kompetenzen erwerben, wie beispielsweise mit einem Fachpublikum sowohl mündlich als auch schriftlich (z. B. in Protokollen) zu kommunizieren oder auch in einem Team Arbeit gerecht zu verteilen und Abgabedaten einzuhalten. Diese Beispiele können einen Rahmen geben, von dem aus für das eigene Labor konkrete Lernziele formuliert werden. Auf ihnen baut dann die Gestaltung der Lernsituationen im Labor und ggf. eine Evaluation oder Prüfung des Gelernten auf.

Ein Laborpraktikum mit dem Einheitenraster planen

Das Einheitenraster kann als ein einfaches und effektives Instrument zur Planung von Laborpraktika dienen. Es wird eingesetzt, um die einzelnen Sitzungen zu planen. Dominierende Aspekte (beispielsweise inhaltlicher oder prozesshafter Natur) einer Lehrveranstaltung werden dabei um verschiedene für das Lernergebnis wichtige Punkte ergänzt:

- Gebe ich einen Input oder sollen die Studierenden selbstständig etwas vertiefen?
- Welche Lernziele verfolge ich mit der Veranstaltung oder in einzelnen Abschnitten?
- Was ist das Thema/der Inhalt dieses Abschnitts?

- Welche Methode wende ich an? Sollen die Studierenden z. B. eine Frage erarbeiten oder anzuwendende Messverfahren referieren, in Kleingruppen Lösungswege skizzieren oder relevante Aspekte erarbeiten? Wie stelle ich den Praxisbezug sicher? Gibt es ein Projekt, auf das ich verweisen könnte? Und welche Art Visualisierung wähle ich?

Anfänglich wird diese Art der Planung mehr Zeit kosten, doch erfahrungsgemäß geht sie schnell selbstverständlicher von der Hand. Das fertige Raster bietet schließlich einen idealen Überblick, ob man seine Lehrveranstaltung gut auf die Lernziele ausgerichtet, methodisch abwechslungsreich und stimmig mit den Lernzielen gestaltet hat.

Zeit	Phase/ Wer ist aktiv?	Ziel/ Lernziel	Inhalt	Methoden/ Vorgehen	Bemerkungen
9.30-09.40					

Experimente ergebnisoffen anlegen

Welche Vorteile bieten ergebnisoffene Experimente?

Ergebnisoffene Experimente sind Experimente, die von Studierenden auf ihre gewünschte Art und Weise bearbeitet werden und nur zu Beginn durch eine Betreuerin oder einen Betreuer eingeführt werden (Shonle 1967). Diese Art des Experimentierens bringt Studierende dazu, sich intensiv mit dem Versuch und seiner Thematik zu beschäftigen. Darunter fällt, dass sie Fragestellungen und Hypothesen selbst entwickeln, die Versuchsplanung übernehmen und das Experiment eigenständig durchführen, auswerten und analysieren. Dabei müssen die Studierenden auf ihr theoretisches Wissen zurückgreifen und es praktisch anwenden (Priemer 2006; Land 2000). Durch diesen Aufbau wird der Lernzuwachs erhöht und das Wissen nachhaltiger verankert (Berling 2005). Studierende werden so außerdem an die Art von Anforderungen herangeführt, auf die sie im späteren Berufsleben treffen (Tranquillo 2006) und lernen, wissenschaftlich zu denken und zu arbeiten.

Wie lasse ich ergebnisoffen experimentieren?

Nicht jedes Experiment bietet sich an, ergebnisoffen durchgeführt zu werden. Bestimmte Phasen können dafür aber gut geeignet sein (Professional Learning Board 2015).

Drei Beispiele zeigen dies:

- Studierende können die Fragestellung und die Methoden bekommen, müssen aber selbst Hypothesen formulieren und nachfolgend überprüfen.
- Studierenden kann ein Versuch mit einer bestimmten Zielsetzung, aber ohne Arbeitsanleitung gegeben werden.
- Bei der Wahl des Experiments können Lehrende verschiedene Methoden vorschlagen, aus denen die Studierenden wählen können.

Die Aufgabe der Betreuerin bzw. des Betreuers besteht in diesen Fällen darin, für aufkommende Fragen verfügbar zu sein, Tipps zu geben und den Studierenden bei der Erstellung eines Konzepts zu helfen. Die Analyse und Diskussion von Ergebnissen kann stets zunächst unter den Studierenden und erst abschließend mit der Lehrenden erfolgen.

Begleitmaterial erstellen

Oft werden Studierenden im Vorfeld eines Laborpraktikums Unterlagen zur Verfügung gestellt, die der Vorbereitung z. B. auf ein Testat oder auf die Versuchsdurchführung dienen.

Praktikumsskript

Ein Praktikumsskript zeigt theoretische Grundlagen auf und soll mit den evtl. verknüpften weiteren Lehrveranstaltungen des Moduls (z. B. Vorlesung) zusammengedacht werden. Dort ist der Ort, wo die theoretischen Hintergründe ausführlich diskutiert werden sollten – nicht im Praktikumsskript. Wenn Sie dennoch nicht auf ein Praktikumsskript verzichten wollen, tappen Sie nicht in die Vollständigkeitsfalle, in diesem den gesamten theoretischen Hintergrund behandeln zu wollen. Seien Sie hingegen mutig, Teile des Stoffes anhand gezielter Fragen (► S. 26) durch die Studierenden selbstständig erarbeiten zu lassen und fördern Sie so selbstverantwortliches Lernen.

Versuchsanleitung

Hierbei kann z. B. zwischen einem Grundlagenpraktikum, in dem die Vermittlung und Übung fachspezifischer Fertigkeiten im Vordergrund steht, und einem Fortgeschrittenenpraktikum, bei dem selbstständiges wissenschaftliches Arbeiten, kritisches Denken (► S. 6) und Ergebnisoffenheit (► S. 14) Priorität haben, unterschieden werden. Unabhängig davon sollten

Sie jedoch das Vorwissen und die Erfahrung der Studierenden berücksichtigen. Eine Möglichkeit wäre die Öffnung der Aufgabenstellung, indem Sie z. B. das für eine Messung vorgesehene Zeitintervall nicht explizit angeben, sondern die Studierenden dazu auffordern, sich ein sinnvolles Intervall zu überlegen. Sie können aber auch die Versuchsanleitung zu Beginn nicht vollständig bereitstellen, sondern einzelne Schritte vorab erarbeiten lassen bevor der Versuch dann – nach Überprüfung der Anleitung – durchgeführt wird.

Egal, ob Praktikumsskript oder Versuchsanleitung, bei beiden sollten die Lernziele transparent gemacht und auf sie Bezug genommen werden.



Online-Vorbereitung auf das Laborpraktikum

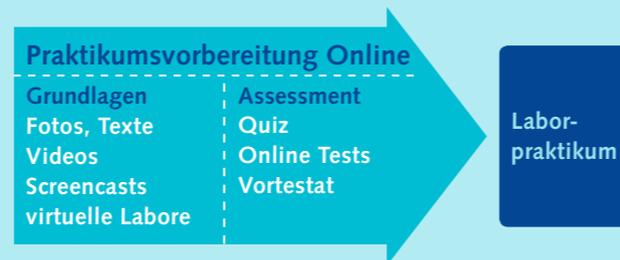
Die Kombination von Lernen in Präsenz und Online-Lernen wird „Blended Learning“ genannt. Es kann Studierende unterstützen, Arbeitsverfahren und Handlungsabläufe im Labor besser zu verstehen, Wissenslücken zu schließen, Vorwissen zu aktivieren und fehlerhafte Versuchsdurchführungen zu verhindern (vgl. Daubenfeld u. a. 2012).

Gerade für Laborpraktika sind Online-Ressourcen wertvoll, weil den Studierenden mit ihrer Hilfe Dinge gezeigt werden können, die zwar Relevanz für den Versuch haben, deren Präsentation vor Ort aber sehr aufwändig oder teuer wäre. Das Material kann z. B. theoretische Hintergründe, Sicherheitsaspekte, den Aufbau des Labors oder typische Fehler betreffen und in unterschiedlichen Formaten online (z. B. auf der Lernplattform Stud.IP) bereitgestellt werden:

- **Fotos** von Labor und Versuchsaufbau geben erste Einblicke in das Praktikum. Eine Fotostrecke ist schnell und mit wenig Aufwand erstellt und kann dann in der Lernplattform hochgeladen werden.
- **Videos** geben einen anschaulichen Einstieg und kurzen Überblick über die Inhalte. Diese müssen nicht selbst produziert werden, sondern finden sich häufig schon in einschlägigen Videoportalen wie YouTube, Vimeo oder dem DFG-Videoportal zur Exzellenzinitiative.

- **Screencasts** sind kurze, digitale Lehrvideos, die am eigenen Computerbildschirm aufgezeichnet werden (► S. 17). Hier bietet sich die Möglichkeit, die Studierenden zielgerichtet auf die eigenen Inhalte vorzubereiten.
- **Virtuelle Labore** sind Simulationen von Laboren (z. B. Online, in einer 2D- oder 3D-Umgebung), die eine interaktive Durchführung von Experimenten am eigenen Rechner ermöglichen.

Die eigenständige Arbeit mit diesem multimedialen Material kann durch Aktivitäten wie Online-Selbsttests unterbrochen werden, um den eigenen Lernstand und das Verständnis zu überprüfen (► S. 38). Als Abschluss bietet sich ein Online-Test an, der gleichzeitig ein Vortestat für die Teilnahme am Laborpraktikum sein kann.



Screencasts für das Selbststudium bereitstellen

Was sind Screencasts?

Screencasts sind kurze, digitale Lehrvideos, die am eigenen Bildschirm erstellt werden. Screencasts eignen sich zur schnellen und vergleichsweise einfachen Produktion von kurzen Lehr- und Lernvideos, Tutorials oder Präsentationen. Die Aufzeichnung erfolgt über eine Screenrecording-Software, die vorab auf dem Computer installiert wird und die Bildschirmaktivitäten abfilmt. Diese kann dann mit Audio-Kommentaren unterlegt werden. So kann man beispielsweise eine PowerPoint-Präsentation und den entsprechenden Vortrag kombinieren. Abhängig von der gewählten Software können die Aufzeichnungen zusätzlich durch Markierungen, Links oder Quizfragen interaktiver gestaltet werden. Screencasts können plattformunabhängig angeschaut werden, d. h. unabhängig von verwendetem Betriebssystem, Medienplayer, Browser und Bildschirmgröße.

Was leisten Screencasts?

Screencasts können als Vorbereitung auf ein Laborpraktikum theoretische Grundlagen, Methoden und erforderliche Voraussetzungen vermitteln, Vorwissen aktivieren und somit eine gemeinsame Wissensgrundlage schaffen (Zenker u. a. 2013). Besonders, wenn im Labor Instrumente abgelesen oder Anlagen bedient werden, welche die Studierenden vermutlich vorher noch nie gesehen haben, kann durch die Vorbereitung mit Screencasts während des Labor-

praktikums der Betreuungsaufwand reduziert bzw. die Präsenzzeit effektiver genutzt werden.

Was sind die technischen Voraussetzungen für Screencasts?

Für die Aufzeichnung von Screencasts gibt es eine Vielzahl an kostenfreien sowie kostenpflichtigen Softwareprogrammen. Abhängig vom Gerät, mit dem ein Screenshot erstellt werden soll, benötigt man eventuell ein Mikrofon und eine Webcam. Die Softwareprogramme verfügen über Schnittmöglichkeiten und u. U. auch Optionen zur Nachbearbeitung.

Wie hoch ist der Aufwand?

Screencasts können schnell und unkompliziert erstellt werden, beispielsweise, wenn Präsentationen bereits vorhanden sind. Allerdings sollte man genügend Zeit einplanen, um sich mit der Software vertraut zu machen.

Open Educational Resources für das Selbststudium

Was sind OER?

OER (Open Educational Resources) sind Lehr- und Lernmaterialien, die ohne oder mit nur geringen Einschränkungen kopiert, verändert und genutzt werden dürfen. Diese rechtlich geschützten, aber bewusst freigegebenen Materialien können Arbeitsblätter, Übungen, Bücher, multimediale Inhalte, Kursmaterialien, Softwareanwendungen oder sogar ganze Kurse umfassen. Als weltweite Bildungsinitiative bieten OER die Möglichkeit, Inhalte gemeinsam (weiter) zu entwickeln und für die Allgemeinheit verfügbar zu machen.

Wo finde ich OER?

Ob es sich bei Material wirklich um eine OER handelt, erkennt man an der verwendeten Urheberrechtslizenz. Hier haben sich vor allem die Creative Commons (CC) Lizenzen etabliert. Diese bestimmen auch die Bedingungen für die Weiterverwendung von OER-Lernmaterial. Viele Hochschulen bieten mittlerweile Lernmaterial offen an. Daneben können als Ausgangsbasis für die Suche u. a. folgende Adressen dienen:

Yovisto Academic Video Search: www.yovisto.com
Creative Commons: Search.creativecommons.org
iTunes U: www.apple.com/de/support/itunes-u/using/
YouTube Bildung: www.youtube.com/education
OpenStax CNX: cnx.org

Open Educational Resources: www.oeconsortium.org
MIT Open Course Ware: ocw.mit.edu/
TU Darmstadt: www.e-learning.tu-darmstadt.de/openlearnware
Hamburg Open Online University: www.hoou.de

Wie können OER bei Laborpraktika unterstützen?

Mit OER stehen eine Vielzahl von Anwendungen kostenlos zur Verfügung. Insbesondere kann die Bearbeitung von begleitenden Online-Lernmaterialien den Übergang von der Vermittlung theoretischen Wissens zum Laborpraktikum erleichtern. Der Vorteil von OER ist, dass die Materialien nicht aufwendig selbst erstellt werden müssen. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Inhalte für eigene Zwecke bearbeitet, adaptiert und ergänzt werden können.



Nicole Podleschny

Das Lernportfolio im Laborpraktikum

Was ist ein Lernportfolio und wie kann es eingesetzt werden?

Während das Protokoll den einzelnen Versuch dokumentiert, nimmt das Lernportfolio die Lernprozesse während des gesamten Laborpraktikums in den Blick. Im Portfolio analysieren und reflektieren die Studierenden ihr Lernen, indem sie notieren, wie sie vorankommen, welche Schwierigkeiten sie haben, welche Gründe sie dafür sehen und welche Fragen sich ergeben. Zudem werden verwendete Arbeitsmethoden und -techniken in einer Art „Werkzeugbox“ gesammelt. Die entstandenen Texte können auch elektronisch zusammengestellt werden (ePortfolio, vgl. Bräuer 2014, 96ff.). Auf diese Weise wird der Lern- und Leistungsfortschritt dokumentiert.

Welche Ziele verfolgt das Lernportfolio?

Portfolios fördern die Eigenständigkeit und Selbsteinschätzung der Lernenden. Sie zielen darauf ab, ein Verständnis für eigene Lernprozesse und Lernstrategien zu entwickeln. Aber auch das fachliche Verständnis vertieft sich durch das Nachdenken darüber, was man bereits verstanden hat und wo noch Unklarheiten bestehen.

Wie rege ich Denk- und Lernprozesse an?

Der gelungene Einsatz eines Lernportfolios zeichnet sich durch gute Leitfragen sowie ein kontinuierliches Feedback auf das Erarbeitete aus. Die Fragen sollten

sowohl jeden einzelnen Versuch inkl. des dabei Gelernten betreffen als auch über den Einzelversuch hinaus bestehende Zusammenhänge und Lernfortschritte einbeziehen.

Beispiele sind:

- Was habe ich in Versuch 1 (in Versuch 2, ...) gelernt?
- Was konnte ich gut, was nicht so gut?
- Welche Konsequenzen hat das für mein weiteres Handeln?
- Was verbindet die einzelnen Erkenntnisse aus den verschiedenen Versuchen?
- Was habe ich im Laborpraktikum insgesamt gelernt?
- Was hat das mit mir, meinem Studium und meiner beruflichen Zukunft zu tun?

Feedback kann sowohl durch den Lehrenden (► S. 36, 37) als auch durch Peers erfolgen (► S. 44) und sollte sich an vorher festgelegten Kriterien orientieren.

Vertiefende Informationen, Anwendungsbeispiele und Ideen für Leitfragen finden Sie bei Bräuer (2014).

Nadine Stahlberg

Im Labor

Wie kann im Labor zum selbstständigen Denken angeregt werden? Wie lässt sich ein wissenschaftlicher Prozess didaktisch umsetzen?

Bei der Laborarbeit lassen sich zwei grundsätzliche Arten unterscheiden: Sie kann einerseits im Kontext eines Studiums stehen und darauf ausgerichtet sein, dass Studierende in ihrem Verlauf etwas Bestimmtes lernen. Sie kann andererseits im Kontext einer Forschungsarbeit stehen und darauf zielen, wissenschaftliche Erkenntnis hervorzubringen. Beides kann aber auch zusammen gedacht werden, indem Studierende durch Laborarbeit eine wissenschaftliche Methode oder einen wissenschaftlichen Prozess kennenlernen, dabei selbst wie eine Forscherin bzw. ein Forscher tätig sind und wissenschaftliche Erkenntnisse nachvollziehen oder im Rahmen ihrer Möglichkeiten sogar selbst hervorbringen.

Wird die Arbeit im Labor als wissenschaftlicher Prozess gestaltet, so sollen die Studierenden in seinem Verlauf vor allem fachliche Methodenkompetenz, die Fertigkeit zur Datengewinnung und -analyse sowie Sozialkompetenzen entwickeln. Um diese ehrgeizigen Lernziele zu erreichen, müssen idealerweise die typischen Schritte eines Forschungsprozesses – u. U. iterativ – durchlaufen werden (vgl. Weaver/Russell/Wink 2008; Schneider/Wildt 2009, 56): s. Grafik.



Die gewünschte Annäherung von lern- und forschungsbezogener Laborarbeit stellt sich dabei vor allem dann ein, wenn der Ablauf von Anfang an mit einem entsprechenden Maß an Offenheit geplant wurde (▶ S. 14). Doch auch während der

Durchführung entscheidet die konkrete didaktische Gestaltung, inwieweit die Studierenden durch das Labor tatsächlich an Souveränität gewinnen. Zwar behalten sie den Status als Lernende, werden von den Lehrenden aber nur begleitet und durch geeignete Medien unterstützt. Die wesentlichen Schritte müssen sie selbst vollziehen. Dies erfordert mehr als nur das Umsetzen festgelegter Arbeitsschritte.

Grundvoraussetzung ist, dass Studierende während aller Schritte des Prozesses zum Mitdenken oder zum aktiven Tun angeregt werden. Einfache Mittel stellen hierfür die Weichen:

- Fragen: Nach Möglichkeit sollten die Studierenden in allen Prozessphasen bei Problemen zuerst selbst nach Antworten suchen. Lehrende können dies unterstützen, indem sie offene und zum Denken anregende Fragen stellen, statt schnell die Lösungen zu nennen (▶ S. 26).
- Diskussionen: Auch ohne Frage-Antwort-Situationen helfen Gespräche und Diskussionen, sich richtigen Lösungen gemeinsam anzunähern. Dies kann z. B. anlässlich von Beobachtungen des Experimentverlaufs begleitend erfolgen (▶ S. 24) oder aber in Situationen, in denen die Studierenden gezielt in einen Austausch gebracht werden (▶ S. 25).

Über diese sehr einfachen Ansätze kann die Arbeit im Labor durch andere didaktische Methoden, die etwas mehr Vorausplanung erfordern, in anregender Weise gestaltet werden – so beispielsweise mit Hilfe von Gedankenexperimenten, die Studierende bestimmte Prozessschritte oder ganze Experimente zuerst gedanklich durchspielen lassen (▶ S. 22).

Kennzeichnend für die Laborarbeit ist besonders auch die Arbeit in Gruppen. Es lohnt sich, hier Entscheidungen zur Organisation dieser Gruppen gut zu durchdenken und die dann von ihnen zu bewältigenden Prozessschritte so zu gestalten, dass sie tatsächlich gemeinsam angegangen werden (▶ S. 28, 29, 30). Denn Studierende können voneinander und in der Diskussion miteinander viele Hürden nehmen und lernen auf diese Weise gerade im praxisnahen Feld der Laborarbeit mehr, als wenn sie allein auf sich und ihr Selbststudium vertrauen. Besonders strukturiert erfolgt die Verzahnung von eigener und gemeinsamer Arbeit durch problemorientierte Szenarien (▶ S. 27).

Denkprozesse mit aktivierenden Methoden anregen

Ob wir vom Lernen, Problemlösen oder Experimentieren sprechen, stets laufen kognitiv im wesentlichen die gleichen Prozesse ab: Ein Problem wird erkannt, es wird näher analysiert oder definiert, man identifiziert Lösungsansätze (Hypothesenbildung), durchdenkt sie kritisch und geht schließlich an deren Lösung (Versuchsplanung und -durchführung zwecks Erkenntnisgewinn). Im Labor werden einige dieser Schritte jedoch häufig vom Lehrenden vorweggenommen: Problemerkennung, Hypothesenbildung und auch Versuchsplanung.

Übungsversuche, die streng nach Versuchsanleitung („Kochrezept“) ablaufen, bieten wenig Raum für Eigenaktivität der Studierenden. Das Ziel, dass die Studierenden auch selbst Probleme lösen lernen, wird damit nicht optimal erreicht. Es muss also darum gehen, Freiräume für eigene Entscheidungen und Initiativen zu eröffnen.

Eine Methode hierfür sind die Wahlversuche (Bruchmüller/Haug 2001, 117). Auf höherem Niveau können die Studierenden hierbei bestenfalls aus verschiedenen Versuchen wählen, die ihrer fachlichen Orientierung oder ihren Interessen am nächsten liegen. Aber auch bei einfacheren Laboren kann man die Studierenden z. B. wählen lassen, die Kennlinien welches Bauteils sie aufnehmen wollen oder mit welchem Filter Ergebnisse dargestellt werden sollen. Allein die

Wahlmöglichkeit wird in der Regel als motivierend wahrgenommen – und zusätzlich wird der Einfluss der Entscheidung auf das Ergebnis erfahrbar.

Noch besser aktivieren Versuche, wenn weitergehende Freiräume eröffnet werden (► S. 14). So können z. B. anschließend an fest vorgegebene Arbeitsschritte Vorschläge zur weiteren Auseinandersetzung gegeben werden. Das kann dadurch geschehen, dass die Lösung nicht vorgegeben ist, sondern die Studierenden selbst aktiv werden müssen, indem sie Bauteile, Geräte oder Literatur auswählen.

Schon über solch verhältnismäßig kleine Variationen ist es möglich, die Neugier und den forschenden Geist der Studierenden zu fördern.



Timo Lüth

Gedankenexperimente zur Auseinandersetzung mit Theorie

Neben realen Experimenten werden besonders in den MINT Fächern häufig Gedankenexperimente durchgeführt. Diese Experimente finden sozusagen im „Labor des Verstandes“ statt (Brown 1991) und können z. B. für die Vorbereitung auf ein Laborexperiment, als Einstieg in ein neues Themengebiet oder zur Einführung einer Theorie genutzt werden. Ihre Besonderheit ist, dass sie eine Art Brücke zwischen der Erfahrung und dem theoretischen Konzept darstellen (Helm u. a. 1985). Neu Erlerntes wird auf diese Weise besser mit dem bestehenden Wissen verknüpft und auch Fehlvorstellungen können aufgedeckt und korrigiert werden.

Einer der größten Gedankenexperimentatoren war Galileo Galilei. In seinem Beispiel zu fallenden Körpern zeigt er, dass alle Körper, ungeachtet ihrer Masse und bei Vernachlässigung von dynamischem Auftrieb und Luftwiderstand, mit der gleichen Geschwindigkeit fallen. Hierfür nimmt er auf Aristoteles' Theorie „Schwere Körper fallen schneller als leichte“ Bezug. Stellen Sie sich eine schwere Kanonenkugel und eine leichte Musketenkugel vor, die miteinander verbunden sind. Was wird passieren, wenn sie fallen gelassen werden? Die Betrachtungsweise nach Aristoteles führt zu widersprüchlichen Schlussfolgerungen: Einerseits würde die leichte Kugel die Schwere verlangsamen, und die Geschwindigkeit des verbundenen Systems wäre geringer als die der schweren Kugel, wenn diese allein fällt. Andererseits ist das verbundene System

schwerer als die Kanonenkugel und würde somit schneller fallen. Folglich kommen wir zur paradoxen Aussage, dass das verbundene System sowohl schneller als auch langsamer als die schwere Kugel fällt, und Aristoteles' Theorie ist widerlegt. Das scheinbare Paradoxon löst sich auf, wenn beide Kugeln sowie das verbundene System gleich schnell fallen.

Dieses und weitere Gedankenexperimente finden Sie in Browns „The Laboratory of the Mind – Thought Experiments in the Natural Sciences“. Nutzen Sie doch auch einmal ein Gedankenexperiment als Einstieg in einen Laborversuch, oder lassen Sie sich von Galilei, Einstein und Co. inspirieren, eigene zu entwickeln. Wichtig ist bei der Umsetzung, nicht zu schnell eine Lösung vorzugeben, sondern sich ihr mit Hilfe der studentischen Beiträge im Dialog langsam anzunähern.



Grafik von Robert Wawrzinek

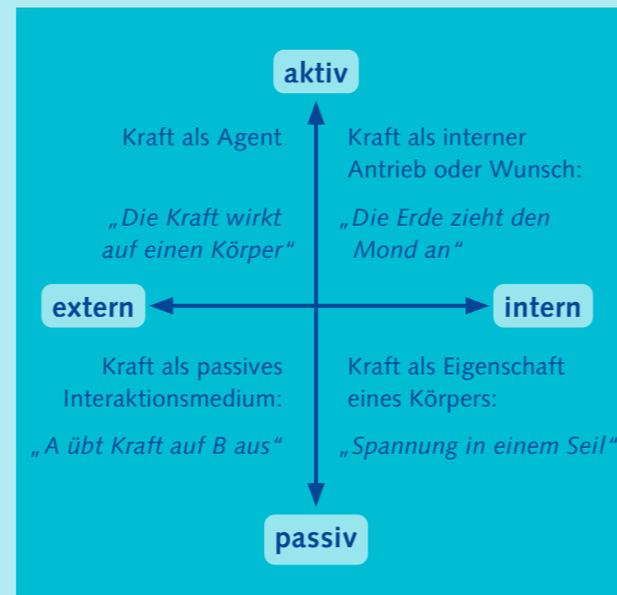
Alette Winter

Über Beobachtungen sprechen

Eine Herausforderung beim Einsatz von Laborpraktika in der Lehre ist, dass Beobachtungen immer erwartungs- oder theoriegeleitet sind (siehe z. B. Brewer/Lambert 2001). Beobachtungen sind somit nicht objektiv, sondern subjektiv. Das bedeutet gleichzeitig, dass sie auch geschult werden können. Was Expertinnen und Experten auf Grundlage ihrer Erfahrungen und ihres Wissens beobachten, ist oftmals für Laien nicht beobachtbar, wenn sie nicht ausreichende Hilfestellungen erhalten.

Diese Hilfestellungen zu geben ist nicht trivial: in der Regel werden Beobachtungen auf der Basis und in der Sprache einer Theorie beschrieben. Welche Theorien Studierende für ihre Beobachtungen heranziehen, ist z. B. gut durch Diskussion über die Beobachtung möglich. Dabei ist es wichtig, wirklich auf das zu hören, was Studierende sagen, ohne direkt von „unsauberer“ Sprache zu sprechen und das hineinzudeuteln, was aus Sicht eines Lehrenden sinnvoll wäre. Brooks und Etkina (2009) beschreiben z. B., wie aus der Sprache, die Studierende verwenden, ihr Verständnis des Kraftbegriffes abgeleitet werden kann (siehe Grafik). Entlang der Achsen extern-intern sowie passiv-aktiv lassen sich vier unterschiedliche Verständnisse erkennen. Nur wenn das der Sprache zugrundeliegende Verständnis erkannt wird, können Missverständnisse und Fehlvorstellungen aufgedeckt

und behoben werden. Dadurch bieten Laborpraktika den Studierenden einen enormen Vorteil gegenüber „klassischen“ Veranstaltungsformen wie z. B. Vorlesungen.



Grafik in Anlehnung an Brooks/Etkina 2009

Peer Instruction im Praktikum

Peer Instruction ist eine Methode, bei der Studierende in Kleingruppen über Fragen diskutieren, um zu einer gemeinsamen Antwort zu kommen. An der TUHH wie an vielen anderen Universitäten machen Lehrende die Erfahrung, dass die Ergebnisse einer Clickerfrage bei Wiederholung nach Peer Instruction deutlich besser ausfallen. Peer Instruction funktioniert selbst dann, wenn keiner der Teilnehmer einer Kleingruppe am Anfang die richtige Antwort weiß: Allein der Austausch wird von Studierenden als produktiv wahrgenommen (Smith u. a. 2009).

Warum Peer Instruction im Praktikum?

Auch in Praktika ist die Methode sinnvoll, denn trotz kleiner Gruppengrößen ist es dort meistens nicht möglich, dass jeder Studierende jeden Handgriff einmal selbstständig durchführt und daran lernt. Wenn man aber ein Experiment nur beobachtet, ist der Lernzuwachs nicht signifikant größer als in dem Fall, in dem man von dem Experiment nur gehört und es noch nicht einmal gesehen hat (Crouch u. a. 2004). Erst durch eine aktive Vor- und Nachbesprechung in der Peergruppe werden Experimente zu einem wertvollen Baustein in der Lehre, so dass Peer Instruction hier empfehlenswert ist.

Wie wird Peer Instruction eingesetzt?

Peer Instruction wird durch Fragen eingeleitet, auf die als Gruppe eine Antwort gefunden werden soll.

Alternativ können Mitglieder einer Gruppe den Auftrag erhalten, sich gegenseitig über Versuche zu informieren (► S. 32). Die positive Wirkung von Peer Instruction ist dabei sogar dann zu beobachten, wenn es gar nicht stattfindet: Allein die Erwartung, zu einem Thema anderen Studierenden etwas beibringen zu müssen, führt bei Studierenden zu besserer Wissensorganisation und besserem Reminieren von Fakten im Vergleich zu anderen Studierenden, die in Erwartung eines Tests gelernt haben (Nestojko u. a. 2014). Diesen Effekt kann man z. B. nutzen, indem man alle Studierenden um die Vorbereitung einer Einführung in eine Thematik bittet, dieses aber dann nur von ausgewählten Studierenden verlangt.



Studierende durch Fragen aktivieren

Durch Fragen kann Vorwissen aktiviert, Nachdenken angeregt und Aufmerksamkeit fokussiert werden. Ob dies gelingt, hängt von der Art zu fragen ab. Es gibt u. a. geschlossene und offene Fragen: Geschlossenen Fragen erfordern als Antwort nur ein „ja“ oder „nein“. Offene Fragen, die z. B. mit „was“, „wie“, „wozu“ oder „inwiefern“ beginnen, regen hingegen stärker zum Nachdenken an. Außerdem enthalten offene Fragen stets eine Implikation. So impliziert die Frage „Welche Ideen haben Sie?“, dass die Studierenden Ideen haben und aktiviert daher stärker als die geschlossene Frage „Haben Sie Ideen?“.

Was ist beim Fragenstellen zu berücksichtigen?

- Fragen Sie nicht nur Wissen ab („Wie lautet das Gesetz vom freien Fall?“), sondern regen Sie zum kritischen (Weiter-)Denken an („Wie beurteilen Sie das Verfahren XY hinsichtlich Kriterium Z?“).
- Vermeiden Sie im Anschluss an Fragen Aussagen, wie „Das ist ganz leicht“ oder „Das sollten Sie alle wissen“. Sie können dazu führen, dass Studierende aus Sorge vor einer falschen Antwort auf die vermeintlich triviale Frage nicht antworten.
- Geben Sie kleine Hinweise, wenn die Studierenden nicht auf die Lösung kommen (Beispiel: „Sie könnten mit X anfangen“ oder „Zeichnen Sie eine Skizze dazu“).
- Nehmen Sie unterschiedliche Studierende dran. (Beispiel: „Diese Frage geht an die dritte Reihe.“).

Wie können Sie mit Antworten der Studierenden umgehen?

Loben Sie Studierende für richtige Antworten, aber u. U. auch für falsche, wenn Sie auf ihrer Grundlage über eine Fehlvorstellung aufklären können. Sehen Sie falsche Antworten als natürlichen Schritt auf dem Weg zur selbstständigen Lösungsfindung (Motto: aus Fehlern lernen). Achten Sie darauf, dass sich niemand bloßgestellt fühlt.

Wie können Sie mit Fragen der Studierenden umgehen?

- Ermuntern Sie die Studierenden dazu, Fragen zu stellen.
- Beantworten Sie Fragen nicht direkt selbst. Im Gruppensetting können Sie die Frage an die anderen Studierenden weitergeben („Was meinen Sie dazu?“), im Einzelsetting nach bisherigen Lösungsversuchen und weiteren Ideen fragen.



Jenny Alice Rohde

Problemorientiertes Arbeiten im Labor

In einem problemorientiert gestalteten Laborpraktikum werden die Versuche in einen sinnvollen (Forschungs-) Zusammenhang gestellt. Die Fragestellung wird gemeinschaftlich bearbeitet, wobei die Studierenden selbst nach Lösungswegen suchen müssen.

Warum problemorientiertes Arbeiten im Labor?

Ein problemorientierter Ansatz ermöglicht es, eine größere Bandbreite von Lernzielen abzudecken:

- Zusätzlich zu den praktischen Laborfertigkeiten erweitern die Studierenden ihr Fachwissen und lernen, es im praktischen Zusammenhang anzuwenden.
- Sie üben sich im wissenschaftlichen Diskurs und in ihren Präsentationsfertigkeiten.
- Das erworbene Wissen bleibt durch die Einbettung in den Anwendungskontext länger erhalten und die Studierenden sind stärker motiviert.

Exemplarisch wird hier ein möglicher Ablauf für einen Laborversuch vorgestellt (vgl. Hemmerich u. a. 2014):

- Ausgangspunkt ist die Konfrontation mit einer Situation, die zum Aufbau eines Versuchs animiert und in Gruppen bearbeitet werden soll.
- Die Gruppen entwickeln Hypothesen zur Problemstellung und entwerfen einen entsprechenden Versuchsaufbau. Sie erleben das eigenverantwortliche Arbeiten in einem Labor.
- Die Ergebnisse einer ersten Experimentierphase

(ggf. auch in einer simulierten Versuchsumgebung) werden ausgewertet und mit den anderen Gruppen diskutiert. Damit üben sich die Studierenden im wissenschaftlichen Diskurs.

- Der Versuch wird (bei Bedarf mit angepasstem Aufbau) durchgeführt und protokolliert. Hier werden die gewünschten Laborfertigkeiten erworben.
- Die Ergebnisse werden im Plenum vorgestellt. Dies kann im Rahmen einer kurzen Zwischenpräsentation (► S. 40) erfolgen, womit ein zentrales Präsentationsformat geübt wird.
- Am Ende wird ein Protokoll nach wissenschaftlichen Kriterien erstellt. Die entstandenen Produkte sowie der Entstehungsprozess werden vom Dozenten begutachtet und mit der Gruppe reflektiert.



Siska Simon, Marisa Braasch

Gruppen einteilen

Die Planung von Gruppengröße und -zusammensetzung sind wichtige Faktoren für den Erfolg einer Veranstaltung.

Homogene oder heterogene Gruppen?

Eine erste Entscheidung betrifft die Frage, ob Gruppen möglichst einheitlich oder bewusst unterschiedlich zusammengesetzt sein sollen. Mögliche Kriterien:

- Vorwissen bzw. Vorerfahrungen
- gleicher/unterschiedlicher Studiengang
- Internationalität
- Gender.

Heterogene Gruppen machen z. B. dann Sinn, wenn unterschiedliches Vorwissen von den Studierenden selbst ausgeglichen werden soll oder wenn die Studierenden bei der Teamarbeit interkulturelle Erfahrungen machen sollen. Homogene Gruppen machen z. B. dann Sinn, wenn unterschiedliche Studiengänge mit unterschiedlichen Lernzielen an dem Labor teilnehmen.

Gruppeneinteilung

Häufig stellen sich Lehrende die Frage, ob sie Gruppen selbst einteilen sollen oder ob die Studierenden bei der Wahl ihrer Teammitglieder frei sind. Es gibt hierfür keine allgemeine Empfehlung. Auch Gruppen, die vom Lehrenden zusammengestellt werden, können gut funktionieren und gut begründet sein, um z. B. neue Studierende zu integrieren oder be-

stimmte Erfahrungen (z. B. von Interdisziplinarität) zu ermöglichen. Es kann andererseits die Arbeit erleichtern, wenn die Studierenden sich schon kennen und z. B. ähnliche Studienpläne haben. Egal, wie Sie sich entscheiden: Es ist immer sinnvoll, das Vorgehen gegenüber den Studierenden zu begründen und sachliche Einwände zuzulassen.

Vorkenntnisse der Studierenden

Informationen über die Gruppe lassen sich im besten Fall schon mit Hilfe der Teilnahmeliste in Stud.IP gewinnen, wie auch – im Hinblick auf die vertretenen Studiengänge – durch einen Blick in die Modulbeschreibung. Eine etwas aufwändigere Möglichkeit besteht darin, das Vorwissen oder die Vorbildung über einen kurzen Online-Test bzw. eine Online-Abfrage zu erheben.



Siska Simon

Gruppen organisieren

Gruppenarbeit ist in Laboren oft aufgrund begrenzter Ressourcen notwendig und erfüllt zusätzlich noch wünschenswerte didaktische Zwecke (► S. 27).

Randbedingungen

Zur Klärung der Randbedingungen gehört nicht nur die Frage, wie viele Betreuerinnen und Betreuer (einschließlich Tutorinnen und Tutoren) für das Praktikum zur Verfügung stehen. Es sollte auch geschaut werden, wo mit der Gruppenarbeit angeschlossen werden kann: Arbeiten schon in der Vorlesung Gruppen zusammen, die hier weiterarbeiten können (sog. Basisgruppen)? Sind alle auf einem ähnlichen Wissensstand bzw. sollen unterschiedliche Lernstände genutzt werden? Bieten sich interdisziplinäre Teams an (oder gerade nicht)?

Sie haben die Chance zu entscheiden, wie sich die Gruppen bilden sollen. Nutzen Sie diese Möglichkeit bewusst und prüfen Sie, welches Verfahren in Ihrem Fall sinnvoll ist (► S. 28).

Vorbereitung

Schaffen Sie Möglichkeiten zum Kennenlernen der Gruppenmitglieder und geben Sie ihnen Orientierungshilfen. Sollen die Gruppen arbeitsteilig arbeiten oder alle den gleichen Versuch durchführen? Können im Vorfeld Hypothesen erstellt und diskutiert werden, um auf den Versuch einzustimmen? Je intensi-

ver und situationsgebundener die Vorbereitung der Gruppen ist, desto effektiver kann die eigentliche Laborarbeit genutzt werden und desto unwahrscheinlicher werden sog. Trittbrettfahrer-Problematiken, d. h. dass Gruppenmitglieder sich zurücklehnen und auf die Arbeit der anderen vertrauen.

Durchführung

Auch wenn die Gruppen bereits arbeiten, ist Aufmerksamkeit geboten. Sollen bestimmte Rollen verteilt werden (► S. 30)? Was passiert bei Konflikten oder wenn Gruppenmitglieder abspringen? Werden (Teil-)Ziele von der Gruppe bzw. von jedem Mitglied erreicht? Beim selbstständigen Arbeiten im Labor brauchen die Gruppen eine gute Begleitung durch die Lehrenden, die zusätzlich durch Sprechstunden ergänzt werden kann.

Siska Simon, Marisa Braasch

Rollen im Labor

Welche Rollen gibt es bei der Laborarbeit?

Die Studierenden können im Labor unterschiedliche Rollen übernehmen, wobei jede Rolle einen anderen Blickwinkel auf eine Aufgabe mit sich bringt (z. B. Protokollführung, Dokumentation mit Hilfe von Fotos, Versuchsvorbereitung und -durchführung, auf Qualität und Sicherheit achten).

Warum sollte man Rollen unterscheiden?

Die Komplexität kann in Praktika einen einzelnen Studierenden oder eine einzelne Studierende überfordern und demotivieren. Jede Rolle ermöglicht eine tiefere Auseinandersetzung mit einem Teilaspekt von Laborarbeit. Auch bei verteilten Rollen sind alle für das Gelingen des Versuchs gleich verantwortlich. Bislang als ggf. nebensächlich betrachtete Teilaufgaben im Labor werden von den Studierenden besser wahrgenommen und ihre Bedeutung erkannt.

Wie setze ich Rollen im Labor ein?

Je nachdem, welche Lernziele Sie verfolgen, kann man mit der Rollenverteilung unterschiedlich arbeiten. Es kann Sinn machen, mit dauerhaft zugeteilten Rollen zu arbeiten. Genauso sinnvoll kann es sein, die Rollen rotieren zu lassen. Es kann auch aus Kapazitätsgründen erforderlich sein, dass die Studierenden Rollen tauschen. Indem sie anderen Hilfestellungen leisten oder besondere Aufgaben erledigen,

bleiben alle involviert und aktiv, auch wenn nur eine Studentin oder ein Student den Versuch durchführt.

Warum sollen die Rollen anschließend reflektiert werden?

Gerade in dem Fall, das nicht alle Studierenden die unterschiedlichen Rollen durchlaufen können, ist es wichtig, mit den Studierenden einen Erfahrungsaustausch durchzuführen. So können alle Gruppenmitglieder von den Perspektiven der anderen Rollen ebenfalls profitieren.

Werkzeuge für gemeinsames Schreiben

Gemeinschaftliches Schreiben stärkt die Selbstkompetenzen, da die Studierenden gefordert sind, ihre eigenen Lernprozesse und die der Gruppe selbst zu organisieren. Dieses geschieht bei der Definition gemeinsamer Ziele, bei der Aufgabenplanung und -verteilung und im Verfassen gemeinsamer Texte. Webbasierte Editoren können Studierende dabei unterstützen, da mehrere Personen in Echtzeit an einem Dokument arbeiten können. Neben kommerziellen Anbietern wie z. B. GoogleDocs gibt es auch eine Reihe von nicht-kommerziellen Etherpads, die das kollaborative Schreiben unterstützen. Bei diesen Werkzeugen ist nicht nur das Endergebnis zu sehen, sondern der Schreibprozess kann mitverfolgt werden.

Etherpad

Ein Etherpad ist ein oftmals kostenloser, webbasierter Editor zum gemeinsamen Bearbeiten von Texten. So kann eine Projektgruppe gemeinsam an einem Protokoll schreiben, ohne dass es dafür notwendig ist, sich an einem Ort zu treffen. Ein Etherpad wird in Echtzeit aktualisiert, d. h. während des Bearbeitens werden die Änderungen der anderen Gruppenmitglieder sofort sichtbar. Nebenbei ist eine Chatfunktion vorhanden, über die man sich austauschen kann.

Wie nutze ich ein Etherpad?

Ein Etherpad funktioniert ohne Download und, in der Lite Version, ohne Vergabe von Zugangsberech-

tigungen. Mittlerweile stellen viele Universitäten, Parteien oder Vereine kostenlos Etherpads bereit, z. B. <https://edupad.ch>
<https://medienpad.de>
<https://etherpad.gwdg.de>.

Hier generiert man ein neues Dokument, in dem man einen Namen vergibt. Den Gruppenmitgliedern muss lediglich der Link zur Verfügung stehen, die Bearbeitung erfolgt im Internetbrowser.

Ist die Bearbeitung abgeschlossen, kann das Dokument in verschiedenen Formaten gespeichert oder in andere Textverarbeitungsprogramme kopiert werden. Ein Etherpad ist für schnelles Arbeiten gedacht, z. B. zum Sammeln von Ideen, zum Zusammenführen von Notizen oder für erste Entwürfe.

Kommerzielle Alternativen

Einige kommerzielle Anbieter bieten Lösungen, die ähnlich wie Etherpads funktionieren, in ihren Funktionalitäten aber über sie hinausgehen. Dort ist es möglich, Dateien mit Passwort zu schützen, gemeinsam an Tabellenkalkulationen, Präsentationen, Datenbanken oder Umfragen zu arbeiten, sowie Grafiken und Bilder in Dokumente einzufügen.

Den Austausch zwischen Gruppen fördern

Auch wenn Gruppen an unterschiedlichen Spezialthemen arbeiten, sollen meist alle Gruppen am Ende einer Veranstaltung den gleichen guten Überblick über alle Themen haben. Um dies zu erreichen, bietet sich als Methode die „ExpertInnenmethode“ (auch: „Gruppenpuzzle“) an.

Wie funktioniert die ExpertInnenmethode?

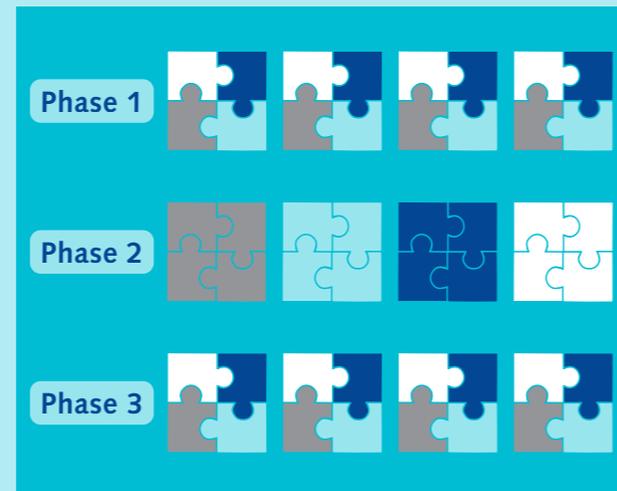
Die Studierenden werden in Gruppen eingeteilt. Jede Gruppe bearbeitet ein eigenes Thema (Phase 1). Nach der Gruppenarbeitsphase werden die Teilnehmenden neu durchmischt, so dass jede neue Gruppe eine Teilnehmerin oder einen Teilnehmer aus jeder Ausgangsgruppe bekommt (Phase 2). In den neuen Gruppen informieren sich Studierende gegenseitig über die Arbeitsergebnisse der Ausgangsgruppen.

Warum die ExpertInnenmethode nutzen?

Dieses Vorgehen hat mehrere Vorteile: Alle Studierenden müssen schon in den Ausgangsgruppen aktiv mitarbeiten, da sie in der neuen Gruppe das Thema und die Ergebnisse ihrer jeweiligen ersten Gruppe vorstellen müssen und sich nicht auf andere verlassen können. Bei der Vorstellung und Diskussion werden Fachsprache und Austausch geübt.

Danach können Studierende in die Ausgangsgruppen zurückgehen und weiterarbeiten, auch die Austauschphase kann bei Bedarf wiederholt werden (Phase 3).

Diese Methode kann auch sehr gut eingesetzt werden, wenn in den Ausgangsgruppen unterschiedliche Studierende unterschiedliche Rollen einnehmen. Dann können sich die jeweiligen „Fachleute“ in den ExpertInnengruppen treffen, um sich über Spezialthemen auszutauschen und um die neuen Erkenntnisse dann wieder in ihre Ausgangsgruppe mitzunehmen (siehe Grafik).



Versuche weiterdenken

Was geschieht, wenn der letzte Wert gemessen, der letzte Graph gezeichnet und im Protokoll alle Ergebnisse dokumentiert sind? Oftmals endet an dieser Stelle das Praktikum. Aber es geht auch anders: Ohne viel Aufwand können weitere für den Lernprozess der Studierenden gewinnbringende Schritte angefügt werden, nämlich die inhaltliche Nachbetrachtung und der Ausblick auf eventuelle weitere Laborarbeit.

Beides kann durch einfache Fragen – in der Präsenzzeit oder in der Anleitung zum Protokoll – eingeleitet werden. Diese Fragen können sich einerseits auf den Lernprozess beziehen (► S. 19), aber auch auf den Gegenstand des Versuchs, also z. B.:

- Welche „Aha-Erlebnisse“ hatten Sie bei der Versuchsdurchführung?
- Wo sind die Schwachstellen dieses Experiments, die Sie durch einen anderen Versuchsaufbau vermeiden könnten?
- Könnte man die Ergebnisse auch ganz anders interpretieren, als Sie es im Bericht getan haben?
- Welche Fragen ergeben sich für Sie aus den Ergebnissen?
- Welches nächste Experiment würden Sie durchführen, um Ihre Fragen zu beantworten?

In dieser Weise wird wie bei der Diskussion in einer wissenschaftlichen Forschungsarbeit vorgezeichnet, wie der Prozess der Erkenntnisgewinnung weitergeführt werden kann. Die Beantwortung kann dabei durchaus den Charakter eines Gedankenexperiments annehmen (► S. 23).

Eine einfache und bei Studierenden beliebte Methode zur Vorbereitung nachfolgender Praktika ist es, sie eine SMS (bzw. eine kurze Notiz) an einen echten oder vorgestellten Freund schreiben zu lassen. Sie soll die wichtigste Nachricht aus dem Praktikum enthalten, z. B.: „Du solltest wirklich immer die Schutzbrille aufsetzen, ask me how I know“ oder „Wenn ich das nächste Mal mit Säuren arbeite, denke ich daran, erst Wasser einzufüllen.“ Gerade auch die Dinge, über die man am Ende gemeinsam lachen oder grübeln kann, bleiben bis zum nächsten Versuch – und weit darüber hinaus – im Gedächtnis.

Das Laborpraktikum nachbereiten und Feedback geben

Wie kann die Auswertung eines Laborversuchs didaktisch vorbereitet werden? Wie können Studierende und Lehrende Feedback bekommen?

Mit dem Abschluss eines Experiments beginnt seine Analyse und Bewertung. Um dies angemessen bewerkstelligen zu können, ist eine präzise und verständliche Dokumentation der Methoden, Beobachtungen und Ergebnisse schon während der Laborphase notwendig. Die hier gesammelten Informationen sind u. a. Grundlage für das Protokoll, können aber auch in anderen Formaten, wie z. B. als Poster für eine Konferenz (▶ S. 40), aufbereitet und als Diskussionsgrundlage genutzt werden.

Dabei gilt: Nicht nur an den Umgang mit Messgeräten müssen Studierende herangeführt werden, sondern auch die Fähigkeit zum Protokollschreiben kann nicht in jedem Fall vorausgesetzt werden (▶ S. 41). Bei der Erarbeitung von Protokolltechniken können die Studierenden Gelegenheiten erhalten, sich selbst zu kontrollieren oder anderen Feedback zu ihrer Arbeit zu geben:

- Mit einem einfachen Kriterienkatalog können Studierende selbst die Qualität ihres Protokolls überprüfen (▶ S. 42).

- In einem zweiten Schritt können die Studierenden sich auch untereinander Feedback zum Protokoll geben, wobei der Kriterienkatalog erneut Orientierung bietet (▶ S. 44).

Zu den schwierigsten Abschnitten eines Protokolls zählt die Ergebnisdiskussion. Darin werden die Ergebnisse hinsichtlich einer zuvor definierten Hypothese diskutiert und in den aktuellen Stand der Forschung eingebettet. Wie die Studierenden dies am besten umsetzen, sollte zumindest in den ersten Laborpraktika vorher thematisiert werden. Die Ergebnisdiskussion selbst kann dann auch der Anlass dafür sein, Versuche weiterzudenken. So kann am Ende des Praktikums – auch unabhängig von der notwendigen Dokumentation – der Ausblick stehen, welche Folgehypothesen sich aus einem Versuch ergeben und was im Falle einer Weiterarbeit als nächstes zu tun wäre (▶ S. 33). Ein entsprechender Austausch zwischen Studierenden und Lehrenden kann das Ende der Laborarbeit darstellen und so den Blick nach vorne richten – womöglich auch auf anstehende Abschlussarbeiten der Studierenden.

Ein qualitatives, womöglich auch von einer Note völlig losgelöstes Feedback ist für die Weiterentwicklung der Studierenden wichtig, speziell wenn es konkrete Anregungen zur Verbesserung enthält (▶ S. 36). Von besonderer Bedeutung für das Lernen der Studierenden ist es, dass sie mit Hilfe von Feedback ihren eigenen Lernstand einschätzen und reflektieren können. Das Feedback sollte daher immer vor dem Hintergrund der Lernziele des Praktikums gegeben werden und kann die Arbeit im Labor betreffen, aber auch Abschlussberichte, Protokolle oder andere Formate der Dokumentation. Entsprechend sollte man zu unterschiedlichen Zeitpunkten die Gelegenheit nutzen, den Studierenden Rückmeldung zu ihren Teilergebnissen oder zum Arbeitsprozess zu geben (▶ S. 37).

Besonders früh setzen Feedbackverfahren an, die den Lernstand von Studierenden und seine Entwicklung erfassen. Sie müssen noch vor Beginn der gemeinsamen Arbeit geplant und begonnen werden. Die Studierenden müssen ganz am Anfang einer Veranstaltung nach ihrem Wissens- und Kenntnisstand zu den relevanten Lernzielen befragt werden. Dann wird es möglich, den Lernstand vom Anfang mit dem Lernstand am Ende des Praktikums zu verknüpfen und zu beurteilen, ob und wie viel die Studierenden gelernt haben (▶ S. 38, 39). So schließt sich auch der Kreis

zu der am Anfang dieser Broschüre erwähnten Idee, dass didaktische Planung am besten „rückwärts“ vollzogen werden sollte und von Anfang an bedacht werden muss, was ganz am Ende einer Veranstaltung geschehen soll.

Feedback ist am Ende einer Veranstaltung auch in umgekehrter Richtung von Bedeutung. Die Einholung der studentischen Perspektive mit Hilfe einer Evaluation gibt Hinweise darauf, wie das Laborpraktikum noch besser gestaltet werden kann. Eine Evaluation muss dabei weder zwangsläufig nur am Ende noch nur mittels eines Fragebogens geschehen. Schon im laufenden Praktikum können Rückmeldungen eingeholt werden. Dies hat den Vorteil, dass sie sich auch sofort umsetzen lassen (▶ S. 45).

Rückmeldung geben - mit oder ohne Note

Laborpraktika werden sehr unterschiedlich geprüft. Oft gibt es nur einen unbenoteten Nachweis, i. d. R. das Protokoll. Teilweise werden sie aber auch im Rahmen einer Modulprüfung in eine Klausur integriert, in der dann eher das Wissen als die praktischen Fertigkeiten geprüft werden.

Besonders gut wäre die Prüfung eines Laborpraktikums dann, wenn sie möglichst alle relevanten Kompetenzen, die im Labor gelernt werden sollen, einbezieht. Ist es also ein Lernziel, dass Experimentiergeräte richtig eingesetzt werden oder dass Studierende mit ihren Fehlern im Versuch konstruktiv umgehen können, müsste dies in Prüfungsaufgaben übersetzt und geprüft werden. Zum Teil ist dies auch in offenen Fragen in Klausuren möglich, besser ist aber z. B. eine direkte praktische Prüfung im Labor. Dabei kann auch theoretisches Wissen mit abgefragt werden, wenn zu dem Modul noch andere Veranstaltungen gehören, deren Inhalte mitgeprüft werden sollen.

Rückmeldung ohne Note

Doch auch wenn das im Labor Gelernte nicht für eine Note relevant wird, ist es wichtig, dass die Studierenden Rückmeldungen zu ihrem Stand im Hinblick auf die Lernziele der Veranstaltung bekommen. Solche Rückmeldungen helfen, sich selbst besser einzuschätzen und zielgerichtet zu arbeiten.

Sie fördern zudem das Gefühl, ernst genommen zu werden. Damit wirken sie letztlich motivierend für die Lernenden – selbst wenn sie Kritik beinhalten. Wichtig ist, dass das Feedback konstruktiv formuliert ist, d. h. dass es:

- sich auf das Verhalten und nicht die Person bezieht,
- anhand konkreter Beispiele vorgebracht wird,
- sowohl Negatives als auch Positives umfasst, und das Negative am besten zwischen zwei positive Aussagen 'verpackt', und
- Veränderungsmöglichkeiten aufzeigt (und sich nicht auf Unveränderbares bezieht) (Fengler 2009).

Ein Bewertungsraster mit Bezug zu den Lernzielen kann dabei helfen, alle relevanten Aspekte zu beachten und das Feedback zu strukturieren.

Zeitpunkte für Feedback

Feedback kann im Praktikum zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit unterschiedlicher Zielsetzung gegeben werden.

Zu Beginn des Praktikums können vorab bereitgestellte Leitfragen oder ggf. schriftliche Aufgaben besprochen werden. So wird der Vorbereitungsstand der Studierenden deutlich und die Lehrenden können auf fachliche Fragen eingehen.

Soll der Vorbereitungsstand der Studierenden durch einen Eingangstest überprüft werden, ist es unbedingt nötig, sofort im Anschluss an den Test Feedback zu geben, so dass die daraus erwachsenen Erkenntnisse in die folgende Versuchsdurchführung einfließen können. Hierfür bietet sich ein mündliches Kolloquium durch die Praktikumsbetreuerin bzw. den -betreuer an.

Während des Praktikums kann mündliches Feedback durch Betreuerin bzw. Betreuer sowohl nach dem ggf. selbst zu leistenden Versuchsaufbau als auch zwischen einzelnen Experimenten erfolgen. Gezielte Nachfragen können zum Verständnis der fachlichen Hintergründe von Telexperimenten und zur Plausibilität der gemessenen Daten gestellt werden, besonders dann, wenn die Praktikumsgestaltung praktische Fehler wahrscheinlich macht.

Zum Ende des Praktikums können ähnlich wie zu Beginn Fragen zum fachlichen Verständnis, zum Praktikumsablauf oder u. U. auch zu aufgetretenen Fehlern Gegenstand eines Gesprächs sein. Nicht zuletzt ist hier auch der Zeitpunkt, nochmals Feedback der Studierenden einzuholen, um Anhaltspunkte für eine Optimierung des Praktikums zu erhalten.

Generell ist es wichtig, formatives Feedback, d. h. fortlaufende Rückmeldungen zu geben, damit die Studierenden nicht erst am Ende des Praktikums durch die Note überrascht werden.

Selbsttests als Reflexionsmethode zum Wissensstand und zur Haltung

Formen von Selbsttests für Laborpraktika

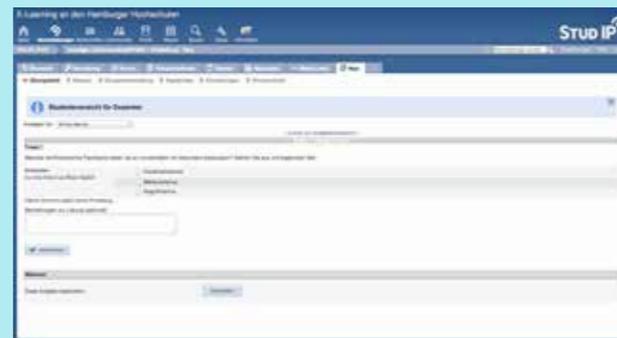
Durch Selbsttests kann Wissen noch vor dem Praktikum abgefragt und der Transfer auf den Versuch eingeleitet werden. Gerade bei Selbsttests sollten Hinweise darauf zu finden sein, was falsch war. Dies ist vor allem durch Online-Varianten (z. B. Vips in StudIP, Ilias, Maple TA) möglich, weil man hier nach der Beantwortung einer Frage die richtige Lösung und auch weitere Erklärungen einblenden kann (vgl. Woll u. a. 2014).

Für Selbsttests kommen unterschiedliche Formate in Frage:

- Multiple Choice-Formate liegen nahe und sind schnell umsetzbar; sie sind für die Abfrage von Verständnis aber nicht ohne Schwierigkeiten.
- Eine bessere Lösung zur Erhebung und Förderung von Theorieverständnis sind Two Tier-Multiple-Choice-Tests, bei denen Studierende nicht nur die richtige Lösung, sondern danach auch die richtige Begründung ankreuzen müssen (vgl. Timmermann/Kautz 2015).
- Geht es weniger um Theorieverständnis als um die Fähigkeit, Versuche zu konzipieren, bietet sich der EDAT (Experimental Design Ability Test) an (Sirum/Humburg 2011) (► S. 39).

Sofern die Entwicklung einer wissenschaftlichen Haltung der Studierenden gemessen und themati-

siert werden soll, bietet sich als Reflexionsmöglichkeit der speziell für Physik, Biologie und Chemie entwickelte CLASS-Test an (Semsar u. a. 2011). Im Mittelpunkt stehen hier Einstellungen der Studierenden zu Wissenschaft, Wissen und wissenschaftlichen Problemlösungsstrategien. Der Test misst, wo sich die Studierenden in dieser Hinsicht auf dem Kontinuum zwischen Novizen und Experten befinden (ebd.). Der Fragebogen lässt sich einfach einsetzen, die Ergebnisse sollten dann im Verlauf der Veranstaltung (z. B. in der Diskussion über die Wissenschaftlichkeit der durchgeführten Versuche oder für die Reflexion der angewendeten Problemlösungsstrategien) wieder aufgegriffen werden. Laborpraktika sind ein guter Ort für eine solche Reflexion, da sie exzellente Beispiele für den Forschungsprozess und daher für die Entwicklung einer wissenschaftlichen Identität der Studierenden sind.



Lernzuwachs für das Lernziel „Versuchsplanung“ messen: der EDAT-Test

Soll im Laborpraktikum wissenschaftliche Versuchsplanung erlernt oder vertieft werden, kann dieses Lernziel mit dem „Experimental Design Ability Test“ (EDAT, Sirum/Humburg 2011; s. Abb.) überprüft werden. Der Test basiert auf zwei Komponenten:

- einer individuell erstellbaren, prüfbaren Behauptung und
- einer einzigen Frage: „Welche Art von Beweis würden Sie gerne sehen, um herauszufinden, ob diese Behauptung falsch ist, bzw. bevor Sie diese Behauptung als wahr akzeptieren. Nennen Sie Details einer investigativen Versuchsplanung!“

Ein Beispiel für eine solche Behauptung im materialwissenschaftlichen Kontext wäre:

Firma X behauptet, dass ihr neu entwickeltes Material die zehnfache Festigkeit von Stahl besitzt.

Anhand der Freitextantwort der Studierenden werden mittels eines Bewertungsschemas zehn spezifische Konzepte der quantitativen Versuchsplanung bepunktet, z. B. das korrekte Identifizieren der unabhängigen Variable, oder die Erkenntnis, dass ein Experiment die Hypothese nur zu einer gewissen Wahrscheinlichkeit belegen bzw. widerlegen kann.

Bei der Entwicklung des EDAT wurde bewusst auf ein Multiple-Choice Format verzichtet, da der Denk-

prozess der Studierenden im Mittelpunkt stehen soll im Gegensatz zu einem vorformulierten Endergebnis. Dennoch ist der Test schnell durchzuführen und auszuwerten, sodass effizient Feedback gegeben werden kann.

Um tatsächlich so gut wie möglich den Einfluss des Laborpraktikums auf das Lernziel „Versuchsplanung“ zu messen, ist es sinnvoll, den Test sowohl vor als auch nach dem Praktikum einzusetzen, jeweils mit einer anderen Behauptung. Mithilfe des Bewertungsschemas ist dann eine Verbesserung der Studierenden bzgl. des Lernziels – d. h. der Lernzuwachs – quantitativ darstellbar. Da sich die Behauptung für jede beliebige Fachrichtung individuell und zudem auch stets neu erstellen lässt, ist der Test nahezu universell anwendbar.

EDAT Scoring Rubric (7/2010)

1. Recognition that an experiment can be done to test the claim
2. Identification of what variable is manipulated (independent variable)
3. Identification of what variable is measured (dependent variable)
4. Description of how dependent variable is measured (e.g., h)
5. Realization that there is one other variable that must be held constant
6. Understanding of the placebo effect (subjects do not know if they are in the control or experimental group)
7. Realization that there are many variables that must be held constant
8. Understanding that the larger the sample size or # of subjects, the more accurate the results
9. Understanding that the experiment needs to be repeated.
10. Awareness that one can never prove a hypothesis, that one can only disprove a hypothesis, and that one should generalize the conclusions (credit for any of these).

Ergebnisse auf Postern präsentieren

Poster-Sessions sind eine häufige Art des Wissensaustausches in der Forschung, mit der Studierende schon im Laborpraktikum Erfahrung sammeln können. In einer „Konferenz“ stellen sich Studierende anhand von Postern ihre Ergebnisse gegenseitig innerhalb einer bestimmten Zeitspanne vor. Dabei üben sie, fachliche Inhalte aufzubereiten, wesentliche von unwesentlichen Inhalten zu trennen, in angemessener Sprache vorzutragen und auf Nachfragen hin angemessen zu erklären.

Warum eine Posterpräsentation?

Klassischerweise werden Ergebnisse von Versuchen in Laborberichten oder Portfolios schriftlich festgehalten und von den Lehrenden gelesen. Wenn aber zusätzlich zu den fachlichen Kompetenzen Lernziele aus dem Bereich personaler Kompetenzen geübt werden sollen, sind auch andere Möglichkeiten denkbar, vor allem wenn nicht alle Studierende exakt die gleichen Versuche absolvieren.

Wie lässt sich eine Posterpräsentation umsetzen?

Um den Vorbereitungsaufwand gering zu halten und sich auf fachliche Inhalte zu konzentrieren, ist es möglich, Poster modular vorbereiten zu lassen. Zum Beispiel kann man einen Postermaster herausgeben, bei dem die Poster aus 3x2 DIN-A4-Blättern zu-

sammengesetzt werden und bei dem die inhaltliche Aufteilung in Abschnitte wie Kernaussage (Abstract), Einleitung, Versuchsaufbau, Durchführung, Ergebnis, Diskussion, Zusammenfassung und Literatur vorgegeben ist. Die Einzelblätter werden dann zu Postern gruppiert aufgehängt und die Studierenden stellen sich gegenseitig ihre Poster vor, zum Beispiel organisiert nach der ExpertInnenmethode (► S. 32), und geben sich gegenseitig Feedback (► S. 44).



Ein Protokoll schreiben lassen und betreuen

Das Führen und Archivieren von Protokollen ist Bestandteil des wissenschaftlichen Arbeitsalltags im Labor. Ein Protokoll hält den gesamten Versuch von der Frage- oder Problemstellung über die Durchführung bis zur Datenauswertung dokumentarisch fest.

Warum sollte ich Protokolle schreiben lassen?

Protokolle erfüllen nicht nur die Funktion, Messergebnisse dauerhaft festzuhalten und zu belegen. Für Studierende liefern sie einen weiteren Nutzen: Durch das Aufschreiben des gesamten Versuchs findet eine vertiefte Auseinandersetzung sowohl mit den fachlichen Inhalten als auch mit den Methoden statt. Schreiben löst Reflexionsprozesse aus und verlangt, dass Zusammenhänge durchdacht und Inhalte strukturiert werden (vgl. Carter 2007; Leisen 2008). Das Schreiben von Protokollen kann damit das Verstehen fördern, da der Schreibende sich noch einmal intensiv mit dem durchgeführten Versuch auseinandersetzen muss.

Wie kann ich das Schreiben von Protokollen betreuen?

Studierende müssen an das Schreiben von Protokollen erst herangeführt werden. Gerade zu Beginn des Studiums kann nicht davon ausgegangen werden, dass Studierende diese Fertigkeit bereits mitbringen. Daher ist es wichtig, das Verfassen von Protokollen

anzuleiten und Erwartungen klar zu kommunizieren. Dazu gehört, eindeutige Anleitungen zu machen, wie ein Protokoll aufgebaut sein soll, welche Punkte hineingehören und wie diese ausgefüllt werden sollen. Hilfreich kann außerdem eine Checkliste für Studierende (► S. 42) sein, die diese bei der Überprüfung unterstützt, ob ihr Protokoll die erwarteten Standards erfüllt, und ihnen bei der eigenständigen Überarbeitung hilft.



Selbstständiges Überarbeiten fördern: Checkliste zur Überarbeitung eines Protokolls

Lehrende können die Qualität eingereicherter Protokolle fördern, wenn sie Studierende dazu anregen und befähigen, Texte eigenständig zu überarbeiten. Eine Checkliste mit Kriterien, die ein Protokoll erfüllen soll, kann dabei helfen. Ebenso kann sie bei einem gegenseitigen Feedback unter Studierenden, dem Peer Feedback, als Leitfaden dienen. Bei der Erstellung einer solchen Checkliste können Sie sich an folgender Kriterienliste orientieren:

Bestandteile	Detaillierte Beschreibung der Kriterien	beachtet
Titelseite	<ul style="list-style-type: none"> Das Protokoll hat eine angemessene und eindeutige Überschrift. Die ProtokollantInnen bzw. die Gruppenmitglieder werden benannt. Dem Protokoll ist ein Datum zugeordnet. 	
Einleitung/ Fragestellung/ Themenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> Einführung in das Thema: Thema und Aufgabe werden in eigenen Worten beschrieben. Die Problemstellung wird erkannt und präzise dargestellt. 	
Methode(n) und Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> Die angewandten Methoden werden klar beschrieben. Der Einsatz der Methoden wird begründet. Ich als LeserIn könnte den Versuch anhand der Darstellung genauso wiederholen, d. h. ich habe alle relevanten Informationen zur Durchführung erhalten. 	
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> Die Ergebnisse werden vollständig und nachvollziehbar dargestellt. Sie sind logisch strukturiert und argumentativ belegt. Sie wurden akkurat visuell aufbereitet. 	
Diskussion	<ul style="list-style-type: none"> Die Diskussion bezieht sich ggf. mit Referenzen auf die Ergebnisse. Begründungen sind logisch aufgebaut und nachvollziehbar. Ergebnisse werden analysiert und in einen größeren Kontext gestellt. Ggf. werden Fehler diskutiert. 	

Allgemeines	Detaillierte Beschreibung der Kriterien	beachtet
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> Inhaltliche Richtigkeit: Das Protokoll zeigt, dass die ProtokollantIn das Problem verstanden und angemessen gelöst hat. Das Protokoll gibt mir als LeserIn eine klare Vorstellung dessen, was die ProtokollantIn erarbeitet hat. In jedem Unterpunkt steht nur das, was hier wirklich hineingehört. 	
Argumentation	<ul style="list-style-type: none"> Ich kann als LeserIn der Argumentation folgen, sie erscheint mir logisch aufgebaut. Ich als LeserIn habe alle Informationen, um die Argumentation zu verstehen. 	
Referenzen	<ul style="list-style-type: none"> Zitate und Literatur werden sachgemäß eingesetzt. Literaturangaben sind fachlich angemessen. 	
Formales	<ul style="list-style-type: none"> Das Protokoll erfüllt wissenschaftliche Standards, Formalia werden erfüllt (u. a. Nummerierung von Tabellen und Abbildungen, Gliederung durch Zwischenüberschriften, Seitennummerierung). 	
Sprache	<ul style="list-style-type: none"> Das Protokoll hat eine angemessene Sprache. Die Formulierungen sind präzise und fachgerecht /die Sprache ist klar und verständlich. Füllwörter (wie z. B. „eigentlich“), relative Formulierungen (wie z. B. „mit der Zeit“) und unnötige Wortwiederholungen wurden vermieden. Die einzelnen Sätze sind logisch verbunden (u. a. durch Konnektoren wie „daher“, „infolge dessen“, „dennoch“). Fachbegriffe werden korrekt angewandt. Grammatik und Rechtschreibung sind korrekt. 	
<i>Fortsetzung durch Ergänzung eigener Praktikums- oder Aufgabenspezifischer Kriterien</i>	<ul style="list-style-type: none"> Hier können Ihre eigenen Kriterien stehen. 	

Peer Feedback zu Protokollen anleiten

Was ist schriftliches Peer Feedback?

Beim schriftlichen Peer Feedback geben sich die Studierenden gegenseitig eine Rückmeldung zu ihren Texten. Schriftliches Peer Feedback kann beispielsweise zu abgegebenen Protokollen eingesetzt werden. Die Studierenden schreiben hier einen Feedbacktext zu einem anderen Protokoll, in dem sie auf vorher festgelegte Kriterien eingehen (► S. 42).

Warum Peer Feedback zu Protokollen schreiben lassen?

Beim Peer Feedback setzen sich Studierende mit den Vorgehensweisen und Ergebnissen anderer kritisch auseinander und werden dadurch auch zum Nachdenken über eigene Ergebnisse angeregt. Zudem findet durch den Feedbackprozess eine mehrfache Auseinandersetzung mit den Versuchsinhalten statt: beim Schreiben des eigenen Protokolls, beim Feedback geben sowie beim Einarbeiten des fremden Feedbacks in das eigene Protokoll. Dies intensiviert den Lernprozess und das Lernen voneinander (Stahlberg/Mosler/Schlüter im Druck). Außerdem führt es, wie wissenschaftlich belegt ist, zum Verfassen qualitativ besserer Texte sowohl von Feedbacknehmern als auch von Feedbackgebern (Cho/MacArthur 2011). Nicht zuletzt entlastet Peer Feedback den Lehrenden.

Wie kann Peer Feedback eingesetzt und angeleitet werden?

Feedback kann sowohl in Gruppen eingesetzt als auch mit Einzelpersonen durchgeführt werden. Wichtig ist, dass es sinnvoll angeleitet wird. Dies kann durch das Benennen eindeutiger Qualitätskriterien (► S. 42) oder durch Leitfragen geschehen.

Vor der Durchführung des schriftlichen Feedbacks sind Format und Aufbau klar zu kommunizieren (z. B. Gliederungspunkte; vollständige Sätze formulieren; auch wertschätzende Worte finden). Denn oft ist Studierenden die Methode nicht bekannt, so dass Unsicherheiten über die Art des Textes bestehen.

Feedback soll zur Überarbeitung des Protokolls anregen. Daher sollte gesichert sein, dass die Studierenden ihr Protokoll anhand des Feedbacks noch einmal überarbeiten.

Lehrqualität im Praktikum verbessern

Wann sollte ich ein Feedback zur Praktikumsqualität einholen?

Um als Lehrperson einen Überblick über die Lehrqualität eines Laborpraktikums zu gewinnen, kann man sich Feedback z. B. zum inhaltlichen Verständnis, zur Struktur, zum Prozess oder zur praktischen Kompetenz von den Studierenden einholen. Diese Aspekte können am Ende eines Laborpraktikums oder auch während der laufenden Veranstaltung abgefragt werden. Mit Hilfe von Feedback während der laufenden Veranstaltung („formatives Feedback“) erhält man als Lehrperson nicht nur Informationen darüber, inwieweit die Studierenden dem Lehrplan folgen können; der große Vorteil formativen Feedbacks besteht darin, dass Lehrende auf seiner Grundlage die Qualität des Praktikums direkt verbessern können, indem sie Veränderungen noch während des laufenden Semesters umsetzen.

Wie kann ich Feedback zur Lehrqualität meines Praktikums einholen?

Es gibt eine Reihe von Methoden, mit denen Feedback zu Lehrqualität zu erhalten ist. Ob die Studierenden den Lehrinhalten des Praktikums folgen können oder wo Klärungsbedarf besteht, lässt sich beispielsweise durch die Methode „The muddiest point“ prüfen (Angelo/Cross 1993), bei der die Studierenden am Ende der Veranstaltung einen Punkt notieren, der für sie unklar geblieben ist.

Um eine Rückmeldung zu Struktur, Prozess und Kompetenz zu erhalten, können kurze Fragebögen eingesetzt werden, in denen die Studierenden Stellung zu folgenden Aussagen beziehen:

- Das Praktikum ist gut mit den dazugehörigen Vorlesungen und Übungen abgestimmt.
- Die Einführung zum Laborpraktikum hat die Anforderungen deutlich gemacht.
- Die Versuchsanleitungen vermitteln notwendiges Hintergrundwissen.
- Die Versuchsprotokolle werden angemessen besprochen.
- Die Kriterien für die Bewertung des Praktikums sind transparent.
- Im Praktikum kann ich das Gelernte anwenden.
- Die Versuche fördern meine experimentellen Fertigkeiten.
- Im Praktikum wird das eigenständige wissenschaftliche Arbeiten gefördert.
- Die fachspezifische Arbeitsweise wird deutlich sichtbar.

Service

Das ZLL

Das Zentrum für Lehre und Lernen bietet als hochschul- und fachdidaktisches Zentrum der TUHH Beratung und Unterstützung für die Gestaltung der Lehre.

Hochschul- und fachdidaktische Beratung

Mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet das ZLL persönliche Beratungen für alle Lehrenden der TUHH an. Wir arbeiten dafür i. d. R. als didaktisch kompetente Teams aus LehrkoordinatorInnen und FachreferentInnen. Jedes Studiendekanat hat eine eigene Ansprechperson im ZLL. Nehmen Sie einfach Kontakt auf!

Konzeptwerkstätten

Das ZLL bietet für die Institute individuelle „Konzeptwerkstätten“ an, in denen Lehrende und ZLL-MitarbeiterInnen gemeinsam strukturiert an einzelnen Lehrveranstaltungen arbeiten. Hierbei werden – ausgehend vom Ist-Zustand – Vor- und Nachteile einer Lehrveranstaltung analysiert, um im nächsten Schritt neue Ideen und Lösungen für Probleme zu entwickeln. Einbezogen werden die jeweiligen ProfessorInnen, Wissenschaftlichen MitarbeiterInnen und möglichst auch Studierende, die die Veranstal-

tung kennen. Das ZLL unterstützt anschließend bei der Umsetzung.

Personalmittel

Zur Umsetzung innovativer Ideen für die Lehre stellt das ZLL Personalmittel zur Verfügung. In halbjährlichen Ausschreibungen (sog. „Calls“) kann für die Ausarbeitung einer auf Dauer angelegten Lehrinnovation – i. d. R. die Neugestaltung einer konkreten Lehrveranstaltung – eine Wissenschaftliche MitarbeiterInnen-Stelle beantragt werden. Mittel für Studentische Hilfskräfte (HiWis) zur Unterstützung innovativer Lehrprojekte können jederzeit und unabhängig von Call-Projekten bei den jeweils für ein Studiendekanat zuständigen LehrkoordinatorInnen des ZLL angefragt werden.

Das Team des Zentrums für Lehre und Lernen - gerne für Sie da!

Leitung

Prof. Dr. Sönke Knutzen
Andrea Brose, PhD
Dr. Peter Salden

AnsprechpartnerInnen der Studiendekanate

Andrea Brose, PhD (Studiendekanat G und GK)
Dr. Mirjam S. Gleßmer, MEd (Studiendekanat M)
Dr. Karolina Jahn (Studiendekanat E)
Uta Riedel, Dipl.-Ing., M.Sc. (Studiendekanat V)
Dr. Peter Salden (Studiendekanat W)
Dr. Klaus Vosgerau, Dipl.-Ing. (Studiendekanat B)

Weiterqualifizierung

Jenny Alice Rohde, Dipl.-Psych.

Problem- und Projektbasiertes Lernen

Marisa Braasch, M.A.
Siska Simon, Dipl.-Ing.
Caroline Thon-Gairola, M.A. (EZV)

Aktives Lernen

n. n.

Mediengestütztes Lehren und Lernen

Dr. Nicole Podleschny

Kompetenzorientiertes Prüfen

Katrin Billerbeck, Dipl.-Soz.

Forschendes Lernen

Dr. Ulrike Bulmann

Akademisches Schreiben

Nadine Stahlberg

Hamburg Open Online University

Christian-Maximilian Steier, Dipl.-Soz. Päd.

Qualitätsmanagement

Nina Anders, M.A.

Öffentlichkeitsarbeit

Lydia Rudolph-Jäger, Dipl.-Pol.
Viktoria Constanze Schneider, M.A. (EZV)

Erweiterte Studieneingangsphase (mytrack)

Victoria Misch, M.Sc.



Weiterqualifizierung

Das ZLL bietet passgenaue Weiterqualifizierungsangebote für alle Gruppen von Lehrenden an der TUHH. In Workshops haben Sie die Möglichkeit, verschiedene didaktische Ansätze und Methoden kennenzulernen und sich mit anderen Lehrenden auszutauschen. Im Mittelpunkt stehen stets die Erfahrungen der teilnehmenden Lehrenden und ihre konkreten Unterrichtssituationen. Die Teilnahme an den Workshops ist für Lehrende der TUHH kostenfrei. Die Weiterqualifizierung der TUHH umfasst folgende Angebote:

Didaktische Professoren lounge

Die Professoren lounge richtet sich ausschließlich an Professorinnen und Professoren der TUHH. Im kleinen Kreis wird, entlang der eigenen Lehre, zu aktuellen hochschuldidaktischen Themen diskutiert und gearbeitet. Ausgerichtet werden die Veranstaltungen vom Vizepräsidenten Lehre, einer Expertin oder einem Experten aus dem ZLL und einem externen Gast.

Hochschuldidaktische Workshops

Die Workshops richten sich an Oberingenieurinnen und Oberingenieure, wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie an Dozentinnen und Do-

zenten. Die Veranstaltungen bieten die Gelegenheit, anhand der eigenen Lehre an hochschuldidaktischen Themen zu arbeiten und sich mit anderen Lehrenden auszutauschen. Sie werden von Expertinnen und Experten aus dem ZLL oder der Abteilung der Fachdidaktik für Ingenieurwissenschaften gestaltet.

Schulung von Tutorinnen und Tutoren

Auch für studentische Tutorinnen und Tutoren bietet das ZLL in Kooperation mit der Fachdidaktik der Ingenieurwissenschaften spezielle Schulungen an. Je nachdem, ob diese regelmäßige Übungen gestalten, Testate im Konstruktionsprojekt abnehmen, mit problem- oder projektbasiertem Lernen arbeiten, werden unterschiedliche Schulungsformate angeboten.

Workshops auf Anfrage

Bei Interesse an weiteren Workshops bietet das ZLL auf Anfrage Veranstaltungen außer der Reihe an. Eine Übersicht zu möglichen Themen finden Sie auf unserer Homepage. Im Idealfall melden Sie sich hierfür bereits mit mehreren Interessierten an.

Die aktuellen Weiterqualifizierungsangebote finden Sie auf unserer Homepage.

Abteilung für Fachdidaktik der Ingenieurwissenschaften



Die Abteilung für Fachdidaktik beschäftigt sich mit der wissenschaftlichen Beschreibung des Lehrens und Lernens in den Ingenieurwissenschaften. Ein besonderer Schwerpunkt unserer Arbeit liegt auf der Untersuchung des Verständnisses zentraler Begriffe und Zusammenhänge in ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenfächern. Hierfür verwenden wir sowohl qualitative als auch quantitative empirische Methoden wie z. B. semi-strukturierte Interviews und Diagnostiktests.

Projekte

Die derzeitigen Forschungsprojekte untersuchen das konzeptionelle Verständnis von Studierenden in den Grundlagenfächern Mechanik, Elektrotechnik, Regelungstechnik und Informatik. Neben eng fachbezogenen Projekten beschäftigen wir uns auch mit fachübergreifenden ingenieurdidaktischen Themen und zentralen Begriffen wie „Modell“ oder „System“, die in verschiedenen Fächern mit ähnlicher Bedeutung auftreten.

Im Projekt „readySTEMgo“ untersuchen wir zusammen mit anderen europäischen Universitäten die wesentlichen Fähigkeiten und Voraussetzungen, die zum Erfolg im Ingenieurstudium führen. Zusätzlich organisiert unsere Abteilung das Graduiertenkolleg

des SFB 986, in dem Promovierende durch selbstgestaltete Lehreinheiten anderen Promovierenden ihre Forschungsthemen näher bringen und dadurch die interdisziplinäre Vernetzung des SFB stärken.

Learning Center

Im vom ZLL und unserer Abteilung eingerichteten und betreuten Learning Center können Studierende alleine oder in Lerngruppen arbeiten. Speziell geschulte TutorInnen können bei Bedarf durch gezielte Fragen weiterhelfen, ohne aber Lösungen vorzugeben oder die Aufgaben vorzurechnen. Die Studierenden sollen so schon während der Vorlesungszeit zum kontinuierlichen Lernen angeregt werden.

Leitung

Prof. Dr. Christian Kautz

Wissenschaftliche MitarbeiterInnen

Julie Direnga, M.Sc.

Dr. Ulrike Herzog

Hanno Holzhüter, M.Sc.

Dipl.-Ing. Dion Timmermann

Dr. Alette Winter



Literatur

Angelo, Thomas/Cross, K. Patricia (1993): Classroom assessment techniques. 2nd. Ed. San Francisco.

Angelo, Thomas (1995): Beginning the dialogue: Thoughts on promoting critical thinking: Classroom assessment for critical thinking. In: Teaching of Psychology 22(1), S. 6-7.

Berling, Barbara (2005): Ergebnisoffenes Experimentieren. In: Maxton-Küchenmeister, Jörg/Dähnhardt, Dorothee (Hgg.): Genlabor & Schule. Dokumentation eines Schülerlabor-Netzwerkes. S. 28.

Biggs, John/Tang, Catherine (2007): Teaching for quality learning at university. Maidenhead.

Bräuer, Gerd (2014): Das Portfolio als Reflexionsmedium für Lehrende und Studierende. Opladen.

Brewer, William/Lambert, Bruce (2001): The theory-ladenness of observation and the theory-ladenness of the rest of the scientific process. In: Philosophy of Science 3 (2001), S. 176-186.

Brooks, David/Etkina, Eugenia (2009): „Force“, ontology, and language. In: Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. Vol. 5, Nr. 1.

Brown, James Robert (1991): The laboratory of the mind – thought experiments in the natural sciences. London.

Bruchmüller, Hans-Georg/Haug, Albert (2001): Labordidaktik für Hochschulen. Eine Hinführung zum Praxisorientierten Projekt-Labor. Darmstadt.

Carter, Michael (2007): Ways of knowing, doing, and writing in the disciplines. In: College composition and communication 3 (58), S. 385-417.

Cho, Kwangsu/MacArthur, Charles (2011): Learning by reviewing. In: Journal of Educational Psychology 103/1, S. 73-84.

Cooper, James L. (1995): Cooperative learning and critical thinking. In: Teaching of Psychology, vol. 22, Nr. 1, S. 7-9.

Crouch, Catherine u. a. (2004): Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? In: Am. J. Phys. 72 (6).

Daubenfeld, Thorsten u. a. (2012): E-Learning als integraler Baustein von Laborpraktika. In: Nachrichten aus der Chemie 60 (9), S.884-886.

Feisel, Lyle D./Rosa, Albert J. (2005): The role of the laboratory in undergraduate engineering education. In: Journal of Engineering Education, S. 121-130.

Fengler, Jörg (2009): Feedback geben: Strategien und Übungen. Weinheim.

Hart, Christina u. a. (2000): What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? In: Journal of Research in Science Teaching, Vol. 37, Nr. 7, S. 655-675.

Helm, Hugh u. a. (1985): Thought experiments and physics education – part 2. In: Phys. Educ., 20, S. 211-217.

Hemmerich, Andreas u. a. (2014): Problemorientiertes, offenes Experimentieren im Physikalischen Praktikum I für Studierende der Naturwissenschaften. In: Lenzen, Dieter/Rupp, Susanne (Hgg.): Das Lehrlabor. Hamburg, S. 96-105.

Kurfiss, Joanne G. (1988): Critical thinking: theory, practice, and possibilities. ASHE-ERIC Higher Education Report No. 2.

Land, Susan M. (2000): Cognitive Requirements for learning with open-ended learning environments. In: Educational Technology Research and Development vol. 48, Nr. 3, S. 61-78.

Leisen, Josef (2008): Lesen ist schon schwer genug, dann auch noch Schreiben? In: Unterricht Physik 19 (2008).

Meyers, Chet (1986): Teaching students to think critically. San Francisco.

Nestojko, John u. a. (2014): Expecting to teach enhances learning and organization of knowledge in free recall of text passages. In: Memory & Cognition 42, S. 1038-1048.

Priemer, Burkhard (2006): Open-ended experiments about wind energy. In: van den Berg, Ed u. a. (Hgg.): Modelling in physics and physics education. Amsterdam, S. 800-803.

Professional Learning Board (2015): What is an open-ended lab? <https://k12teacherstaffdevelopment.com/tlb/what-is-an-open-ended-lab/> (05.08.2015).

Schneider, Ralf/Wildt, Johannes (2009): Forschendes Lernen und Kompetenzentwicklung. In: Huber, Ludwig u. a. (Hgg.): Forschendes Lernen im Studium. Bielefeld, S. 53-68.

Semsar, Katharine u. a. (2011): The colorado learning attitudes about science survey (CLASS) for use in biology. In: CBE-Life Science Education, vol. 10, S. 268-278.

Shonle, John (1967): Project laboratory in electricity and magnetism. In: American Journal of Physics, vol. 35, Nr. 9, S. 792-796.

Sirum, Karen/Humburg, Jennifer (2011): The experimental design ability test (EDAT). In: Bioscene: Journal of College Biology Teaching, vol. 37, Nr. 1, S. 8-16.

Smith, Michelle K., u. a. (2009): Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions. In: Science, vol 323, S. 122-124.

Stahlberg, Nadine/Mosler, Stefan/Schlüter, Michael (im Druck): Mathematische Lern- und Denkprozesse anregen durch schriftliche Feedbackübungen. In: Paravicini, Walther/Schnieder, Jörn (Hg.): Hanse-Kolloquium zur Hochschuldidaktik der Mathematik 2014.

Strohm, Susan/Baukus, Robert (1995). Strategies for fostering critical thinking skills. In: Journalism and Mass Communication Educator, vol. 50, Nr. 1, S. 55-62.

Timmermann, Dion/Kautz, Christian (2015): Multiple-Choice Questions that test conceptual understanding: a proposal for qualitative two-tier exam questions. Presented at the ASEE Annual Conference and Exposition, Seattle.

Tranquillo, Joseph (2006): Qualitative, Quantitative, Open-Ended design. A Progression in Laboratory/Lecture Learning. Presented at ASEE, Chicago.

Weaver, Gabriela C./Russell, Cianan B./Wink, Donald J. (2008): Inquiry-based and research-based laboratory pedagogies in undergraduate science. In: Nature Chemical Biology 4, S. 577-580.

Woll, Robin u. a. (2014): Hundert Jahre Quizze – und nichts dazugelernt? (Visionen & Konzepte). In: GMW-Tagungsband. <http://2014.gmw-online.de/wp-content/uploads/200.pdf>, S. 200-206.

Zenker, Dietmar u. a. (2013): Virtuelle Vorlesung Physikalische Chemie – Umsetzung eines Inverted-Classroom-Szenarios mit Hilfe von Video-Podcasts und Online-Tests der Lernplattform ILIAS. In: Bremer, Claudia/Krömker, Detlef (Hgg.): E-Learning zwischen Vision und Alltag. Münster, S. 173-180.

