

# Guided discovery learning in Übungen zur theoretischen Physik

Malte Schröder,<sup>1</sup> Jana Lasser,<sup>2,3</sup> and Lisa Lehmann<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Chair for Network Dynamics, Center for Advancing Electronics Dresden (cfaed) and Institute for Theoretical Physics, Technische Universität Dresden*

<sup>2</sup>*Institute of Interactive Systems and Data Science, Technische Universität Graz*

<sup>3</sup>*Complexity Science Hub Vienna*

<sup>4</sup>*Fachschaft Physik, Technische Universität Dresden*

Vorlesungen stehen im Zentrum von klassischen Lehrveranstaltungen. Dabei ist das Entdecken und Selbstrechnen gerade auch beim Lernen von theoretischer Physik wichtig und sehr gut möglich. Wie verschiedene Aufgabentypen aktives Lernen ermöglichen können – ein Plädoyer für Übungen, aber weniger üben.

Im Studium dreht sich alles um die Vorlesungen – zumindest in der Wahrnehmung vieler Studierender und gerade auch weil oft nur diese Art des Mathematik- und (theoretische) Physik-Lernens aus der Schule bekannt ist. Diese Vorstellung wird durch unseren alltäglichen Sprachgebrauch und auch durch die Kommunikation über die Lehrveranstaltungen oft weiter verstärkt. Die Übungen und ‘Hausaufgaben’, die es im Rahmen der meisten Lehrveranstaltungen ebenfalls gibt, werden dann eher als Beiwerk empfunden, in dem das Gelernte nur nochmal (wie der Name schon sagt) geübt wird. Neue Konzepte und Ideen werden also zuerst in der Vorlesung erklärt und im Anschluss in den Übungsaufgaben wiederholt. Dadurch passiert das Lernen von neuen Konzepten und Methoden in diesem klassischen Modell von Vorlesungen und Übungen implizit passiv in der Vorlesung. Dieses Bild des universitären Lernens entbindet damit zumindest teilweise auch die Studierenden von der Verantwortung für ihr Lernen, denn es impliziert, dass man alles Wichtige mitbekommt, wenn man nur in der Vorlesung ist und zuhört.

Dabei ist das aktive Lernen und Anwenden der Konzepte und Methoden ein zentraler – wenn nicht sogar *der* zentrale – Bestandteil des Lernens. Übungen und Übungsaufgaben, um in der Vorlesung erlernte Konzepte und Methoden anzuwenden, zu üben und zu wiederholen, sind und bleiben dabei unersetzlich, um die komplexen Zusammenhänge und Methoden zu verinnerlichen. Übungen bieten aber zusätzliche Möglichkeiten, das Selbststudium und die Vorbereitung als aktives Lernen in den Mittelpunkt der Lehrveranstaltung zu stellen. Solche Ansätze sind in anderen Fällen, insbesondere zum Beispiel beim Programmieren, bereits üblich. Oft werden dabei nur die grundlegenden Konzepte erklärt und die Lernenden können und müssen diese dann eigenständig und ohne explizite Vorgaben zur Lösung von (in vielen Fällen eigenen) Programmieraufgaben anwenden. Das kann so weit gehen, dass neue Inhalte asynchron in Form von Videos oder anderen Vorlesungsunterlagen von den Studierenden in Eigenregie erlernt und geübt werden, und die Präsenzzeit in der Vorlesung dafür genutzt wird, Fragen und über den eigentlichen “Stoff” hinausgehende Inhalte zu diskutieren (flipped classroom).

Auch in das Physikstudium findet diese Art des Lernens Einzug. Gerade in weiterführenden Vertiefungsvorlesungen können die nötigen Grundlagen meist als bekannt vorausgesetzt werden und die Studierenden bringen oft eine größere intrinsische Motivation mit, da sie sich die Themen der Lehrveranstaltungen selber aussuchen. Das selbstständige Entdecken und Erforschen komplexer Zusammenhänge in speziellen Themengebieten bereitet dabei zusätzlich gut auf zukünftige eigene wissenschaftliche Arbeiten, zum Beispiel im Rahmen von Abschlussarbeiten, vor. Je weiter fortgeschritten die Studierenden sind, desto einfacher kann dieser Ansatz auch mit wenig Anleitung erfolgreich sein (unassisted discovery).

Grundsätzlich eignen sich Übungsaufgaben, die das aktive Lernen und Entdecken fordern, aber auch für Grundvorlesungen, wobei hier eine entsprechend enge Begleitung notwendig ist (assisted/guided discovery). Dabei unterscheiden wir im Folgenden grob zwischen drei verschiedenen Arten von Aufgaben:

- Klassische Übungsaufgaben ermöglichen das Anwenden und Wiederholen bereits erlernter Konzepte.
- Vorbereitungsaufgaben können neue Konzepte ganz oder teilweise in der Übung einführen, bevor diese in der Vorlesung besprochen werden. Dabei führen sie im Sinne von Guided Discovery Learning in kleinen Schritten durch einfache Beispiele oder Anwendungen, die die Konzepte illustrieren und schließlich verallgemeinern.
- Vertiefungsaufgaben folgen einer ähnlichen Idee wie Vorbereitungsaufgaben, folgen aber nach dem Erlernen der Konzepte, um die Bedeutung und Implikationen der erlernten Konzepte zu vertiefen. Dazu können Vertiefungsaufgaben anhand von Beispielen und Anwendungen unter anderem spezielle Details der Konzepte aufgreifen oder weiterführende verwandte Konzepte einführen.

Die Integration entsprechender Aufgaben in die Lehrveranstaltungen können die Studierenden auch in der theoretischen Physik dazu anleiten, Konzepte oder Fragestellungen selber zu entdecken und aktiv über deren Bedeutung nachzudenken. Im Idealfall können die Studierenden dabei Fragestellungen und Konzepte in den Vorbereitungsaufgaben selbst aktiv erarbeiten, mit den anschließend in der Vorlesung vorgestellten Konzepten und Methoden direkt eine Anwendung verbinden, und diese schließlich in der folgenden Übung anwenden und vertiefen.

Eine große Herausforderung dieser Art des Lernens ist es, die Studierenden über die ganze Lehrveranstaltung hinweg mitzunehmen. Insbesondere in der Mathematik und (theoretischen) Physik mit vielen aufeinander aufbauenden Konzepten ist ein gutes Verständnis der theoretischen und mathematischen Grundlagen für ein erfolgreiches aktives Entdecken notwendig. Diese Art der Übungen setzt daher auch die kontinuierliche Mitarbeit durch die Studierenden voraus, was in manchen Fällen als zusätzlicher Arbeitsaufwand empfunden werden kann, aber oft das kurzfristige Lernen vor der Prüfung vereinfacht. Funktioniert dies, kann diese Art der Aufgaben und des eigenen Entdeckens Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Konzepten aufzeigen und das tiefergehende Verständnis und die Motivation zur kontinuierlichen Mitarbeit weiter fördern. Fehlen dazu aber die Grundlagen oder machen die Übungen zu große Sprünge, kann dies auch schnell in Frustration bei den Studierenden umschlagen und damit gerade zum gegensätzlichen Ergebnis führen. Diese Übungen können und sollen die Vorlesungen als Aufbereitung der Lerninhalte also nicht ersetzen, sondern nur begleiten und im Idealfall vereinfachen und verkürzen.

Insbesondere muss viel mehr als bei anderen Lernformen darauf geachtet werden, Studierende nicht zu verlieren. Daher ist für Lehrende ein kontinuierliches Feedback wichtig, um zu verfolgen wie gut die Studierenden die jeweiligen Aufgaben (eigenständig) bearbeiten können oder wo es besonders große Verständnisprobleme gab. Insbesondere reicht es nicht, nur die Evaluierung der gesamten Lehrveranstaltung am Ende des Semesters zu nutzen. Kontinuierliches Feedback kann zum Beispiel in Form von anonymen Umfragen oder kurzen Multiple-Choice-Aufgaben im Rahmen der Vorlesung erfolgen, um neben der Selbsteinschätzung der Studierenden auch Informationen über den tatsächlichen Kenntnisstand zu erhalten. Passieren solche Überprüfungen kontinuierlich im Verlauf des Semesters, können Lehrende auf eventuell entstandene Verständnislücken reagieren und den Inhalt der nächsten Vorlesungen und/oder Übungen entsprechend anpassen.

Aus dem gleichen Grund stellt diese Art von Übungen, insbesondere bei der Nutzung als Vorbereitungsaufgaben, auch sehr hohe Ansprüche an die Aufgabenstellungen. Die Aufgaben müssen so gestaltet sein, dass das zentrale Konzept deutlich wird und die Fragestellung nicht zu offen bleibt, zum Beispiel durch präzise Fragen, bevor die Konzepte verallgemeinert werden. Bei längeren Aufgaben sollte außerdem darauf geachtet werden, hinreichend kleine Schritte zu machen und am besten Zwischenergebnisse anzugeben, damit die Studierenden einen Leitfaden haben und nicht zu große Lücken entstehen. Andererseits dürfen die Aufgaben eine Herleitung oder Lösung nicht wie in einem Buch im Detail beschreiben, sodass keine oder nur triviale Schritte von Seiten der Studierenden notwendig sind. Dabei kann das Verstehen von Formeln und Zusammenhängen, die zwar nicht explizit besprochen wurden, deren Grundlagen aber bekannt sind, durchaus ein wichtiger Aspekt der Aufgaben sein. Insbesondere bei Vorbereitungsaufgaben muss aber auf eine entsprechend genaue Aufgabenstellung geachtet werden, die die Studierenden dabei unterstützt, und immer die Möglichkeit gegeben sein, dass die Studierenden Fragen stellen können, damit sie bei den Aufgaben nicht stecken bleiben. Vorbereitungsaufgaben eignen sich daher auch sehr gut als Präsenzaufgaben zur gemeinsamen Bearbeitung in den Übungen. Dadurch können das Ziel und die zentralen Konzepte der Aufgaben durch die Übungsleiter explizit herausgestellt und Probleme oder Unklarheiten in der Aufgabenstellung oder den betrachteten Konzepten direkt besprochen werden.

Aber auch zum Erkunden neuer Konzepte oder Anwendungen in Vertiefungsaufgaben ist es wichtig, dass die Aufgabenstellung ausreichend viel, aber nicht alles erklärt und dennoch die wichtigen Zwischenschritte zur Kontrolle mitliefert. Die Problemstellung und die betrachtete Anwendung und die sich daraus ergebenden Fragen müssen klar beschrieben und motiviert sein. Dabei sollte deutlich zwischen den zentralen Konzepten, die untersucht werden sollen, speziellen Aspekten der betrachteten Anwendung und möglicherweise interessantem Hintergrundwissen unterschieden werden. Dies ist insbesondere auch für die Lösungen der Aufgabe wichtig. Die Erstellung der Aufgabenstellungen ist dadurch meist aufwändiger und die Aufgaben und Lösungen auch oft um ein Vielfaches länger als einfache Übungsaufgaben, sodass diese Aufgaben und auch lange Lösungen mit vielen weiterführenden Informationen anfangs oft abschreckend wirken können.

Eine klare Kommunikation der Ziele und des Schwierigkeitsgrads der Aufgaben, zum Beispiel eine deutliche Kennzeichnung der Aufgaben, ist wichtig, um Studierenden eine sinnvolle Priorisierung zu ermöglichen. Eine Herausforderung liegt dabei in oft großen Unterschieden zwischen (einfachen) Vorbereitungsaufgaben und (schwierigen) Vertiefungsaufgaben. Insbesondere sollte für die Studierenden klar werden, welche Aufgaben grundlegende Aspekte behandeln und künftige Lerninhalte vorbereiten und welche Aufgaben fortgeschrittene Konzepte erkunden, die für die Kerninhalte der Lehrveranstaltung nicht direkt relevant sind. Um besonders engagierte Studierende nicht zu langweilen, und gleichzeitig weniger engagierte Studierende nicht zu verlieren, kann zum Beispiel mit optionalen (Vertiefungs)Aufgaben mit

unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad gearbeitet werden, die mit (einer kleinen Anzahl von) Bonuspunkten für die Klausur belohnt werden können.

Vorbereitungs- und Vertiefungsaufgaben können dabei zusätzlich sehr gut durch ein Angebot diverser Lehrmaterialien unterstützt werden. Um den Arbeitsaufwand auf Seiten der Lehrenden zu begrenzen und gleichzeitig die Diversität der angebotenen Lehrmaterialien zu erhöhen, kann es dabei sinnvoll sein, existierende Lehrmaterialien, die über Bücher oder Skripte hinausgehen, einzusetzen. Vielfach gibt es hervorragende Vorlesungsmitschnitte anderer Bildungseinrichtungen, Podcasts und Blogposts, die die Themen aus anderen Blickwinkeln beleuchten. Diese eignen sich einerseits als alternative Angebote, um Konzepte aus Vorbereitungsaufgaben kennenzulernen, andererseits als weiterführende Materialien zu speziellen Anwendungen in Vertiefungsaufgaben. Beim Einsatz solcher Lehrmaterialien kommt den Lehrenden dabei vor allem die wichtige Rolle der Kurator:innen des vorhandenen Materials zu: Im Überfluss an verfügbaren Angeboten ist es gerade für Studierende oft schwierig, gute und relevante Inhalte herauszufiltern. Hier können Lehrende gezielt Angebote kuratieren und mit den von den Lehrenden selbst erstellten Materialien in Bezug setzen, um den Studierenden die Navigation durch das Angebot zu erleichtern.

Vorbereitungsaufgaben lassen sich dabei für ganz grundlegende mathematische Methoden mit Vorlesung und anschließender Übung integrieren, zum Beispiel für die Dirac-Delta-Distribution: Sobald Grenzwerte, Integration und Taylorentwicklung bekannt sind, wird in einer Vorbereitungsaufgabe die Funktion  $d(x; a) = \frac{H(a-|x|)}{2a}$  (oder eine äquivalente Funktionenfolge) und der Grenzwert  $a \rightarrow 0$  der Funktion und verschiedener Integrale untersucht. In der folgenden Vorlesung wird die Dirac-Delta-Distribution eingeführt, deren Eigenschaften grundsätzlich bereits aus der Vorbereitungsaufgabe bekannt sind. Im Anschluss kann in Übungsaufgaben das Rechnen mit der Delta-Distribution geübt und deren Bedeutung, zum Beispiel als Massendichte einer Punktmasse, in einer einfachen Vertiefungsaufgabe diskutiert werden. Dabei ist allerdings eine gute Abstimmung von Vorlesungen und Übungen wichtig, damit die Aufgaben und Konzepte in der richtigen Reihenfolge bearbeitet und besprochen werden.

Aber auch für fortgeschrittenere Themen der theoretischen Physik ist dieser Ansatz durchaus geeignet. Gute Beispiele für Vertiefungsaufgaben aus dem Bereich der statistischen Physik finden sich zum Beispiel im Buch ‘Statistical Mechanics’ von James Sethna. Die einzelnen, relativ kurzen Kapitel führen dabei die zentralen Grundlagen ein, grundlegende Konzepte und weiterführende Details oder Anwendungen sind dabei meist gut voneinander getrennt. Die meisten Aufgabenstellungen, begleitet von oft relativ langen Erklärungen, zeigen schließlich Anwendungen auf und erkunden die vielen tiefergehenden, subtilen Details und weiterführenden Konzepte. Aufgrund der oben genannten Herausforderungen ist das Buch dadurch aber nur bedingt als isoliertes Selbst-Lern-Buch für den Einstieg in das Thema geeignet, sondern setzt die Aufbereitung und begleitende Interaktion mit Lehrenden und die Möglichkeit für aktives Fragenstellen durch die Studierenden voraus.

Guided discovery learning in Übungen zur theoretischen Physik umzusetzen ist sicherlich keine einfache Aufgabe. Die Themen werden oft als sehr schwierig empfunden und Studierende wollen oft “einfach nur bestehen”. Gerade deshalb bietet die theoretische Physik aber auch viel Potential, Studierende aktiver in das Lernen einzubinden und Neugier zu wecken. Wir möchten mit unserem Beitrag Lehrende dazu ermuntern, neue Formate wie die beschriebenen Übungen auszuprobieren und Studierende mehr einzubinden. Studierende möchten wir dazu einladen, sich auf die Formate einzulassen und sich mit Fragen und Feedback einzubringen. Denn nur durch ein Miteinander von Lehrenden und Lernenden können wir weg von Lehr- und hin zu Lernveranstaltungen kommen, in denen das Lernen im Mittelpunkt steht, mit mehr Fokus auf die Übungen, aber weniger „üben“.