

Konzept der Vorlesung „Experimentalphysik C1“

Prof. Dr. Markus Lippitz, Experimentalphysik III, Universität Bayreuth

<https://ep3.uni-bayreuth.de/lecturenotes>

21. Februar 2022

Formal ist dies eine Pflichtvorlesung im Bachelor-Studiengang Physik und Lehramt Physik am Gymnasium mit 4 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung bei 8 ECTS. Es nehmen etwa 35 Studierende teil. Die Übungen werden von 3 Assistenten betreut. Wir haben 6 feste Arbeitsgruppen gebildet, denen ein Assistent fest zugeordnet ist. Die Gruppen arbeiten in den Übungen und auch im Plenum (formerly known as Vorlesung) zusammen.

Es gibt zwei zentrale Konzepte *'flipped classroom'* und *'ein Thema pro Woche'*. Flipped classroom beschreibt die Auslagerung der Vermittlung von Wissen in die Selbstlernzeit vor der Präsenzveranstaltung. In letzterer werden dann höhere Kompetenzen wie Verständnis, Anwendung, Synthese und Beurteilung geübt. Die Übungsgruppen bieten dann noch eine Möglichkeit, die Kompetenzen an komplexeren Aufgaben auszuprobieren und in einer kleinen Gruppe letzte Unklarheiten zu klären. *'Ein Thema pro Woche'* bedeutet, dass die Studierenden zu jedem Zeitpunkt nur ein einziges Thema in Kopf haben müssen. Dies ist im Gegensatz zum üblichen Übungsbetrieb, in dem der Übungszettel auf die Vorlesung folgt, und darauf wiederum die Besprechung des Übungszettels. Zu jedem Zeitpunkt gäbe es so drei Themen: das der aktuellen Vorlesung, den Zettel zur Woche davor und die Lösung zum Zettel davor, also der Vorlesung von vor zwei Wochen.

Zeitlicher Ablauf

'Ein Thema pro Woche' ordnet jedem Wochentag eine wiederkehrende Tätigkeit zu. Bedingt durch die traditionellen Termine der Vorlesung war dies in diesem Semester

Samstag und Sonntag Die Studierenden lesen das Kapitel im Vorlesungsskript und schauen die Vorlesungsvideos dazu an. Zur Selbstkontrolle gibt es ein online Quiz und teilweise Fragen im Skript. Die zu erreichenden Ziele sind im Skript beschrieben. Der Übungszettel konkretisiert diese Ziele durch zu lösende Aufgaben. Fragen zum Skript können online in Perusall gestellt werden und werden von mir zeitnah beantwortet.

2 Konzept

Montag und Dienstag An den Terminen der Vorlesung findet das Plenum statt. Wir besprechen zunächst alle offenen Fragen. Danach diskutierten wir ConcepTests-artige Aufgaben, mit dem Ziel, weitere Unklarheiten zu finden und schon manche der Ziele zu erreichen.

Dienstag bzw. Mittwoch Die Übungsgruppen treffen sich mit ihrem Tutor und arbeiten am Übungszettel ähnlich zu einem Lernzentrum. Die Aufgaben müssen als weder zu Beginn noch zum Ende der Gruppensitzung gelöst sein. Der Tutor beantwortet Fragen, gibt aber keine Musterlösung.

Donnerstag Mit Ablauf des Donnerstags reicht jede Übungsgruppe eine gemeinsame Lösung der Übungszettels online ein. Die Tutoren schauen sich die Lösung an, korrigieren sie aber nicht.

Freitag Videos mit Erklärungen der Musterlösung werden für 7 Tage freigeschaltet. Jede Gruppe erhält die Lösungen zu den Aufgaben, die sie bearbeitet hat. Die Studienende vergleichen selbst ihre Lösung mit der Musterlösung. Diese Bewertung der Angemessenheit ist die höchste Stufe der Bloom'schen Taxonomie! Fragen und Unklarheiten werden im nächsten Plenum oder in der nächsten Sitzung der Übungsgruppe geklärt.

Details zur Phase vor dem Plenum

Ich habe ein *Vorlesungsskript* erstellt, das sich in Umfang und Reihenfolge der Inhalte sehr nahe an den typischerweise in einer live-Vorlesung an die Tafel geschriebene Inhalte orientiert. Es ist quasi die LaTeX-Fassung meiner handschriftlichen Notizen zur Vorlesung sowie die Verschriftlichung dessen, was ich an der Tafel dazu gesagt hätte. Das Skript behandelt also alle Inhalte der Veranstaltung abschließend, trotzdem ist es natürlich viel kompakter als jedes Lehrbuch. Ein Lehrbuch als Ersatz für das Skript zu nehmen hat sich in vorangegangenen Jahren nicht bewährt, da es für die Studierenden trotz Anleitung immer noch (zu) viel Aufwand zu sein scheint, die relevanten Inhalte herauszufiltern. Das Skript ist online verfügbar und die Studierende können nachvollziehen, wann und wo Änderungen eingefügt werden.

Dann habe ich *Vorlesungsvideos* erstellt, in denen ich im Stil einer Vorlesung über die Inhalte spreche. Ich zeige, unterstreiche und zeichne dabei in das Vorlesungsskript (link ebd.). Als Software benutze ich ExplainEverything. Ein Kamerabild gibt es nicht. Ich versuche in den Videos die Zusammenhänge und großen Linien darzustellen. Die Details befinden sich ja im Skript. Ich bin in den Videos knapper, kürzer, als ich an der Tafel wäre, und wiederhole mich seltener, mache keine Pausen zum Abschreiben, rede tendenziell schneller. Aus etwa 2x 90 Minuten Vorlesung werden so etwa 60 Minuten Video. Jeder Abschnitt im Skript wird ein Video-Schnipsel von etwa 7 Minuten Länge auf dem Multimedia-Server der Universität. Die Möglichkeit, an individuell verschiedenen Stellen anzuhalten, langsamer laufen zu lassen, zurückzuspulen, im Skript nachzulesen ist aus meiner Sicht deutlich besser als jede live-Präsentation der gleichen Inhalte. Die Statistik zeigt, dass quasi alle Studierende die Videos vor der zugehörigen live-Sitzung anschauen.

Beim Durcharbeiten des Skripts und der Videos können *Fragen* entstehen. Im vorangegangenen Jahr habe ich *frag.jetzt* verwendet, um anonym Fragen einzusammeln. Ungefähr eine Hälfte der Fragen waren Verständnisfragen, die andere Hinweise auf Tippfehler, meist in den Formeln des Skripts. In diesem Jahr habe ich Perusall zur Diskussion am Text verwendet. Ich beantworte Fragen immer wenn ich gerade Zeit habe, etwa einmal am Tag.

Für jedes Kapitel definiere ich *Ziele* wie „Sie können Rotationspektren von Molekülen in der Gasphase erklären und daraus Eigenschaften wie Bindungsabstand oder Atommasse bestimmen.“ Zum einen ist mir wichtig, dass die Ziele konkret sind und Handlungen beschreiben. 'Verstehen' ist zu schwammig. Zum anderen versuche ich, immer die Auswertung von Messergebnissen einzubeziehen, da dies schließlich der Kern einer experimentellen Wissenschaft ist. Mit den Zielen beschreibe ich, in welchem Umfang und in welche Tiefe die Studierenden die Inhalte bearbeiten sollen und was dabei erreicht werden soll. Die Ziele werden in der live-Sitzung am Rande thematisiert. Zukünftig würde ich ihnen gerne eine zentralere Rolle geben.

Neben den definierten Zielen gibt es auf dem elearning-Server zu jedem Kapitel des Skripts ein online multiple-choice *Quiz* zur Selbstkontrolle. Mit vier bis fünf Fragen können die Studierenden herausfinden, ob sie das erwartete Fachwissen erworben haben, die relevanten Punkte im Skript also gefunden haben. Das Quiz zielt also nur auf die unterste Kompetenzstufe. Das System gibt sofort an, ob die Antwort richtig ist. Etwa ein Drittel der Studierenden benutzt das Quiz.

Jedes Kapitel des Vorlesungsskripts hat am Ende einen leeren Abschnitt, in den die Studierenden ihre persönliche *Zusammenfassung* des Kapitels schreiben sollen. Dies soll vor, während und nach der Präsenzphase geschehen. Manchmal bitte ich die Studierenden, mir ein Foto dieses Abschnittes einzureichen. Manchmal fordere ich sie auf, die eigenen Stichworte mit denen des Nachbars / der Übungsgruppe zu vergleichen.

Details zur Präsenzphase

Die bis hier beschriebene Elemente sind der geflippte Anteil, also die Vermittlung der Inhalte. Bis zu diesem Zeitpunkt haben die Studierenden von mir alles erhalten, was ich in einer konventionellen Vorlesung vermitteln würde. Alles Weitere, also der Erwerb der höheren Kompetenzen, würde in einer konventionellen Veranstaltung in der auf die Vorlesung folgenden Selbstlernphase geschehen (müssen), ohne Anleitung des Dozenten. In dem hier vorgestellten Konzept geschieht es zumindest zum Teil in 2x 90 Minuten live, entweder in Präsenz oder per Videokonferenz. Ich muss zum Ende der live-Sitzung aber kein Ziel erreicht haben. Jede auftretende Frage kann ausführlich diskutiert werden. Alles ist Zugabe gegenüber einer konventionellen Veranstaltung. Alles, was ich normalerweise sagen und tun würde, ist schon gesagt und getan.

In der live-Sitzung fordere ich die Studierenden zunächst auf, innerhalb von 5 Minuten alle *Fragen zu stellen*, die noch offen sind. Ich benutze *frag.jetzt*, um die Fragen zu anonymisieren. Dies scheint mir wichtig zu sein. Wir besprechen die Fragen mündlich anhand von Abbildungen aus dem Skript, manchmal auch wikipedia oder Lehrbüchern. Typischerweise

4 Konzept

benötigen wir in der ersten Sitzung in der Woche 45 Minuten, in der zweiten nochmals 15 Minuten für offene Fragen. Ich improvisiere hier über das verlangte Thema, ähnlich dem Konzept *'just in time teaching'*, auch wenn meine Antworten kürzer sind als die dort benutzten Mini-Vorlesungen.

Dieses Fragen Beantworten ist für mich eine spannende Phase. Die Fragen sind schriftlich, manchmal zu kurz und mit wenig bis zu wenig Kontext. Es ist nicht immer einfach, zwischen einer trivialen Verständnisfrage und etwas Tiefgehendem zu unterscheiden, auch weil ich ja nicht sehe, welche Person die Frage gestellt hat. Gerade bei den tiefergehenden Fragen sind meine Antworten dann nicht mehr für Studierende im Grundstudium glatt geschliffen, sondern ich benutze alles Handwerkszeug, das ich habe, demonstriere also, wie das Fach professionell angewendet wird.

Die verbleibende Zeit nutzen wir, um Verständnis, Anwendung, Synthese und Beurteilung zu üben und so die höheren Kompetenzen zu erwerben. Ich orientiere mich dazu an den *ConceptTests* von Eric Mazur. Ich stelle eine Frage, Aufgabe, die auf höhere Kompetenzen zielt. Diese wird zunächst individuell vom jedem per multiple choice beantwortet (ABCD-Karte oder poll in der Video-Konferenz). Idealerweise findet sich eine sehr breite Verteilung der Antworten. Danach treffen sich die Arbeitsgruppen in ihrem break out room oder es bilden sich in Präsenz Nachbarschaftsgruppen. Dort wird die Frage diskutiert und versucht, die Gruppe von der eigenen Antwort zu überzeugen. Schließlich wird wieder im Plenum abgestimmt. Quasi immer ist dies nun die richtige Antwort mit 90% der Stimmen. Dieser Rhythmus hat Ähnlichkeit mit *think-pair-share* und alle drei Elemente sind wichtig. Die erste Abstimmung führt zu einem commitment der Studierenden auf eine Antwort. Der mittlere Teil übt das Vergleichen und Beurteilen. Der letzte Teil gibt mir Rückmeldung, ob alles funktioniert hat. Dabei auftretende Fragen klären wir direkt um Anschluss. Manchmal finden sich auch gute Gründe für eine vermeintlich falsche Antwort.

Nicht alle Fragen eignen sich für ein multiple-choice Verfahren. Manchmal lasse ich notgedrungen die erste 'commitment'-Phase weg, oder ersetze sie durch 'überlegen sie für sich'. Manchmal ist das Ergebnis eine Zeichnung, die nach der Diskussion alle Arbeitsgruppen gleichzeitig im Plenum mit der whiteboard-Funktion anfertigen. Manchmal werden kurze Texte im etherpad des elearning-Servers erstellt (auch in Präsenz). Manchmal benutzen wir die Funktion 'gegenseitige Beurteilung' des elearning-Servers.

Am Ende der zweiten Sitzung sammle ich eine Art *one minute papers*. Die Aufgabenstellung ist 'Formulieren Sie eine Frage, mit der man in einer mündlichen Prüfung herausfinden könne, ob jemand das heute Thema verstanden hat'. Das eine Ziel ist die Reflexion über den Inhalt der Woche und dessen zentrale Punkte. Das andere Ziel ist es, Fragen für eine 'Rückblick'-Sitzung am Tag vor der Probeklausur zu sammeln. Ich veröffentliche die gesammelten Fragen auf dem elearning System, was besonders einfach geht, wenn sie auch dort eingereicht werden.

Details zu den Übungen

Wir haben zu Beginn des Semesters Übungsgruppen zu je etwa 6 Studierenden gebildet. Dabei wurden Terminwünsche berücksichtigt, ansonsten

aber die Gruppen zufällig zusammengestellt. Auf diese Weise sind die Fähigkeiten innerhalb der Gruppe inhomogener, die Gruppen insgesamt aber ähnlicher. Mein Ziel ist es, die Gruppen zu befähigen, möglichst viele Fragen und Probleme innerhalb der Gruppe zu lösen.

Die Übungsblätter bestehen aus ca. vier Aufgaben pro Woche, die ich zum großen Teil dem überlieferten Aufgabenpool entnommen haben. Ich habe auch neue Aufgaben entwickelt, und die existierenden leicht angepasst, um die Aufgaben genauer auf die definierten Ziele der Kapitel auszurichten. Ich möchte erreichen, dass jede Person entweder im Plenum oder in der Übungsgruppe schon einmal das getan hat, was ich als Ziel gefordert habe. Es ist nicht notwendig, dass sie dies selbständig und ohne Hilfe getan hat, aber immerhin selbst getan hat.

Die Studierenden bearbeiten die Aufgaben während der Sitzung der Übungsgruppe in einer Art Lernzentrum. Ich habe darauf hingewirkt, dass sie auch zuvor und danach an den Aufgaben arbeiten, alleine oder in der Gruppe. Laut Umfrage ist dies so auch geschehen. Die Abgabe der Aufgaben ist freiwillig. Das Anschauen der Lösungsvideos allerdings daran geknüpft. Effektiv hat jede Gruppe jede Aufgabe abgegeben.

Probeklausur

Da alle Inhalte schon vor der live-Sitzung vermittelt wurden, gibt es zum einen keinen zeitlichen Druck in der Gestaltung der live-Sitzung. Diese kann auch für Elemente benutzt werden, für die sonst keine Zeit ist. Zum anderen entfällt die Verknüpfung der Inhalte mit der Zeit, die es braucht, diese an die Tafel zu schreiben. Im Winter 20/21 passt beispielsweise der Inhalt eines eigentlich 15 Wochen umfassenden Wintersemesters in ein Corona-Semester von 13 Wochen. Im Winter 21/22 haben wir zwei live-Sitzungen dazu benutzt, Grundkonzepte aus dem ersten Studienjahr zu wiederholen und in den Kontext dieser Veranstaltung einzubauen.

Zusammen wurde es dadurch möglich, drei *Probeklausuren* im Semester zu schreiben. In der Klausur suche ich Kompetenzen jenseits von reinem Wissen. Das Vorlesungsskript und alle eigenen Notizen dürfen daher benutzt werden. Die Probeklausuren dienen dazu, die Studierenden an dieses Format zu gewöhnen und sie vom Erfolg ihres Lernens zu überzeugen. In früheren Jahren war ich zwar davon überzeugt, dass die Studierenden meine Ziele erreicht hatten, nur glaubten diese das nicht. In der Probeklausur bearbeitet zunächst jeder für sich innerhalb von 30 Minuten Aufgaben sehr ähnlich zu Klausuraufgaben und stellt die Lösung im elearning-System in die Aktivität 'Gegenseitige Beurteilung' ein. Im Anschluss treffen sich die Arbeitsgruppen in den breakout rooms und erstellen in nochmals 30 Minuten eine gemeinsame Lösung, die wieder via elearning abgegeben wird. Wir besprechen dann noch offene Fragen. Ich schaue mir eigentlich nur die Gruppenlösungen an. Die individuellen Lösungen werden unter den Teilnehmern automatisch verlost und von insgesamt 3 Mitstudierenden beurteilt. Auf diese Weise bekommt jeder Rückmeldung zu der eigenen Lösung und den eigenen Fähigkeiten, ohne dass ich alle Arbeiten korrigieren müsste. Stichprobenartig schaue ich mir die Rückmeldungen an, die quasi immer angemessen ausfallen.

Zwang oder Freiwilligkeit

So wie im Winter 21/22 durchgeführt gibt es nur sehr wenige Zwangselemente: Eine Übungsaufgabe muss bis Donnerstagnacht abgegeben sein, damit man ab Freitag für 7 Tage das Lösungsvideo ansehen kann. Alles andere ist freiwillig. Laut elearning-Statistik haben quasi alle Teilnehmer regelmäßig irgend eine Aktivität auf dem Server unternommen. Am Ende der Woche haben quasi alle die Vorlesungsvideos geschaut. Ob dies auch schon vor der Live-Sitzung der Fall ist, ist mir nicht ganz klar. Die Statistik des Multimedia-Servers scheint zeitverzögert zu sein. Nicht alle Studierende geben das online Quiz ab. Bei allen Zahlen ist zu beachten, dass ggf. mehrere Studierende gemeinsam vor einem Rechner sitzen können. Aktivitäten wie 'Formulieren sie eine Frage' werden in größerem Maße gemacht, wenn dafür Zeit in der Live-Sitzung eingeplant ist / verstreicht, als wenn für nach der Sitzung aufgetragen wird.

Mehr Zwang in Form einer harten Klausurzulassung (50% aller Aufgaben) oder weichen Bonus-Punkten für Aufgaben bewirkt eine stärkere Teilnahme, produziert aber sowohl auf Seite der Studierenden als auch auf der des Dozenten mehr Stress. Aktuell finde ich den Gedanken hilfreich, dass in einer Tafel-und-Kreise-Vorlesung keinerlei Aktivität geschehen wäre, und sehen den zusätzlichen Teil als positiv und nicht den fehlenden Teil als negativ.

Feedback

Ich führe typischerweise nach etwa einem Drittel des Semesters eine anonyme Vorlesungsumfrage durch, um den Ablauf zu optimieren. In diesem Durchgang habe ich als Konsequenz beispielsweise die Lösungsvideos länger sichtbar geschaltet.

Der Zeitbedarf der Studierenden liegt bei circa 12 ± 2 Stunden pro Woche. Bei 8 LP beträgt das nominelle Zeitbudget 14 Stunden pro Woche plus 30 Stunden Klausurvorbereitung. Die Veranstaltung strukturiert damit erfolgreich die Selbstlernzeit der Studierenden.

Die Kommentare in der Evaluation am Ende des Semesters sind sehr positiv:

- "Das Konzept die Aufgaben zusammen in der Übung zu bearbeiten ist extrem gut und das beste Übungsformat."
- "Der Prof. hat es irgendwie geschafft, eine Atmosphäre zu schaffen, in der man sich nicht dumm vorkommt (natürlich kommt man sich immer irgendwie dumm vor, aber besser geht es wahrscheinlich kaum)."
- "Das ganze 'flipped classroom' Prinzip finde ich extrem gut. Das Würfeln der Arbeitsgruppen für die Übungsblätter hat mir zwar zuerst etwas Angst gemacht, weil es einen zwingt mit teils unbekanntem Menschen zusammen zu Arbeiten, aber das war auch wirklich gut fürs Lernen. Dieser Kurs hat zwar mehr Zeit beansprucht als andere Veranstaltungen, aber ich habe endlich mal das Gefühl was verstanden zu haben, das ist sonst wenig. Also Danke :)"

- "Das Konzept, die Vorlesung selbständig vorzubereiten und dann im Plenum die wirklich wichtigen Fragen zu besprechen, hat meiner Meinung nach sein Ziel erreicht. Dank der Gruppendiskussionen, der Frage-Antwort-Sessions und der Quizfragen, in Kombination mit den gut auf die Vorlesung abgestimmten Übungsaufgaben, hatte ich am Ende der Woche stets das Gefühl, das Thema gut verstanden zu haben. Dazu haben sicher die Beschränkung des Inhalts auf das Wesentliche sowie das Konzept 'Ein Thema pro Woche' beigetragen. Insgesamt kann ich sagen, dass ich in dieser Veranstaltung 'viel Physik gelernt' habe, also viele über Molekül- und Festkörperphysik hinausgehende Konzepte (besser) verstanden habe."
- " Ich stand dem ungewohnten Format der Vorlesung mit eigenständiger Vorbereitung und Plenum zunächst sehr skeptisch gegenüber. Jedoch hat sich meine Meinung diesbezüglich geändert. Die Vorbereitung war aufgrund der Videos, in denen der Stoff gut erklärt wurde, machbar und die Plena haben zu einer erstaunlich tiefen Verfestigung des Stoffes beigetragen. Zudem wurden Verbesserungsvorschläge erfragt und diese oft berücksichtigt."