

LEHRINNOVATION

Illustrative numerische Experimente für MINT-Studienanfänger:innen

Lehre in den Naturwissenschaften soll Studierende befähigen, die fundamentalen Aspekte einer Beobachtung zu hinterfragen und angemessene experimentelle und theoretische Analysemethoden anzuwenden, um zugrundeliegende Phänomene aufzudecken und nutzbar zu machen. Ich sehe die Hauptaufgabe wissenschaftlicher Ausbildung in der Förderung von analytischem und kritischem Denken in einer möglichst kollaborativen und interdisziplinären Weise um so Kernkompetenzen gezielt zu vermitteln, die für das wissenschaftliche Arbeiten und spätere Berufsleben von zentraler Bedeutung sind. Als Dozentin sehe ich mich als eine Moderatorin von Wissen, die den Zugang dazu erleichtern, die Studierenden aber befähigen soll, ihre Fähigkeiten im Selbststudium erfolgreich zu vertiefen. In diesem Sinne möchte ich mit einem Team an wissenschaftlichen Hilfskräften finanziert durch die Fellowships für Innovationen in der digitalen Hochschullehre eine Reihe sich ergänzender bzw. aufeinander abgestimmter numerischer Experimente zum Selbststudium sowie zum synchronen Einsatz in Vorlesung und Übungsseminaren erarbeiten.

— Einführung und persönliche Motivation

Ich möchte meinen Studierenden den gleichen Enthusiasmus und dieselbe Faszination für die Naturwissenschaften mitgeben, die mich seit meiner Kindheit motivieren, und sie mit dem für ein mathematisch-technisches Fach nötigen Durchhaltevermögen ausstatten. MINT-Fächer im Allgemeinen und ihre theoretischen Grundlagen im Besonderen gelten in der Öffentlichkeit als trocken, realitätsfremd und schwierig zu erlernen. Dieser Eindruck kann auch interessierte und intrinsisch motivierte Studierende des Fachs betreffen und die Studierbarkeit von MINT-Fächern reduzieren, sobald Hürden und Schwierigkeiten auftreten. Als Dozentin in der Theoretischen Physik möchte ich moderne Methoden zur Visualisierung mathematischer und physikalischer Konzepte einzusetzen, die numerischen Experimente. Diese Unterrichtsmaterialien sollen in digitaler Form und unabhängig vom laufenden Semesterbetrieb eine Reihe an Lektionen darstellen, bei denen Mathematik, Physik und Numerik Hand in Hand gehen. Zusätzlich soll durch konkrete Beispielanwendungen aus dem MINT-Bereich die Wahrnehmung beseitigt werden, dass Inhalte trocken oder realitätsfern sind. Studierende sollen frühzeitig ihre technischen Fähigkeiten im Selbststudium entwickeln unterstützt durch Lektionen mit dynamischen Visualisierungen. Hier sollen die Studierenden eigenständig ein Phänomen beschreiben und anhand der Variation von Anfangsbedingungen, geometrischen Parametern u.Ä. untersuchen. Vordefinierte Graphiken aktualisieren sich dabei automatisch. Konkrete Aufgabenstellungen führen durch die Lektionen, bei denen Beobachtungen beschrieben und Vorhersagen getroffen, sowie erste eigene Programmiererfahrungen gemacht werden sollen. Lösungen und Erklärungen sind nach Abschluss einer Lektion verfügbar und dienen der Selbstkontrolle. Die Fellowships für Innovationen in der digitalen Hochschullehre würden mir erlauben, den Unterricht im Hörsaal und in Übungsseminaren, sowie das Selbststudium interaktiver und damit attraktiver zu gestalten [1]. **Technische Kernkompetenzen in den MINT-Fächern sollen gezielt durch digitales Lehr- und Lernmaterial, den numerischen Experimenten, vermittelt werden.**

Zentrale Problemstellung

Das Hauptziel meiner Lehrtätigkeit in der Theoretischen Physik ist die Vermittlung von fundamentalen physikalischen Prinzipien und mathematischen Methoden zu ihrer Untersuchung für Bachelor- und Masterstudierende sowie Lehramtskandidat:innen der Physik. Dies ist wesentlich mit der gezielten Förderung mathematischer und im Hinblick auf die Lösung komplexer mathematischer Fragestellungen auch numerischer Fähigkeiten verbunden. Die Phänomene der Naturwissenschaften mathematisch zu beschreiben bzw. Lösungen mathematischer Gleichungen gezielt zu untersuchen, ist die zentrale Herausforderung und stellt zugleich die größte Hürde für Studienanfänger:innen im MINT-Bereich dar. In der geplanten Lehrinnovation sollen gezielt die technischen Kompetenzen von Studienanfänger:innen in den MINT-Fächern verbessert werden. Es ist geplant, Lehrmaterialien für den synchronen Einsatz in Vorlesung und Seminaren mit dauerhaft verfügbaren, digitalen Lektionen zum Selbststudium zu verknüpfen. Dabei wird auf heterogene Gruppen mit unterschiedlichem Vorwissen, wie wir sie oft in Lehramtsstudiengängen antreffen, eingegangen. Der Einstieg in ein erstes eigenes Forschungsprojekt wie einer Bachelorarbeit im späteren Verlauf des Studiums soll durch die zu erarbeitenden und zur Verfügung gestellten numerischen Experimente erleichtert werden. Die Visualisierung mathematisch-physikalischer Konzepte kann dabei unabhängig von Programmierkenntnissen der Studierenden durch diese dynamisch verändert werden. Programmierkenntnisse werden mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad in fortgeschrittenen Arbeitsaufträgen vermittelt, deren Lösung unabhängig vom primären Lernziel die Thematik vertiefen soll. Die vorgeschlagene Lehrinnovation basiert daher auf den drei Säulen

- A: Visualisieren mathematischer Zusammenhänge;
- B: Programmierkenntnisse fordern und fördern;
- C: Ergänzendes Konzept von Selbststudium und Präsenzlehre;

und wird im Folgenden vorgestellt. Die konkreteren Arbeitsschritte sind dabei im Arbeits- und Zeitplan im Anhang aufgelistet.

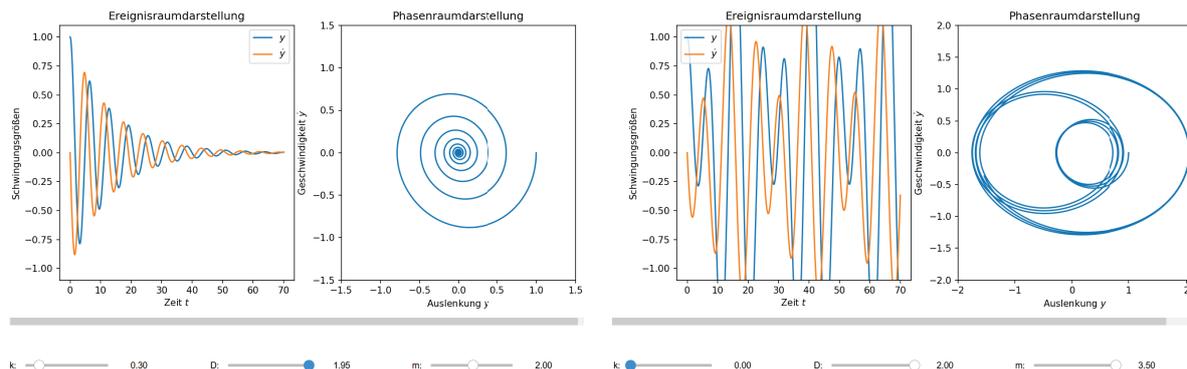


Abb. 1: Dynamische Visualisierung am Beispiel eines Federschwingers. Es sind in Paaren der Ereignisraum mit der zeitaufgelösten Schwingung und der Phasenraum dargestellt. Programmierkenntnisse sind nicht nötig, der Programmcode wird aber vollständig in den Lektionen angegeben und kann in fortgeschrittenen Arbeitsaufträgen erweitert werden. (Links) Fall mit Dämpfung. Schieberegler unten im Bild erlauben die Änderung von Parametern. Die Dämpfung kann so abgeschaltet werden. Die Graphiken aktualisieren sich automatisch. (Rechts) Fall mit treibender Kraft, ohne Dämpfung. Der Einschwingvorgang ist im Phasenraum gut zu erkennen.

Ziele der geplanten Lehrinnovation

A: Visualisieren mathematischer Zusammenhänge

Mathematische und numerische Methoden finden in den verschiedensten naturwissenschaftlichen Disziplinen Anwendung. Um Studierenden in den MINT-Fächern zentrales Konzept- und Zusammenhangswissen zu vermitteln, sollen illustrative und interdisziplinäre Themen frühzeitig an Studierende herangetragen werden, während sie ihre analytischen Fähigkeiten entwickeln und mathematische, sowie numerische Methoden trainieren. Dafür möchte ich verstärkt interaktive Programme zur Visualisierung von mathematischen Konzepten in einem modernen Unterrichtsraum einsetzen bzw. zur Gestaltung von Übungsseminaren Tutor:innen und Semianleiter:innen an die Hand geben. Der Einsatz solcher Methoden kann das Verständnis von abstrakten Zusammenhängen und Ideen im Besonderen fördern. Hierbei stehen häufig ein physikalisches Konzept und eine mathematische Beschreibung Seite an Seite. Die zu entwickelnden Lehrmaterialien sollen dabei als Diskussionsgrundlage dienen und Anwendung auf Hausaufgaben und weiterführende Themen erlauben. Dafür müssen die geplanten Materialien flexibel genug sein, dass sie in der direkten Interaktion mit Studierenden durch den Lehrenden einfach dynamisch verändert bzw. animiert werden können. So können z.B. Fälle unterschiedlicher Anfangsparameter oder Geometrie diskutiert und instantan als modifiziertes Problem dargestellt werden. Als Beispiel sind in Abb. 1 Lösungen zu einer Differentialgleichung dargestellt, welche die Grundlage einer Vielzahl an Phänomenen in den Naturwissenschaften bildet. Für Übungsaufgaben und zum Selbstlernen sollen diese Materialien Studierenden dann auch asynchron zur Verfügung gestellt werden. Hierfür wird Säule **B** wichtig.

B: Programmierkenntnisse fordern und fördern

Ein wichtiger Aspekt für Studierende naturwissenschaftlicher Fächer ist das Aneignen von Programmierkenntnissen. Dies geschieht meist erst in fortgeschrittenen Kursen und kann bei Masterstudierenden, die ihre Grundausbildung an unterschiedlichen Universitäten erworben haben, zum Teil ganz fehlen. Um heterogenes Vorwissen auszugleichen, ist das Selbststudium im Besonderen geeignet. Es erlaubt Studierenden mit geringen Vorkenntnissen gezielt selbst ihr Vorwissen anzugleichen. Hierbei den Studierenden aufzuzeigen, welchen Wissensstand man anstrebt und ihnen geeignetes Material an die Hand zu geben, ist ein wichtiger Aspekt der Säule **B** [2, 3]. Diese Selbstlernumgebung wird in dieser Lehrinnovation gezielt entwickelt. Fortgeschrittenere Studierende können dagegen nach eigenem Ermessen bereits weiterführende Themen bearbeiten, um ihre Kenntnisse herauszufordern.

Andererseits sollen erste Programmiererfahrungen im Rahmen einer Grundvorlesung derart vermittelt werden, dass die in Säule **A** zentralen Visualisierungen zu Lösungen von Aufgaben stets mit dem dafür nötigen – kurz gehaltenen und detailliert kommentierten [4] – Code präsentiert werden. Die grafischen Darstellungen können dabei durch Studierende selbstständig dynamisch verändert werden, z.B. mittels vordefinierter Schieberegler, wie in Abb. 1 gezeigt, zunächst unabhängig von Programmierkenntnissen. Zunehmend werden Studierende in den Lektionen aufgefordert, neue Aspekte in ein numerisches Experiment einzubauen, indem z.B. Funktionen in Arbeitsaufträgen umgeschrieben werden müssen [1, 5]. Die Ergebnisse sollen dann verglichen und diskutiert werden, wie z.B. in Abb. 1 die Unterschiede zwischen einem gedämpften und einem getriebenen Federschwinger. Nach und nach mit den nötigen Codebausteinen vertraut, werden im Laufe eines Semesters zunehmend ganze Lücken in Programmteilen durch Studierende gefüllt [6]. Dieses Konzept ist in Abb. 2 skizziert anhand eines Beispiels aus einer numerischen Übung zu einem Masterkurs.

Seminar 03: Mie Theory in Quasistatic Approximation (May 5th)

Optical response of nanoparticles

Goals

- Electric field of a nanosphere
- extinction cross section
- multi-layered core-shell systems

Electric Field of the nanosphere

The resulting field distribution is

$$\vec{E}(\mathbf{r}, \theta) = \begin{cases} E_0 \frac{3\epsilon_2}{\epsilon_1 + 2\epsilon_2} \vec{e}_z & \text{for } r \leq R \\ E_0 \cos \theta \left(1 + 2 \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1 + 2\epsilon_2} \frac{R^3}{r^3}\right) \vec{e}_r - E_0 \sin \theta \left(1 - \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1 + 2\epsilon_2} \frac{R^3}{r^3}\right) \vec{e}_\theta & \text{for } r > R \end{cases}$$

in terms of the distance r from the center of the sphere and the angle θ with respect to the incident field.

```
In [22]: # define a function for Einside(r, th, R, eps1, eps2) and Eoutside(r, th, R, eps1, eps2)
# plot the absolute value |E| through the nanosphere for z = [-R ... +R] and at x = 0
# plot the real part Re(E) through the nanosphere for z = [-R ... +R] and at x = 0
# E-field map: plot the absolute value |E| of the in an area z = [-R ... +R] and x = [-R ... +R]
# E-field map: plot the real part Re(E) of the in an area z = [-R ... +R] and x = [-R ... +R]
# field enhancement: choose from the field maps the point with highest field and plot the field there as a function of wave length
# field enhancement: choose from the field maps the point with highest field and plot the field there as a function of particle size
### How does the electric field behave and why? What form does the spatial distribution of the electric field have?
### What information does |E| contain? What additional information does Re(E) contain?
### At which spectral point is the field enhancement the strongest? At which particle size is the field enhancement the strongest? Is this reasonable?
```

Extinction cross section

The electric dipole moment \vec{p} of a particle is given as its optical response to an applied electric $\vec{p} = \alpha^E \vec{E}$.

Abb. 2: Skizzenhaftes Beispiel für Arbeitsaufträge integriert mit Programmieraufgaben im Rahmen eines Übungsseminars aus einem Masterkurs.

C: Ergänzendes Konzept von Selbststudium und Präsenzlehre

Die für die oben genannten Szenarien nötigen Materialien sollen aus zwei Blickwinkeln erarbeitet werden, nämlich für den synchronen Einsatz im Unterrichtsraum durch eine Lehrperson, als *Lehrmaterial* z.B. für die Seminaregestaltung, sowie für den asynchronen Einsatz im unabhängigen Selbststudium als *Lernmaterial*.

Im Unterrichtsraum steht die Visualisierung der Konzepte im Vordergrund, sowie die Möglichkeit, Parameter wie Anfangsbedingungen, Geometrie des Problems u.Ä. dynamisch zu verändern. Dazu wird die Erwartungshaltung der Studierenden zwischendurch abgefragt und modifizierte Ergebnisse dargestellt. Diese Lehrmaterialien können seitens der Numerik beliebig komplex sein und auf weiterführende Themen eingehen, die durch die Lehrperson angeleitet, zu vertiefenden Diskussionen führen sollen. Vorführungsbeispiele sollen dabei Zeitblöcke von 20-30 min abdecken, also in sich abgeschlossen ein Beispiel vollständig von der Problemstellung zur Lösung beschreiben.

Im Rahmen von Seminaren sollen dabei zunehmend Programmcodes mit Lücken eingesetzt werden, die von Studierenden selbstständig als Übung ausgefüllt werden. Dies direkt im Unterrichtsraum durchzuführen hat den Vorteil, dass die Studierenden sich nur austauschen

können, wenn die Lehrperson dies vorsieht. Somit können Phasen eigenständigen Nachdenkens und für zunehmend komplexere Aufgaben Phasen von Gruppenarbeit gezielt eingesetzt werden. Für das Bearbeiten fachspezifischer Problemstellungen ist die Selbstregulation der Studierenden sehr relevant. Für solche Phasen der *Stillarbeit* bzw. Gruppenarbeit in Seminaren möchte ich Lektionen erarbeiten, die einen Arbeitszeitaufwand von etwa 20-30 min haben und im Nachhinein mit der Lehrperson durchgesprochen werden.

Für das Selbststudium sollen die Aspekte aus Säule **A** und Säule **B**, das Visualisieren und das zunehmend eigenständige Programmieren von naturwissenschaftlichen Phänomenen, zu Lektionen führen, die Studierende im Rahmen einer einstündigen Sitzung selbstständig durchführen können. Aufgaben bzw. Arbeitsaufträge führen dabei gezielt durch die Lektionen [1, 4-7]. Zu Beginn der Bearbeitung einer solchen Lektion sollen Studierende sich über das gestellte Problem klar werden und ihre Erwartungshaltung zum Ergebnis schriftlich festhalten. Die Lektionen werden als primäres Lernziel im Detail das mathematische bzw. physikalische Problem erläutern, die Studierenden durch eine Reihe an Analyseschritten anhand graphischer Darstellungen führen und die Lösung ausgiebig diskutieren. Durch die Visualisierung der Lösung und deren dynamischer Veränderung zur Demonstration alternativer Lösungen, soll das Ergebnis als sekundäres Lernziel vertieft und in einem weiteren Kontext angewandt bzw. verstanden werden. Der interaktive Teil soll durch den zur Visualisierung nötigen, vollständig erklärten und kommentierten Programmcode ergänzt werden, um erste Programmkenntnisse zu schaffen. Jede Lektion soll dabei in einem zweiten Teil einen fortgeschrittenen Arbeitsauftrag enthalten. Hier sollen z.B. Lücken im Programmcode durch eigene Funktionen ergänzt werden um so die Betrachtung weiterer physikalischer Phänomene oder modifizierter Systeme zu ermöglichen. Als Beispiele seien hier das Hinzufügen eines Dämpfungsterms oder einer treibenden Kraft in einer Differentialgleichung, sowie der Übergang von einem linearen zu einem nichtlinearen Problem, z.B. bei der Pendelschwingung oder im Rahmen einer Stabilitätsanalyse, genannt.

Digitale Lehrmethoden

Das digitale Tool der Wahl ist hierbei Jupyter Notebook, die Beispiele in den Abbildungen 1 und 2 zeigen Ausschnitte daraus. Diese webbasierte Programmierumgebung kann aus dem Hörsaal und ohne technische Hürden von zu Hause genutzt werden, da für die Onlineversion keine Installation von Programmen oder Paketen auf dem eigenen Rechner nötig ist [8, 9]. Jupyter unterstützt unterschiedliche Programmiersprachen, erlaubt das Erstellen von erklärenden Texten, das Darstellen von komplexen Formeln mittels \LaTeX und das Einbinden von Links zu externen Ressourcen. Im Präsentationsmodus kann man die Unterrichtseinheit auf Folien verteilen und dabei noch immer live Berechnungen durchführen. Es erlaubt, Studierende niederschwellig an das Programmieren heranzuführen [9] und ihnen gleichzeitig einen Raum zum selbstständigen Ausprobieren zu schaffen, da die Codes nicht nur abgedruckt, sondern ausführbar sind. Dabei können Studierende mit unterschiedlichen Vorerfahrungen gleichermaßen gut eingebunden werden, da Lektionen nach dem jeweiligen Vorwissen abgestuft angeboten und die geplanten Visualisierungen unabhängig von Programmierkenntnissen genutzt und verändert werden können. Für die geplante Lehrinnovation soll mit Python gearbeitet werden, da dies in den Naturwissenschaften eine weit verbreitete Programmiersprache ist.

Zusammenfassend werden numerische Experimente in umfangreichen Lektionen zum Selbststudium, sowie in kleineren Arbeitsblöcken zum synchronen Einsatz in Vorlesungen und Übungen erarbeitet, die mathematische Grundlagen und naturwissenschaftliche Konzepte visualisieren und deren Zusammenhang erläutern. Dabei soll speziell auf heterogene Studierendengruppen, z.B. aufgrund der Fächerwahl bei Lehramtskandidat:innen eingegangen werden,

bei denen mathematische Grundvorlesungen auf sehr unterschiedlichem Niveau angeboten werden. Dies soll in einer webbasierten Umgebung, den kostenfreien Jupyter Notebooks, geschehen, und dabei zunehmend Programmierkenntnisse fördern und fördern. Die erarbeiteten Notebooks können in einem digitalen Kursraum wie auf Moodle zur Verfügung gestellt werden. Klassische Übungszettel werden durch numerische Aufgaben im Übungsseminar ergänzt und das gleichzeitige Arbeiten an einem Problem aus dem MINT-Bereich, sowie der Visualisierung seiner mathematischen Darstellung soll das Verständnis dieser Zusammenhänge vertiefen.

Implementierung und Interdisziplinarität

Es sollen numerische Experimente für MINT-Studienanfänger:innen in Lehr- und Lernmaterialien umgesetzt werden. Der Fokus liegt hierbei auf mathematischen Konzepten mit Anwendungsbeispielen aus den verschiedenen MINT-Disziplinen, da die Mathematik eine gemeinsame Grundlage bildet. Die geplanten Materialien sollen dabei ein gesamtes Semester abdecken und auf konkrete Vorlesungsinhalte, sowie den damit einhergehenden Wissenszuwachs aufbauen, also etwa eine Lektion pro Woche bieten, sowie verkürzte Materialien für die dazugehörigen synchronen Sitzungen in Vorlesung und Übungsseminaren (Säule C).

Für die Implementierung während der Laufzeit des Projekts orientieren wir uns an Bachelorstudierenden (BSc) sowie Lehramtskandidat:innen (LA) der Physik. Als Voraussetzung gilt für die erste Gruppe die Vorlesung *Mathematischen Methoden der Physik*, in der zweiten Gruppe gibt es je nach Fächerkombination jedoch große Unterschiede in den mathematischen Vorkenntnissen. Daher soll hier die erste Grundvorlesung der Theoretischen Physik, die *Theoretische Mechanik*, die von Lehramtsstudierenden der Physik besucht wird, als Referenz gelten. Die Studierenden sind dann im zweiten (BSc) bzw. dritten (LA) Fachsemester. Diese Veranstaltung wird an der Friedrich-Schiller-Universität Jena jedes Semester angeboten und von etwa 80 Studierenden (50 Bachelor-, 30 Lehramtsstudierenden) im Jahr durchlaufen. Ein Ziel der numerischen Experimente ist es, die mathematischen Grundlagen, die für diese Pflichtveranstaltung vorausgesetzt werden, in einstündigen Lektionen zum Selbststudium aufzuarbeiten, um vorhandene Lücken zu schließen und Unklarheiten auszuräumen. Ein weiteres Ziel ist es numerische Experimente für die Vorlesung, die im Wintersemester von mir in den letzten drei Jahren durchgeführt wurde, auszuarbeiten (Säule A). Diese sollen auch im Übungsbetrieb zur Verfügung stehen. Speziell für die Lehramtskandidat:innen geht diese Veranstaltung in ein begleitendes Seminar über, welches die Theorievorlesungen in den schulischen Kontext stellt. Hier werden ebenfalls mathematische Konzepte wiederholt und gefestigt. Eine konzeptionelle und inhaltliche Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Kolleg:innen aus der Didaktik der Physik vertreten durch Prof. Dr. Holger Cartarius wurde zugesagt. Der Austausch mit Kolleg:innen aus der Didaktik der Chemie und weiteren Fächern der MINT-Gruppe wird während der Projektlaufzeit angestrebt.

Analyse von Risiken und Erfolgen

Die Lehrmaterialien für das Selbststudium werden über einen gemeinsamen Moodle-Kursraum verfügbar sein. Hier kann die Anzahl der Zugriffe im Verlauf des Semesters verfolgt werden. Die zentrale Evaluationsstelle für Lehre an der Universität Jena (ULe) bietet die Möglichkeit, die Studierenden jederzeit zu Evaluationen einzuladen. Die übliche summative Evaluation am Ende der Vorlesungszeit soll durch formative Evaluationen in der Laufzeit ergänzt werden, mit einem Fokus auf den Aspekt der numerischen Experimente und Handhabbarkeit der

Lektionen. Dabei soll auf einzelne Lektionen und deren Umsetzung eingegangen werden. Darüber hinaus bestünde die Möglichkeit mithilfe der in Jena ansässigen Abteilung der jDPG (junge Deutsche Physikalische Gesellschaft) das Angebot an Lektionen auch an Schüler:innen in der Sekundarstufe II weitergereicht werden, um eine Rückmeldung zu diesem neuen Lehrangebot auch seitens von Menschen zu erhalten, die kurz vor einer Studienentscheidung stehen. Ein Bedarf für solche Lektionen ist an Schulen generell gegeben und eine Kooperation mit engagierten Lehrer:innen während der Projektlaufzeit ist denkbar.

Für den synchronen Einsatz kann die Wirkung der numerischen Experimente direkt in der Interaktion mit den Studierenden gemessen werden. In Übungsseminaren kann hierbei im Vergleich mit früheren Jahrgängen eingeschätzt werden, ob Übungsaufgaben nach Auseinandersetzung mit den Lektionen besser bewältigt wurden.

Der Ansatz mit Jupyter Notebooks versucht die technologischen Hürden so gering wie möglich zu halten, insbesondere für Studierende, die keine Programmiererfahrung mitbringen. Programmcodes können für die Vertiefung der Inhalte komplett ignoriert werden und so zumindest die Lernziele von Säule **A** erreicht werden. Zur vollständigen und erfolgreichen Bewältigung aller Lektionen werden jedoch gemäß Säule **B** Programmierkenntnisse nach und nach gefordert. Hier könnte seitens der Studierenden eine Weigerungshaltung eingenommen werden, da dieser Teil zunächst nicht prüfungsrelevant sein soll und im Falle von Lehramtskandidat:innen nicht unbedingt als berufsrelevant angesehen wird. Hier soll Säule **C** greifen und durch die Verzahnung von Besprechungen verkürzter Lektionen in Seminaren gezielt bestehende Schwierigkeiten abgebaut werden. Des Weiteren soll von Beginn an so viel wie möglich auf Beispiele der Schulphysik gesetzt werden. Damit sollen auch zukünftige Lehrer:innen erkennen, wie einfach veränderbare Simulationen einleuchtende Erklärungen und Antworten auf spezifische Schülerfragen erlauben.

Die Nutzung von Jupyter Notebooks soll die Visualisierung, Programmierung und mathematisch-technische Auseinandersetzung mit einem naturwissenschaftlichen Phänomen in eine gemeinsame Umgebung bringen. Hierbei könnten sich Studierende durchaus überfordert fühlen, wenn klare Arbeitsaufträge und Schritt-für-Schritt Anweisungen zur Nutzung fehlen oder nicht klar genug kommuniziert werden. Dies fällt in den Verantwortungsbereich von Säule **C**, denn die Lehrmaterialien sollen für das Selbststudium selbsterklärend sein. Ein einheitliches Design soll auch im synchronen Einsatz konsistent sichtbar werden. Die Lektionen und die Präsenzlehre sollen u.U. aufeinander aufbauen, sollte es den Studierenden nicht möglich sein, die Lektionen für das Selbststudium erfolgreich durchzuarbeiten, könnte dies ebenfalls zu Problemen im geplanten Ablauf führen. In den ersten Übungsseminaren könnten daher die ersten Lektionen thematisiert werden, um sicher zu stellen, dass alle Teilnehmer:innen wissen, wie sie damit umgehen können und sollen. Eine Verzahnung der synchronen und asynchronen Elemente ist für die Motivation und das zeitnahe Feedback in Selbstlernphasen ein wichtiger Aspekt.

Verstetigung der Lehrinnovation

Die Materialien zum Selbststudium sollen in einem offenen Moodle-Raum verstetigt werden, der semesterübergreifend und unabhängig vom Lehrbetrieb für Studierende, Gäste und Mitarbeiter der Universität erreichbar ist. Hier werden gebündelt Jupyter Notebooks als Tool für die digitalen Hochschullehre, die Verwendung von \LaTeX als Textsatz zur Darstellung von Formeln und Python als Programmiersprache eingeführt. Die Kursseite bietet die Lektionen bzw. numerischen Experimente nach Themen bzw. Anwendungen gemäß verschiedener MINT-Disziplinen sortiert mit steigendem Schwierigkeitsgrad bzgl. der numerischen Arbeitsaufträge

an. Es soll auch nach Projektende gezielt die Zugriffe auf das diesen Kursraum überprüft werden, z. B. monatlich außerhalb und wöchentlich während der Vorlesungszeiten. Die Unterlagen sollen von Umfragen begleitet, die Möglichkeit für Nutzer:innen geben, jederzeit Feedback und Verbesserungsvorschläge einzureichen. Bei erfolgreichem Ergebnis hoffe ich, auch in Zukunft weitere Themen hinzufügen zu können und so den Kursraum stetig zu erweitern und zu pflegen. Die Lehrmaterialien für den Einsatz durch Dozent:innen werden innerhalb der Fakultät in einem Repository, z.B. über die Cloud der FSU Jena, für Lehrende zur Verfügung gestellt. Dabei werden gezielt Kolleg:innen, die relevante Grundvorlesungen halten, auf das Lehrprojekt noch zur Laufzeit angesprochen, damit weitere Impulse und Wünsche nach Lehrmaterialien aufgenommen werden können. Das entwickelte Kursdesign soll in den nachfolgenden Semestern weiterhin genutzt und verbessert werden.

Insgesamt sollen beide Formate als Open Educational Resource verstetigt werden. Dafür ist geplant, die Lehrinnovation sowie die damit erzielten Ergebnisse zum E-Learning Day der Universität Jena, typischerweise jährlich im Juni, vorzustellen, und damit einen weiteren Kreis an Kolleg:innen auch jenseits der Physikalisch-Astronomischen Fakultät zu erreichen. Hier kann unsere Nähe zur lokalen jDPG ebenfalls von Vorteil sein, da diese z.B. Werbung auf eigenen Veranstaltungen bzw. Artikel im Physik Journal der DPG zu innovativen Lehrkonzepten veröffentlichen kann.

Transdisziplinarität – Weitere Szenarien

Während der Fokus der Erarbeitung der numerischen Experimente auf Studierende der Physik liegt, so sollen zur Erarbeitung der Materialien von Anfang an Anwendungsbeispiele aus dem gesamten MINT-Bereich herangezogen werden. Sind die Lektionen erstellt, wären Sie sofort einsetzbar für Lehramtskandidat:innen verwandter Fächerkombinationen, z.B. Mathe/Chemie, aber auch z.B. Bachelor-Studierende der Chemie, die die *Mathematischen Methoden für Chemiker* als Grundvorlesung mit ähnlichen Inhalten wie Studienanfänger:innen in der Physik durchlaufen. Kolleg:innen anderer Institute, insbesondere auch aus der Didaktik weiterer MINT-Fächer sollen zur Laufzeit des Projektes, wenn erste Lektionen erstellt wurden, angesprochen und für das Projekt begeistert werden.

Durch die Verstetigung in einem allseits zugänglichen Repository, können auch Studierende und Dozent:innen anderer Universitäten davon profitieren und weitere Beispiele in den verschiedenen Themenbereichen können über die Laufzeit hinaus hinzugefügt werden.

Aufgrund der Nähe zu Lehramtskandidat:innen ist auch der Einsatz in Schulen, in Leistungskursen aus dem MINT-Bereich oder allgemein in der Sekundarstufe wünschenswert. Schüler:innen erhalten dadurch einen frühzeitigen Eindruck in die moderne Hochschullehre und Interessenten an einem naturwissenschaftlichen Studium können frühzeitig in ihrer Neigung gefestigt werden.

Austausch mit weiteren Fellows

Lehre ermöglicht eigenes Wissen neu zu entdecken. Eine gute Lehrperson kann Talente freisetzen, Welten eröffnen und Leidenschaft für ein Fach entfachen. Im Austausch mit Fellows aus den unterschiedlichsten Disziplinen erhoffe ich mir einen Einblick in weitere Lehrkonzepte und *Best-Practice*-Beispiele, sowie den regen Austausch über die Umsetzung guter digitaler Lehre und den Umgang mit technischen Hürden, sowohl für uns Lehrende als auch für Studierende. Für das geplante Projekt wäre der Austausch mit Didaktiker:innen und weiteren Dozent:innen aus den Naturwissenschaften, der Informatik und der Mathematik von

Vorteil, sowie mit Lehrenden in Lehramtsstudiengängen. Hier ist z.B. interessant, wie man auf die Lehrinnovationen bereits im Schulbetrieb in der Sekundarstufe II aufmerksam machen kann, um so schon frühzeitig potenzielle MINT-Studierende anzulocken. Insgesamt bin ich jedoch gespannt auf den breiten interdisziplinären Austausch und innovative Projektideen aus allen Disziplinen. Hier über gemeinsame Probleme und unterschiedliche Ansätze zu ihrer Überwindung zu diskutieren, kann zu neuen Impulsen auch für diese geplante Lehrinnovation führen. Des Weiteren sollen andere Plattformen gefunden werden, über die für die geplante Lehrinnovation geworben werden kann, z.B. auf innovative Lehre ausgerichtete Konferenzen.

Expertise und Vernetzung am Hochschulstandort

Ich verstärke seit Juli 2019 die Friedrich-Schiller-Universität Jena als Leiterin der Nachwuchsgruppe *Optische Eigenschaften hybrider Nanostrukturen* in Forschung und Lehre. Hier habe ich im Oktober 2022 meine Habilitationsschrift eingereicht und strebe die Lehrbefugnis *venia legendi* für universitäre Lehre an. Insgesamt bin ich nun seit sieben Jahren in der Hochschullehre tätig, davon bin ich seit dem Wintersemester 2019/2020 intensiv in die Lehrtätigkeiten an der FSU Jena mit eigenständiger Verantwortung über grundständige Lehrveranstaltungen eingebunden und konnte in Qualifikationsprogrammen meine Fähigkeiten gezielt ausbauen. Ich habe Erfahrung in der Konzeption und Durchführung theoretischer und experimenteller Fächer und kann ein weites Spektrum der mathematischen Grundlagen für Studienanfänger:innen in den MINT-Fächern abdecken. Insbesondere konnte ich mich in den letzten Jahren umfassend über digitale Lehrmethoden informieren und kann auf erste Erfahrungen beim Einsatz z.B. numerischer Experimente im Hörsaal im Rahmen einer Wahlveranstaltung im Master Physik bzw. internationalen Master of Photonics zurückgreifen. Die Entwicklung von Lehr- und Lernmaterialien ist ein zentraler Baustein für mich, da die Visualisierung mathematischer Konzepte und physikalischer Vorgänge besonders wertvoll für das Verständnis der Studierenden ist. In Jena bilde ich u.A. zukünftige Lehrkräfte aus und bin es gewohnt mit heterogenen Studiengruppen zu arbeiten und Übungsaufgaben bzw. Lehrbeispiele aus den unterschiedlichsten technischen Bereichen heranzuziehen.

Im Sommersemester 2023 erhält meine Vorlesung Unterstützung durch einen E-Tutor der Servicestelle LehreLernen, welcher mir bei der Umsetzung digitaler Umfragen mit Pingo (live im Hörsaal) [10], sowie mit Moodle (asynchron zur Selbstkontrolle der Studierenden) hilft. Ich bin weiterhin Teil des *Akademischen Ateliers*, in dem aufgezeichnete Vorlesungen früherer Semester digital aufbereitet und um Kontrollfragen ergänzt werden. In diesem Rahmen bin ich auf dem E-Learning-Tag der FSU Jena am 5. Juni 2023 vertreten.

Als Teil des Dozent:innenteams der Physikalisch-Astronomischen Fakultät der FSU Jena und reguläre Teilnehmerin der Fakultätsratssitzungen bin ich gut informiert über den Stand der Lehre an der Fakultät im Allgemeinen und in der Theoretischen Physik im Besonderen. Für fachliche wie didaktische Fragen im Verlauf des Projektes steht mir Prof. Dr. Holger Cartarius von der Physik- und Astronomiedidaktik der FSU Jena zur Seite. Er wird das Projekt mit seiner Erfahrung bei der Beurteilung der entstehenden Lehr- und Lernmaterialien unterstützen, sowie deren Einsatz im Rahmen von Veranstaltungen für Lehramtskandidat:innen mit erproben und Feedback von Studierenden einholen.

Ein früherer Fellow dieses Programms, Dr. Thomas Kaiser, hat 2021 ein digitales Repository von Lehrvideos für Mathematische Methoden für Masterstudierende erstellt. Vor dem Hintergrund der Inhomogenität der Studiengruppen im ersten Semester in dem von ihm mit begleiteten Master of Photonics, erleichtert dieses Repository den Einstieg in das

Studium an der FSU Jena für Neuankömmlinge aus aller Welt. Von seiner Erfahrung und den Ergebnissen seines Fellowships wird auch mein Projekt in einer Kooperation profitieren. Des Weiteren möchte ich das Data Literacy Projekt, geleitet von Volker Schwartze hervorheben. Dieses an der FSU Jena angesiedelte Projekt beschäftigt sich allgemein mit der Schulung von Studierenden und Mitarbeiter:innen im Umgang mit der digitalen Welt, z.B. zur Datensicherheit und zum Datenmanagement, und speziell auch mit Vermittlung von Programmierkenntnissen. Das Projekt unterstützt Lehrende bei der Erstellung von digitalem Lehrmaterial und könnte ebenfalls ein wertvoller Kooperationspartner für meine Lehrinnovation sein.

Literatur

- [1] M. Persike, *Videos in der Lehre: Wirkungen und Nebenwirkungen*, Handbuch Bildungstechnologie: Konzeption und Einsatz digitaler Lernumgebungen, H. Niegemann and A. Weinberger, Eds. Berlin, Springer Berlin Heidelberg, 271–301 (2020).
- [2] B. S. Bloom, M. D. Engelhart, R. Messner, R. Horn, and E. Fünor, *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*, 35, Beltz (1972).
- [3] N. Kiesler, *Zur Modellierung und Klassifizierung von Kompetenzen in der grundlegenden Programmierausbildung anhand der Anderson Krathwohl Taxonomie*, arXiv.2006.16922 (2020).
- [4] C. J. Brame, *Effective educational videos* (2015).
- [5] S. Findeisen, S. Horn, and J. Seifried, *Lernen durch Videos: Empirische Befunde zur Gestaltung von Erklärvideos*, MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, 16–36, (2019).
- [6] M. Kerres, *Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote*, de Gruyter Studium, Oldenbourg (2018).
- [7] S. E. Thompson, *Text-structuring metadiscourse, intonation and the signalling of organisation in academic lectures*, Journal of English for academic purposes, 2, 1, 5–20 (2003).
- [8] R. Schulmeister und J. Loviscach, *Mythen der Digitalisierung mit Blick auf Studium und Lernen*, Digitale Transformation im Diskurs: Kritische Perspektiven auf Entwicklungen und Tendenzen im Zeitalter des Digitalen. Medienpädagogik der FernUniversität Hagen. 1–21 (2017).
- [9] M. Karapanos, C. Becker, and E. Christophel, *Die Bedeutung der Usability für das Lernen mit digitalen Medien*, MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, 36–57 (2018).
- [10] D. Kundisch et al., *Designing a Web-Based Classroom Response System*, Design Science at the Intersection of Physical and Virtual Design, Berlin, Heidelberg, 425–431 (2013).