

Konzeption eines projektbasierten Übungsbetriebs für ein Modul im Masterstudiengang Mathematik mit Forschendem Lernen als Leitmotiv

ZUSAMMENFASSUNG

Mathematik spielt eine wichtige Rolle für das Verständnis und die Lösung komplexer Probleme in verschiedenen Bereichen wie Data Science oder Neurowissenschaften. Selbst Mathematikurse auf Master-Niveau an den Universitäten bereiten die Studierenden jedoch häufig nicht angemessen auf eine Tätigkeit in der Forschung oder in der Wirtschaft vor. Der typische Übungsbetrieb fördert zwar die aktive Auseinandersetzung der Studierenden mit den Vorlesungsinhalten, konzentriert sich jedoch eher auf theoretische Probleme und das Nachweisen bereits bekannter Ergebnisse als auf praktische Anwendungen oder die Entwicklung neuer Ergebnisse. In diesem Beitrag wird ein projektbasierter Übungsbetrieb für das Master-Niveau Modul „Numerische Optimierung mit Differentialgleichungen II“ im Wintersemester 2021/2022 vorgestellt, der auf dem Prinzip des Forschenden Lernens beruht und die Studierenden besser auf Aufgaben in der Forschung und Wirtschaft vorbereiten soll. Der Kern des vorgestellten Übungsprogramms besteht darin, dass die Studierenden in Teams mithilfe relevanter Forschungsarbeiten eigenständig Algorithmen erlernen und diese auf herausfordernde Probleme anwenden. Das Engagement und die Leistungen der Studierenden übertrafen die Erwartungen des Autors, wobei die Studierenden den Übungsbetrieb darüber hinaus als lehrreich und unterhaltsam empfanden. Der vorgestellte Übungsbetrieb hat daher das Potenzial, die Studierenden besser auf die Forschung oder die Wirtschaft vorzubereiten und ihnen gleichzeitig eine lehrreiche und unterhaltsame Lernerfahrung zu bieten.

Schlagnworte: Forschendes Lernen – Projektbasiertes Lernen – Forschungsliteratur in der Lehre – Mathematischer Übungsbetrieb – Numerische Optimierung

ABSTRACT

Mathematics is critical to understanding and solving complex real-world problems, from data science to neuroscience. However, even master's-level math courses at universities often do not adequately prepare students for research or business careers. While the exercise programs used in these courses are useful for actively engaging students with the lecture material, they tend to focus on theoretical problems with known outcomes rather than practical applications or tasks with unknown outcomes. This paper presents an exercise program for the master's-level module "Numerical Optimization with Differential Equations II" that uses a research-based learning approach and aims to better prepare students for tasks in research and business world. The core of the presented exercise program is that students in teams teach themselves and apply algorithms to solve challenging problems by analyzing relevant research papers. The exercise program was implemented

in the winter semester 2021/2022 and the students' engagement and performance exceeded the author's expectations, with the students finding it helpful and enjoyable. Thus, the presented program has the potential to better prepare students for research or business jobs while providing a more engaging and enjoyable learning experience.

Keywords: Research-based learning – Project-based learning – Research literature in teaching – Exercise program in mathematics – Numerical optimization

Einleitung

Fragestellung und Aufbau des Beitrags

Das Ziel des in diesem Beitrag beschriebenen Projekts ist es, verstärkt Forschendes Lernen in einer fortgeschrittenen Master-Veranstaltung im Fachbereich Mathematik zu implementieren. Dadurch sollen praxisorientierte Kompetenzen, die sowohl für die Forschung und die Wirtschaft wichtig sind, aufgebaut werden sowie das Interesse und die Motivation der Studierenden für das spezifische Fachgebiet gestärkt werden.

Die weitere Einleitung leitet über eine Beschreibung der Ausgangssituation und eine Identifizierung von Verbesserungspotentialen hin zu einer detaillierteren Formulierung der Ziele des in diesem Beitrag präsentierten Projekts. Dies beinhaltet auch eine Übersicht über die Maßnahmen, die als Grundpfeiler für das Erreichen der Projektziele gesehen werden. Details zu der Umsetzung dieser Maßnahmen und den dabei genutzten didaktischen Methoden liefert das zweite Kapitel. Die bei der Umsetzung gemachten Beobachtungen werden im dritten Kapitel diskutiert. Der Beitrag schließt mit einer Diskussion der Ergebnisse, zusätzlichen Verbesserungsvorschlägen und einem Ausblick, wie das Projekt auf andere Fachbereiche übertragen werden kann.

Ausgangssituation

Im Fachbereich der Mathematik folgen viele Lehrveranstaltungen einem ähnlichen Schema. In diesem Schema gibt es ein bis zwei Vorlesungen pro Woche, die von den Professor*innen gehalten werden und in denen neue Inhalte präsentiert werden. Die Vorlesungen werden von einem Übungsbetrieb begleitet, der größtenteils durch Doktorand*innen organisiert und mithilfe von studentischen Tutor*innen durchgeführt wird und aus zwei Aspekten besteht. Zum einen müssen die Studierenden in Heimarbeit Übungsaufgaben lösen, schriftlich formulieren und abgeben. Tutor*innen bewerten die Abgaben und geben den Studierenden

Feedback zu ihren Abgaben. Zum anderen werden im Übungsbetrieb im Rahmen von Tutorien Musterlösungen oder Lösungsvorschläge der Studierenden diskutiert. Die Prüfungszulassung ist häufig an die erfolgreiche Teilnahme am Übungsbetrieb gekoppelt.

Durch die Übungsaufgaben soll eine aktive Auseinandersetzung der Studierenden mit den Vorlesungsinhalten erreicht werden. Dabei sollen sie in die Lage versetzt werden, neue mathematische Konzepte und Aussagen einzuordnen, zu beweisen, zu bewerten und anzuwenden. Teilweise wird der Übungsbetrieb auch genutzt, um zusätzliche Inhalte in das Selbststudium auszulagern. In den Prüfungen werden ähnliche Aufgabentypen wie im Übungsbetrieb verwendet.

Beobachtungen und Verbesserungspotential

Die in dem beschriebenen Übungsbetrieb gestellten Übungsaufgaben haben oft keinen Bezug zu praktischen Anwendungen oder anderen Fachbereichen. Einer der häufigsten Operatoren für die Aufgabenstellungen ist „Zeigen Sie, dass...“. Bei diesem Operator ist den Studierenden also stets die zu zeigende Aussage bekannt, da diese vorgegeben wird. Die Studierenden müssen daher nicht selbst überlegen, welche mathematische Aussage als Ergebnis zu erwarten ist. In der Forschung wiederum ist es die Ausnahme, dass das Ergebnis bekannt ist und nur der Weg dorthin geklärt werden muss. Forschendes Lernen, also eine stärkere Orientierung an Forschungskompetenzen in Lehren und Lernen, findet somit wenig statt. Neben Kompetenzen, die für die Arbeit mit theoretischen Fragestellungen nötig sind, benötigen die Studierenden nach dem Studium in der Forschung und in der Wirtschaft zudem noch weitere Kompetenzen. Auch das Modulhandbuch für den Masterstudiengang Mathematik führt explizit den „Aufbau von praxisorientierter Problemlösungskompetenz“ als Qualifikationsziel an (RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG 2023). Jedoch werden einige Fähigkeiten, wie etwa wissenschaftliche Publikationen zu lesen und deren Inhalte mit dem bestehenden Fachwissen zu verknüpfen, das Fachwissen zur Lösung von praxisnahen Problemen einzusetzen und die Fähigkeit, mathematische Algorithmen zu implementieren, aus Sicht des Autors wenig geschult in diesem Übungsbetrieb. Allerdings werden diese Fähigkeiten auch außerhalb des Übungsbetriebs nur bedingt trainiert. Einzig in der Beschreibung der eigenständigen Lehr- und Lernformen „Seminar“ und „Praktikum“ führt das Modulhandbuch für den Masterstudiengang Mathematik „selbstständiges Erarbeiten eines wissenschaftlichen Themas“, bzw. das „selbstständiges Erstellen einer Software“ an (RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG 2023). Dabei entfallen im Bachelor und Master jeweils nur 12 Leistungspunkte auf Seminare und Praktika (RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG 2022a; RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG 2022b). Um die Studierenden besser auf die Ansprüche der Wirtschaft vorzubereiten, kann daher überlegt werden, diese Fähigkeiten auch in den übrigen Lehrveranstaltungen und insbesondere im Übungsbetrieb stärker zu schulen.

In Lehrevaluationen und persönlichen Gesprächen geben viele Studierende darüber hinaus an, dass sie sich einen stärkeren Praxisbezug der Aufgaben wünschen. Daraus lässt sich ableiten, dass die Studierenden sich weniger für den Übungsbetrieb begeistern können, wenn der Praxisbezug fehlt. Aus demselben Grund kann auch die Motivation und schlussendlich der Lernerfolg sinken. Die absinkende Motivation lässt sich im Rahmen der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (DECI & RYAN 2000; 2008) erklären. In der Selbstbestimmungstheorie werden Autonomie- und Kompetenzerleben und soziale Eingebundenheit als Grundbedürfnisse angesehen, deren Erfüllung motivationssteigernd wirkt. Durch die Nichterfüllung des Wunsches nach Praxisbezug wird das Autonomieerleben im Studium reduziert. Auch ein geringes Kompetenzerleben in Bezug auf zukünftige Aufgaben kann hier eine Rolle spielen.

Die Gestaltung des Übungsbetriebs ist selbstverständlich auch durch die Natur der Inhalte des Mathematikstudiums bedingt. Insbesondere im Bachelor-Studium ist ein verstärkter Einsatz von wissenschaftlichen Publikationen und praxisnahen Aufgaben schwierig zu realisieren, da die Studierenden zu dem Zeitpunkt noch nicht die mathematischen Kompetenzen aufgebaut haben, die sie für diese Aufgaben benötigen. Daher würden Studierende in diesem Fall ein verringertes Kompetenzerleben erfahren. Im Master-Studium, in dem die Studierenden bereits über mehr mathematische Kompetenzen verfügen und in dem in den Veranstaltungen Konzepte mit stärkerem Praxisbezug besprochen werden, gibt es hingegen aus Sicht des Autors Verbesserungspotential im Übungsbetrieb. Mit Blick darauf, dass die Studierenden sich nach dem Master-Studium für einen weiteren Karriereweg entscheiden müssen, bietet ein angepasster Übungsbetrieb in Master-Veranstaltungen die Chance, den Studierenden zusätzlich erste Einblicke in die Forschung oder die Anforderungen in der Wirtschaft zu geben.

Diese Analyse gilt jedoch primär für Veranstaltungen in der Angewandten Mathematik, da diese einen stärkeren Praxisbezug haben.

Projektziele, -idee und -maßnahmen

In dem hier beschriebenen Projekt handelt es sich um die Umstrukturierung des Übungsbetriebs und der Prüfung für die fortgeschrittene Master-Veranstaltung „Numerical Optimization with Differential Equations II“ im Wintersemester 2021/22 an der Universität Heidelberg. Dabei sollten unter Berücksichtigung des Konzepts des Forschenden Lernens die identifizierten Verbesserungspotentiale ausgenutzt werden, um praxisorientierte Kompetenzen, die sowohl für die Forschung und die Wirtschaft wichtig sind, stärker aufzubauen, sowie um das Interesse und die Motivation der Studierenden für das spezifische Fachgebiet zu stärken.

Im vorigen Abschnitt wurden die folgenden Verbesserungspotentiale identifiziert:

- Selbstständiges Erarbeiten eines wissenschaftlichen Themas sowie das selbstständige Erstellen einer Software als elementare Bestandteile im Übungsbetrieb verankern.
- Einen stärkeren Praxisbezug der Übungsaufgaben herstellen.
- Motivation der Studierenden durch Beachtung der Grundbedürfnisse gemäß der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan erhöhen.

Ausgehend von diesen Verbesserungspotentialen wurden für dieses Projekt die folgenden Ziele gesetzt:

- (1) Das Übungs- und Prüfungsformat soll sich stärker an den Anforderungen der mathematischen Forschung und der Arbeit in der Wirtschaft orientieren. Dadurch soll der oben erwähnte „Aufbau von praxisorientierter Kompetenz“ (RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG 2023) gefördert werden. Daraus abgeleitet sind die Unterziele:

- i. die Programmierfähigkeiten der Studierenden zu verbessern,
- ii. die Studierenden in die Lage zu versetzen, das Wissen aus der Vorlesung mit den Inhalten wissenschaftlicher Publikationen zu verknüpfen, um Forschungsergebnisse zu replizieren,
- iii. und die Studierenden in die Lage zu versetzen, ein kleineres Forschungsprojekt selbstständig erfolgreich durchzuführen.

Das letzte Unterziel unterstützt das Erreichen der im Modulhandbuch für den Masterstudiengang Mathematik (RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG 2023) formulierten überfachlichen Qualifikationsziele.

- (2) Das Interesse der Studierenden an dem Fachgebiet soll gestärkt werden.

Als Schlüsselfaktor für das Erreichen dieser Projektziele wurde ein erfolgreicher Einsatz des Konzepts des Forschenden Lernens gesehen. Forschendes Lernen definiert Ludwig Huber wie folgt: „Forschendes Lernen zeichnet sich vor anderen Lernformen dadurch aus, dass die Lernenden den Prozess eines Forschungsvorhabens, das auf die Gewinnung von auch für Dritte interessanten Erkenntnissen gerichtet ist, in seinen wesentlichen Phasen – von der Entwicklung der Fragen und Hypothesen über die Wahl und Ausführung der Methoden bis zur Prüfung und Darstellung der Ergebnisse in selbstständiger Arbeit oder in aktiver Mitarbeit in einem übergreifenden Projekt – (mit)gestalten, erfahren und reflektieren.“ (HUBER 2009: 11) Forschendem Lernen wird von diversen Autor*innen eine Vielzahl von Vorteilen und Möglichkeiten zugeschrieben, siehe beispielsweise (GESS, DEICKE & WESSELS 2017). Außerdem empfiehlt auch der Wissenschaftsrat Forschendes Lernen mit der Aussage „Zu jedem wissenschaftlichen Studium gehört somit ein forschendes Lernen.“ (WISSENSCHAFTSRAT 2006: 64).

Schließlich sieht sich auch die Universität Heidelberg gemäß ihrem Leitbild Lehre „dem forschenden Lehren und Lernen in herausragender Qualität auf neustem Stand verpflichtet“ (RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG 2020).

Daraus ergab sich die folgende Idee für das Projekt. Der Übungsbetrieb wird durch Programmierprojekte ersetzt, die Inhalte der Vorlesung mit wissenschaftlichen Publikationen und praxisnäheren Problemen verknüpfen. In den Tutorien helfen sich die Studierenden unter Moderation und Unterstützung der Dozierenden gegenseitig bei der Bearbeitung der Projekte und präsentieren ihre Ergebnisse. Die Prüfung findet in Form von Abschlussprojekten statt. Details zu den drei Aspekten werden in Kapitel 2 gegeben.

Für jedes der genannten Projektziele gab es eine Maßnahme, die als Grundpfeiler für das Erreichen des entsprechenden Ziels gedient hat. Diese Maßnahmen sind:

- (1)
 - i. Die Studierenden arbeiten an Programmierprojekten, bei denen sie selbstständig das komplette Layout und den Inhalt des Programms entwickeln und sich mit der Python-Bibliothek CasADi (ANDERSSON ET AL. 2019) vertraut machen.
 - ii. Die Aufgabenstellung für die Projekte basiert auf wissenschaftlichen Publikationen, deren Grundideen auch in der Vorlesung besprochen werden.
 - iii. Im Übungsbetrieb werden die Struktur und die Teilaufgaben der Projekte sukzessive weniger detailliert vorgegeben, sodass die Studierenden die Projekte graduell stärker selbst ausformulieren müssen. In den Abschlussprojekten können die Studierenden auf Wunsch ein eigenes Projekt vorschlagen. Alternativ gibt es einen Themenvorschlag durch die Dozierenden, der aber viel Raum zur Ausgestaltung durch die Studierenden lässt.
- (2) Ein Reiz der Veranstaltung liegt darin, dass die Inhalte für viele praktische Probleme eingesetzt werden können. In den Projekten werden solche Probleme, wie etwa die Trajektorienplanung für ein Ausweichmanöver eines autonomen Fahrzeugs (siehe etwa GERDTS 2005), aufgegriffen.

Methoden und Umsetzung

Beschreibung des Kurses „Numerical Optimization with Differential Equations II“

Der Kurs „Numerical Optimization with Differential Equations II“ (NODE II) im Wintersemester 2021/22 war eine Aufbauveranstaltung zum Kurs „Numerical Optimization with Differential Equations I“ (NODE I), der im Sommersemester 2021 stattgefunden hat.

Alle Teilnehmenden ($n = 7$) des Kurses NODE II waren Studierende der Masterstudienprogramme Mathematik und Scientific Computing und haben im vorangegangenen Semester den Kurs NODE I erfolgreich absolviert. Da im Kurs NODE I bereits Programmieraufgaben in der Programmiersprache Python gestellt wurden, hatten somit alle Teilnehmenden mindestens grundlegende Erfahrungen mit Python. Ausgehend von den Leistungen der Studierenden im Kurs NODE I konnte bereits zu Beginn des Projekts von einer leistungsstarken Gruppe von Studierenden ausgegangen werden. Dieser Eindruck hat sich im Laufe des Projekts bestätigt.

Die drei großen Themenschwerpunkte der Veranstaltung NODE II sind die Parameterschätzung, optimale Steuerung und modellprädikative Regelung bei dynamischen Systemen, die durch gewöhnliche Differentialgleichungen beschrieben werden. Diese Themen sind gleichzeitig die Forschungsgebiete der Arbeitsgruppen um Ekaterina A. Kostina und Hans Georg Bock an der Universität Heidelberg. Mitglieder und Kollaborationspartner dieser beiden Arbeitsgruppen haben mehrere einflussreiche Publikationen in diesen Forschungsgebieten veröffentlicht (BOCK & PLITT 1984; DIEHLE ET AL. 2002; KÖRKELE ET AL. 2004; FERREAU, BOCK & DIEHL 2008).

Die theoretischen Inhalte des Kurses wurden im Rahmen von zwei 90-minütigen Vorlesungen pro Woche vermittelt. Zusätzlich gab es pro Woche ein Tutorium, das im Rahmen des Projekts neugestaltet wurde und dessen Aufbau im Abschnitt „Umstrukturierung der Tutorien“ noch genauer thematisiert wird.

Lernziele für die Vorlesungen wurden dem Autor leider nicht kommuniziert. Daher waren die oben formulierten Projektziele maßgeblich bei den Umstrukturierungen. Lernziele für die Vorlesungen wären jedoch wichtig, um den Übungsbetrieb besser auf die Ziele des gesamten Moduls abzustimmen.

Umstrukturierung des Übungsbetriebs

Die Leitidee der hier beschriebenen Umstrukturierung war es, Forschendes Lernen zu fördern. Die Konsequenz dieser Leitidee war es, den Übungsbetrieb so zu gestalten, dass die Studierenden

- erforschen müssen, wie die Inhalte der Vorlesungen in der Forschung verwendet und eingesetzt werden können, um praxisnahe Probleme zu lösen,
- Zeit und Gelegenheit bekommen, innerhalb der Projekte ihren eigenen Interessen zu folgen und somit die Forschungsbereiche selbstständig zu erforschen
- und sich die nicht-curricularen Fähigkeiten, die zum Umsetzen der Projekte notwendig sind, eigenständig aneignen. Diese nicht-curricularen Fähigkeiten sind beispielsweise das Erlernen der Nutzung der Python-Bibliothek CasADi (ANDERSSON ET AL. 2019), kollaborative Software-Entwicklung und Projektmanagement.

Die Absicht, den Studierenden Zeit und Gelegenheit zur eigenen Ausgestaltung der Projekte zu geben, war zudem motiviert durch eine konstruktivistische Perspektive auf das Lernen, die davon ausgeht, dass der Lernprozess als Aktivität der Lernenden verstanden werden muss (vgl. u. a. BIGGS & TANG 2011). Daher erfolgten keine Vorgaben durch die Dozierenden dazu, welche genauen Fragestellungen „am besten“ sind, um die Inhalte der Vorlesung zu erlernen. Stattdessen wurde den Studierenden in den Projekten die Chance gegeben, ihr Wissen in dem Fachbereich individualisiert, abhängig von der Motivation, dem Vorwissen, den Interessen und Fähigkeiten, zu konstruieren. Dies stärkt zudem das Autonomieerleben der Studierenden und nach der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan folglich die Motivation.

Die Selbstbestimmungstheorie fand auch im weiteren Prozess der Projektkonzeption Anwendung. Die gestellte Herausforderung, wissenschaftliche Publikationen zu lesen und Ergebnisse dieser zu reproduzieren, sollte ein Kompetenzerleben fördern. Um soziale Eingebundenheit zu stärken, haben die Studierenden in Gruppen von zwei bis vier Studierenden zusammengearbeitet.

Ausgehend von den vorangegangenen didaktischen Überlegungen wurden die Programmierprojekte wie folgt gestaltet: Zu den drei großen Themenschwerpunkten der Veranstaltungen wurde jeweils ein Projekt durch die Dozierenden konzipiert. Für jedes Projekt haben die Dozierenden zunächst entweder ein in der Praxis angewandtes algorithmisches Verfahren oder ein praxisnahes Problem (oder beides) zusammen mit den wissenschaftlichen Veröffentlichungen, in denen diese beschrieben werden, ausgewählt. Um den Zeitaufwand zu reduzieren, wurde in den Projektbeschreibungen teils spezifiziert, welche Abschnitte der Publikationen zum Bearbeiten der Projekte wesentlich sind.

Die Kriterien für die Auswahl der Verfahren waren, dass sie

- Weiterentwicklungen von in den Vorlesungen präsentierten Verfahren sind,
- erfolgreich in der Praxis eingesetzt werden,
- eine Wiederverwendung des bereits entwickelten Programmcodes erlauben,
- und aus verschiedenen Bestandteilen bestehen, die je nach verfügbarer Zeit, Motivation und Interessen der Studierenden ausgewählt oder weggelassen werden können.

Die Anwendungsprobleme wurden so ausgewählt, dass sie so wenig unerwünschte Schwierigkeiten wie möglich verursachen und ihre korrekte Implementation durch geeignete Visualisierungen überprüft werden können.

In den Projektbeschreibungen wurden die Projekte in Meilensteine aufgeteilt. In den einzelnen Meilensteinen wurden einzelne Aufgaben definiert, die von den Studierenden bearbeitet werden sollten. Die einzelnen Aufgaben waren jedoch offen formuliert, um das Autonomieerleben der Studierenden und, mit Blick auf die konstruktivistische Lerntheorie, individualisierte Wissenskonstruktion zu fördern. Eine beispielhafte Aufgabenformulierung

aus der Projektbeschreibung des dritten Projekts ist „[...] demonstrate the behaviour of your model implementation in simulations with a predefined control.“

Ein Risiko der Projektgestaltung war, die Studierenden zu überfordern und somit womöglich zu demotivieren. Um dies zu vermeiden, ohne dass die Dozierenden die Projektkonzeption anpassen müssen, waren alle Projektbeschreibungen prominent mit den Hinweisen „Don't worry if these projects feel challenging or if you don't manage to solve all tasks! The projects are intended to give you an insight into modern research and hence can feel more challenging.“ und „Do not hesitate to ask us if you have any questions or would like to give feedback. It is the first time we are running this kind of projects, so we are more than happy to hear your opinions. If you prefer to ask questions or to provide feedback anonymously, you can use Particify.“ versehen. Diese offene Feedbackkultur sollte zudem zum Autonomieerleben und zur sozialen Eingebundenheit der Studierenden beitragen.

Die Themen der Projekte bauten stark aufeinander auf, sodass die Studierenden jeweils große Teile ihrer Software aus dem vorigen für das nächste Projekt wiederverwenden konnten. Dieser Umstand hat es erlaubt, dass die Projekte graduell umfassender und herausfordernder gestaltet werden konnten, ohne den Arbeitsaufwand für die Studierenden zu stark zu erhöhen. Durch die Zusammenarbeit der Studierenden in Gruppen sollte der Arbeitsaufwand weiter reduziert werden.

Umstrukturierung der Tutorien

Im Einklang mit der bereits erwähnten Idee, den Studierenden einen ersten Einblick in mathematische Forschung zu geben, war es das Leitmotiv, die Gestaltung der Tutorien stärker an typischen Besprechungen in der Forschung zu orientieren. Drei didaktische Konzepte wurden insbesondere bei der Gestaltung berücksichtigt.

Diese sind

- das Konzept, aktive Partner nach Steve de Shazer (DE SHAZER 1994) zu gewinnen,
- das Rollenverständnis der Dozierenden als Facilitator (ROGERS 1967),
- und das Fördern von sozialer Eingebundenheit, Kompetenz- und Autonomieerleben der Studierenden zur Steigerung der Motivation gemäß der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (DECI & RYAN 2000; 2006).

Das Konzept der Gewinnung aktiver Partner sieht vor, zu fördern, dass die Studierenden ein spezifisches Interesse an den Inhalten der Veranstaltungen entwickeln und sich aktiv beteiligen. Dadurch wird Tiefenlernen gefördert. Eng verbunden damit ist das Rollenverständnis der Dozierenden als Facilitator. Als Facilitator führt der Dozierende in einem kooperativ-delegativen Stil, um die studentische Initiative zu fördern und somit wiederum die Gewinnung von aktiven Partnern zu fördern. Diese beiden Konzepte harmonisieren darüber hinaus mit dem genannten Leitmotiv, die Tutorien stärker an typischen Besprechungen in

der Forschung zu orientieren. Denn auch in der Forschung haben die Forschenden üblicherweise ein spezifisches Interesse an ihren Themen und möchten an Lösungen für ihre Probleme arbeiten. Zur Umsetzung der beiden Konzepte wurden bei der Gestaltung der Tutorien die folgenden Maßnahmen ergriffen. Zunächst wurde als Raum für die Tutorien statt eines Seminarraums ein Besprechungsraum ausgewählt. Dieser Raum unterscheidet sich von einem Seminarraum dadurch, dass die Dozierenden und die Studierenden gemeinsam an einem runden Besprechungstisch sitzen können. Dadurch wurde den Studierenden signalisiert, dass sich in den Tutorien alle Teilnehmenden auf Augenhöhe begegnen und gemeinsam an Lösungen gearbeitet wird, wodurch zudem die soziale Eingebundenheit gestärkt werden sollte. Außerdem hatten die Dozierenden, anders als in der Mathematik üblich, keine Musterlösungen zu den Projekten zur Verfügung. Zwar hatten die Dozierenden Expertenwissen im Bereich der zu lernenden mathematischen Methoden, aber kein Expertenwissen im Umgang mit der verwendeten Python-Bibliothek. Dadurch war es von elementarer Bedeutung, dass die Studierenden aktiv ihre Kommiliton*innen bei der Problemlösung in den Tutorien unterstützen – sich also als aktive Partner einbringen. Den Dozierenden kam dabei primär eine moderierende Rolle zu. Um die aktive Beteiligung der Studierenden weiter zu fördern, haben die Dozierenden zusätzlich darauf geachtet, Fragen der Studierenden möglichst an die übrigen Studierenden weiterzugeben, die Diskussion zielgerichtet zu moderieren und nur gegebenenfalls weitere Informationen zu ergänzen. Dadurch, dass die Studierenden sich gegenseitig unterstützen mussten, sollte außerdem das Kompetenz- und Autonomieerleben der Studierenden verstärkt werden.

Der typische Ablauf der Tutorien nach der Umgestaltung gestaltete sich wie folgt. Nach der Begrüßung sammelt der Dozierende Diskussionsthemen an der Tafel. Auch hier erleben die Studierenden die Autonomie, den Verlauf der Tutorien im Wesentlichen selbst zu bestimmen. Danach setzt der Dozierende sich wieder zurück an den Besprechungstisch und moderiert die weitere Besprechung von dort. Bei der Besprechung einer Frage bittet der Dozierende zunächst die Person, die die Frage geäußert hat, das entsprechende Problem oder die Frage ausführlicher zu wiederholen und genauer zu beschreiben. Wichtig ist, dass die übrigen Studierenden das Problem verstehen, was sich durch aktives Einbringen der Studierenden zeigt. Dadurch soll ein Kompetenzerleben geschaffen werden. Während der Diskussion halten sich die Dozierenden zurück und fassen nur gelegentlich den aktuellen Stand der Diskussion zusammen, stellen Rückfragen zu Beiträgen der Studierenden oder geben neue Diskussionsanstöße. Wenn die Diskussion Lösungsvorschläge zu dem entsprechenden Problem hervorgebracht hat oder das Zeitmanagement einen Abbruch der Diskussion notwendig macht, fassen die Dozierenden die wichtigsten Ergebnisse der Diskussion zusammen und ergänzen ggf. noch wichtige Aspekte. Zur Ergebnissicherung schreiben die Dozierenden während des Tutoriums ein kurzes Protokoll, das den Studierenden anschließend zur Verfügung gestellt wird.

Ausgenommen von dem oben beschriebenen Ablauf war jeweils die Sitzung am Ende eines Projekts, bei der die Studierenden die Ergebnisse ihrer Projekte präsentiert haben. Bei

der Präsentation der Ergebnisse war es ausreichend, dass die Studierenden Plots und Codeausschnitte mithilfe von Jupyter Notebooks zeigen. Jupyter Notebooks sind interaktive Programmierumgebungen, die es ermöglichen, Code, Text und Visualisierungen in einer einzigen Benutzeroberfläche zu kombinieren und zu bearbeiten. Zwar wäre es aus didaktischer Sicht wünschenswert gewesen, dass die Studierenden umfassendere Präsentationen vorbereiten, jedoch hätte das den Arbeitsaufwand für die Studierenden nochmal deutlich erhöht. Da der Fokus auf der Umsetzung der Projekte lag und der Zeitaufwand für die Projekte, wie auch im Abschnitt „Risikoanalyse“ diskutiert, ein Risikofaktor war, wurde beschlossen, den Zeitaufwand für die Präsentationen zu reduzieren.

Umstrukturierung der Abschlussprüfung

Gemäß dem Prinzip des Constructive Alignments (BIGGS & TANG 2011), welches die Kohärenz von kompetenzorientierten Lernzielen, Lehr-Lernaktivitäten und Assessment fordert, wurden, ebenso wie im Übungsbetrieb, Programmierprojekte als Modus für die Abschlussprüfung gewählt.

Da für die Abschlussprojekte grundsätzlich die gleichen didaktischen Überlegungen angestellt werden können wie für den Übungsbetrieb, wurden die Abschlussprojekte fast identisch zu den Übungsprojekten gestaltet. Einzig der Zeitumfang war größer, die Themen wurden anders ausgewählt und die Präsentationen waren umfangreicher.

Bei der Gestaltung der Themen wurde insbesondere darauf geachtet, dass die Studierenden, passend zu Projektziel (1.iii) ihre Projekte größtenteils selbstständig ausgestalten und durchführen mussten. Die Studierenden hatten dabei zwei Möglichkeiten zur Auswahl, für die sich jeweils zwei Gruppen entschieden haben: Als erste Option gab es einen Projektvorschlag durch die Dozierenden, der auf einer Forschungsfrage einer befreundeten Arbeitsgruppe basierte. Alternativ konnten die Studierenden sich ein eigenes Projekt überlegen.

Bei dem Projektvorschlag durch die Dozierenden wurde ähnlich wie beim Übungsbetrieb eine Projektbeschreibung mit Meilensteinen formuliert. Für die Studierenden bestand dabei die Möglichkeit, dass ihre Ergebnisse womöglich Einzug in aktuelle Forschung finden. Da die Ergebnisse gegebenenfalls an die befreundete Arbeitsgruppe weitergegeben werden sollten, sollten die Ergebnisse dieser Projekte in einem Bericht festgehalten und erläutert werden.

Bei den durch die Studierenden vorgeschlagenen Projekten sollten diese einen der folgenden drei Typen zuordenbar sein. Die Projekte sollten entweder auf eine spezifische Anwendung oder eine spezielle Methode fokussiert sein oder einen pädagogischen Charakter haben. Bei den anwendungsbezogenen Projekten sollten die Studierenden sich eine Anwendung suchen und diese so modellieren, dass die Studierenden diese mit Methoden aus der Veranstaltung lösen können. Sollte eine spezielle Methode im Vordergrund stehen, sollten die Studierenden sich eine Methode oder einen Aspekt einer Methode suchen, die nicht im Übungsbetrieb abgedeckt wurde. Die Methode sollte dann basierend auf wissenschaftlichen

Veröffentlichungen implementiert und auf ein einfaches Testproblem angewandt werden. Bei Projekten mit pädagogischem Charakter bestand, ähnlich wie bei Stephen P. Boyd (BOYD 2003), die Aufgabe darin, Inhalte der Veranstaltung mithilfe von Beispielen, Anleitungen und Visualisierungen in Form von Jupyter Notebooks pädagogisch aufzubereiten. Die Möglichkeit, ein pädagogisch geprägtes Projekt zu wählen, ist nicht durch die Idee des Forschenden Lernens oder des Constructive Alignments motiviert, sondern wurde für den Fall angeboten, dass die Studierenden sich kein eigenständiges Forschungsprojekt zutrauen oder kein passendes Thema finden. Jedoch ist dieser Fall nicht eingetreten. Bei allen von den Studierenden vorgeschlagenen Projekten sollten die Ergebnisse in Form einer sorgfältig vorbereiteten Präsentation den übrigen Studierenden präsentiert werden.

Risikoanalyse

Das größte Risiko war ein übermäßiger Zeitaufwand, der von den Studierenden zur Bearbeitung der Projekte investiert werden muss. Dieses Risiko wurde dadurch verstärkt, dass die offenen Aufgabenstellungen dazu führen konnten, dass die Studierenden die Aufgaben umfangreicher bearbeiten als eigentlich vorgesehen. Diesem Risiko hätte bei Bedarf durch Aufgabenformulierungen gemäß des SMART-Prinzips, welches durch das Konzept des „Management by Objectives“ von Peter F. Drucker (DRUCKER 1954) popularisiert wurde, begegnet werden können. Das SMART-Prinzip besagt, dass die Aufgabenstellung spezifisch bzw. eindeutig, erreichbar und realistisch sein soll, zusätzlich einen klaren Zeithorizont hat und Fortschritt beim Bearbeiten gemessen werden kann. Jedoch hätte in diesem Fall die gezielte Offenheit der Aufgabenstellung reduziert werden müssen.

Ein weiteres Risiko wurde dadurch verursacht, dass die Projekte stark aufeinander aufbauten. Sobald die Studierenden eines der Projekte nicht erfolgreich bearbeiten hätten können, hätte die Gefahr bestanden, dass sie auch die Folgeprojekte nicht hätten erfolgreich bearbeiten können. Verschärft wurde die Problematik dadurch, dass keine Musterlösungen zu den Projekten existierten, die die Studierenden als Ausgangsbasis für die Folgeprojekte benutzen konnten. In der Durchführung wurden daher die Gruppen ermutigt, ihre Ausarbeitungen mit den übrigen Gruppen zu teilen. Ein ähnliches Risiko, das durch die aufeinander aufbauenden Projekte entstand, ist, dass Programmierfehler in einem vorigen Projekt, die dort aber keine wesentliche Auswirkung hatten, in einem Folgeprojekt zu erheblichen Problemen führen. Um diese Probleme während des Folgeprojekts zu lösen, hätte schlimmstenfalls ein großer zeitlicher Mehraufwand nötig sein können.

Für die Dozierenden bestand zudem die Herausforderung, geeignete Projektideen zu entwickeln und für diese passende Forschungsliteratur zu finden. Ein Risiko dabei war, dass die Synchronisation mit den Inhalten der Vorlesungen schlechter sein könnte als üblich, da die Projekte schwieriger spontan angepasst werden konnten. Außerdem musste sichergestellt werden, dass die Inhalte der Vorlesungen, die eher theoretische Aspekte behandeln, nicht zu wenig bedacht wurden.

Außerdem bestand die Gefahr einer Überforderung der Studierenden beim Erlernen der benötigten Algorithmen und Modelle und bei der Implementation dieser. Wie bei den meisten Gruppenarbeiten hätten sich zudem ungünstige Gruppendynamiken entwickeln können.

Ähnliche didaktische Projekte

Es gibt diverse andere Veranstaltungen, bei denen ebenfalls Programmierprojekte im Übungsbetrieb und als Prüfungsformat eingesetzt werden. Jedoch basieren diese meistens nicht auf den Darstellungen von Inhalten in wissenschaftlichen Veröffentlichungen. Dem Autor sind zwei ähnliche Projekte bekannt, die als Inspiration für das hier beschriebene didaktische Projekt gedient haben. Das erste Projekt sind die Projekte im Rahmen des Kurses Numerical Optimization im Wintersemester 2019/2020 an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg von Moritz Diehl und Florian Messerer (DIEHL & MESSERER 2019). Aus diesem Projekt wurden insbesondere der Aspekt, dass die Studierenden selbst Themen vorschlagen dürfen, und die Typen der anwendungs- und algorithmusorientierten Projekte übernommen. Jedoch wurden die Projekte in Freiburg nicht für den Übungsbetrieb eingesetzt und es waren weniger Projekttypen bei den Abschlussprojekten erlaubt. Die zweite Inspiration waren die Projekte im Rahmen eines Kurses zu Convex Optimization (EE392o) im Herbstquartal 2003/2004 an der Stanford University (Kalifornien, Vereinigte Staaten von Amerika) von Stephen P. Boyd (BOYD 2003). Aus diesen Richtlinien wurde insbesondere der Typ der pädagogischen Projekte übernommen. Auch in diesem Fall wurden die Projekte nicht für den Übungsbetrieb genutzt. Darüber hinaus war der geforderte Arbeitsumfang bei den in Stanford eingesetzten Projekten deutlich größer als bei den hier beschriebenen Projekten.

Evidenzen zur Zielüberprüfung

Die im Abschnitt „Projektziele, -idee und -maßnahmen“ formulierten Ziele sind teils schwer zu quantifizieren. Daher stützt sich die Zielüberprüfung größtenteils auf eine anonyme Befragung der Studierenden mit 43 Fragen. Das Erreichen der Unterziele (1.i) – (1.iii) konnte zudem durch Beobachtung der Leistung der Studierenden in diesen Belangen im Verlauf des Semesters qualitativ überprüft werden. Zu diesem Zweck können die Qualität des Programmcodes und der Auswertung sowie die Art der in den Tutorien geäußerten Probleme und Fragen herangezogen werden. Die Qualität des Programmcodes umfasst Aspekte wie die Geschwindigkeit der Programme, die Anzahl an Programmierfehlern bzw. Szenarien, die nicht korrekt funktionieren, das Einhalten von Best Practice Regeln, die Anzahl der gezeigten Programmiertechniken und ob die Studierenden am Ende des Kurses in der Lage sind, Methoden zu implementieren, die sie zu Beginn des Kurses nicht implementieren konnten.

Das Ziel (2) konnte außer durch die Antworten bei der Befragung der Studierenden auch mit Einschränkungen durch die Anzahl von Anfragen für Abschlussarbeiten und HiWi-Positionen in dem entsprechenden Fachbereich durch die Studierenden des Kurses überprüft werden.

Beobachtungen zur Umstrukturierung

Eine Evaluation wurde in Form einer anonymen Umfrage mithilfe der Plattform Particify (PARTICIFY 2023) durchgeführt. Insgesamt wurden den Studierenden 43 Fragen, aufgeteilt auf die Kategorien Allgemeines, Übungsbetrieb, Abschlussprojekte, Tutorien, Dozierende und Feedback, gestellt. Im Folgenden wird auf einzelne Fragen aus dieser Evaluation verwiesen. Die kompletten Evaluationsergebnisse befinden sich im Anhang.

Übungsbetrieb

Durch die frühzeitige Planung der Themen für die Projekte und die Vorlesung konnte sichergestellt werden, dass die Projektthemen zu den aktuellen Inhalten der Vorlesung passen, wenngleich dies noch verbessert werden kann, vgl. Frage 41.

Jedoch konnte beobachtet werden, dass wenig Zeit für Feedback nach den Projektpräsentationen an die Studierenden durch die Dozierenden und ihre Kommiliton*innen zur Verfügung stand. Die Präsentationen der Projekte haben nämlich jedes Mal die komplette zur Verfügung stehende Zeit eingenommen. Des Weiteren war es schwierig, die Programmcodes basierend auf den in den Präsentationen gezeigten Ausschnitten zu beurteilen. Beide Probleme ließen sich durch eine separate Beurteilung der Programmcodes und entsprechendes Feedback durch die Dozierenden außerhalb der Tutorien lösen. Jedoch hätte dies einen hohen Arbeitsaufwand für die Dozierenden bedeutet und die Studierenden hätten dafür ihre Programmcodes umfassender kommentieren müssen. Eine weitere denkbare Lösung wäre es gewesen, ein Bewertungsraster oder einen Kriterienkatalog zu entwickeln, mit dessen Hilfe die Studierenden sich bereits vorab gegenseitig beurteilen können.

Zunächst gab es eine Gruppe, bei der die Zusammenarbeit nicht funktioniert hat. Nachdem die Dozierenden in diesem Fall einen Wechsel einer Person in eine andere Gruppe initiiert hatten, war zu beobachten, dass in den Gruppen alle Studierenden aktiv mitgewirkt haben.

Bei einer Gruppe wurde bei einem Projekt in den Tutorien beobachtet, dass sie die eigenen Ansprüche an den Programmcode sehr ambitioniert gesetzt hatte, wodurch diese Gruppe schlussendlich Probleme bekommen hat, überhaupt Ergebnisse bei dem entsprechenden Projekt zu erzielen. Erschwerend kam in diesem Fall dazu, dass die Komplexität des Programmcodes so hoch war, dass weder die Dozierenden noch die übrigen Gruppen konkrete Vorschläge zur Problembhebung entwickeln konnten. Dies hing wiederum mit

dem bereits beschriebenen Zeitmangel für Beurteilung und Feedback zusammen. In diesem Fall wurden durch die Dozierenden konkrete Vorschläge für Teilaspekte gemacht, die dann noch erfolgreich erreicht werden konnten.

Tutorium

Die Umstrukturierung der Tutorien ist größtenteils positiv von den Studierenden und Dozierenden aufgenommen worden, siehe Fragen 24-31. Besonders hervorgehoben wurde von den Studierenden die gute und kollegiale Atmosphäre in den Tutorien, siehe Frage 40. Dies zeigt, dass erfolgreich Begegnungen auf Augenhöhe und soziale Eingebundenheit geschaffen wurden. Auffällig war, dass vom ersten Tutorium an stets problemlos Diskussionen zwischen den Studierenden über die aktuellen Projekte und die damit verbundenen Probleme der Gruppen entstanden sind. Teilweise entstand die Diskussion bereits vor dem Tutorium, ohne dass die Dozierenden diese initiieren oder moderieren mussten. Problematisch während der Diskussionen waren jedoch phasenweise die folgenden Aspekte. Teils war der Arbeitsstand der verschiedenen Gruppen sehr heterogen, sodass einige Studierende Probleme hatten, der Diskussion zu Fragen anderer Gruppen zu folgen, vgl. Frage 42. Eine ähnliche Situation ergab sich gelegentlich, wenn eine Frage sehr spezifisch war, wobei die Dozierenden in dem Fall durch Neuformulierung und Moderation der Frage versucht haben zu erreichen, dass alle Gruppen in der Diskussion partizipieren konnten. Umgekehrt gab es ein paar wenige Situationen, in denen die gestellte Frage von anderen Studierenden als offensichtlich empfunden wurde und die Beiträge der antwortenden Studierenden in der Diskussion als weniger wertschätzend aufgefasst werden konnten als wünschenswert gewesen wäre. Insgesamt war der Umgang der Studierenden untereinander aber sehr respektvoll. Weiterhin war das Zeitmanagement der Tutorien in einigen Sitzungen herausfordernd, weil viele Fragen zu besprechen waren oder die Diskussionen länger als erwartet waren, vgl. Frage 42. In diesem Fall haben die Dozierenden entschieden, die Diskussionen an geeigneter Stelle abubrechen, auch wenn eventuell noch keine klare Idee für die Problemlösung gefunden war, um sicherzustellen, dass die Belange aller Gruppen gleichmäßig berücksichtigt werden. Die Antworten auf die Fragen 28 und 29 zeigen, dass den Dozierenden diese Balance gut gelungen ist. Ggf. könnten bei ähnlichen Projekten dennoch zusätzliche Tutorien angeboten werden, um mehr Zeit für die Diskussionen zu haben. Außerdem war die Ergebnissicherung durch die Dozierenden bei einigen Diskussionen schwierig zu bewerkstelligen, da die Dozierenden gleichzeitig die Diskussion moderiert haben.

Zuletzt war positiv zu beobachten, dass die Studierenden immer wieder auch Fragen an die dozierenden Doktoranden bezüglich der Arbeit und Forschung während der Promotion gestellt haben. Diese Beobachtung spricht dafür, dass die umstrukturierten Tutorien dazu beitragen können, das Interesse der Studierenden an der Forschung in dem entsprechenden Fachbereich und die Vernetzung von Studierenden und Mitarbeiter*innen zu stärken.

Abschlussprüfung

Wie bereits im Abschnitt „Umstrukturierung der Abschlussprüfung“ erwähnt, haben zwei der vier Gruppen entschieden, kein eigenes Thema für das Abschlussprojekt vorzuschlagen. Wichtige Beweggründe in diesem Fall waren, dass die Gruppen keine Ideen für eigene Themen hatten oder Sorge hatten, dass der Arbeitsaufwand nicht angemessen sein könnte, siehe Frage 23. Außerdem wollten die beiden Gruppen gerne an einem echten Forschungsproblem arbeiten, wie es beim von den Dozierenden vorgeschlagenen Thema der Fall war, siehe Frage 23.

Schlussendlich haben alle Gruppen ihr Abschlussprojekt erfolgreich bearbeiten können. Die Arbeit der zwei Gruppen an dem vorgeschlagenen Forschungsprojekt hat sich jedoch schwieriger gestaltet als durch die Dozierenden antizipiert. Das Hauptproblem in diesem Fall war, dass die Dozierenden nicht nur keine Lösung zu dem Projekt kannten, sondern zusätzlich auch nicht mit Sicherheit benennen konnten, welche Schritte erfolgversprechend sind, und ihnen auch teilweise wichtige Informationen über die zur Verfügung gestellten Daten gefehlt haben. Jedoch treten ähnliche Probleme auch in der Forschung häufig auf, sodass diese Problematik gleichzeitig Forschendes Lernen gefördert hat.

Eine weitere Schwierigkeit war, dass während des Übungsbetriebs der Anspruch an die Präsentationen niedrig gehalten waren, für die Abschlussprojekte aber verstärkt Wert auf die Präsentationen gelegt wurde. Als Konsequenz entsprachen die Präsentationen der Abschlussprojekte nicht allen Ansprüchen. Eine stärkere Berücksichtigung des Constructive Alignments wäre hilfreich gewesen und sollte diese Schwierigkeit mildern. Zusätzlich hätten die Ansprüche an die Präsentationen klarer kommuniziert werden sollen.

Diskussion und Ausblick

Diskussion der Ergebnisse

Insgesamt hat der umstrukturierte Übungsbetrieb ohne größere Schwierigkeiten und Probleme funktioniert. Das Feedback der Studierenden, sowohl im persönlichen Gespräch als auch in der durchgeführten Evaluation war größtenteils positiv. Alle Gruppen haben bei jedem Projekt sehr gute Arbeit geleistet und bis auf eine Ausnahme stets auch Ergebnisse erarbeiten und präsentieren können. Die Qualität der produzierten Programmcodes und der Auswertungen hat dabei aus Sicht der Dozierenden kontinuierlich zugenommen, was für ein Erreichen von Projektziel (1.i) spricht. Zusätzlich spricht die Qualität der Abschlussprojekte für ein Erreichen von Projektziel (1.iii). Ein zusätzlicher Beleg hierfür ist, dass zudem die Studierenden in der Evaluation angaben, dass ihnen an den Projekten besonders gut gefallen hat, dass sie gelernt haben, besser zu programmieren und an umfassenderen und interdisziplinären Themen frei zu arbeiten. Jedoch wurde kein Bewertungsraster eingesetzt.

Der Einsatz eines Bewertungsrasters wäre allerdings nötig, um diese subjektiven Einschätzungen zusätzlich zu stützen. Der Einsatz eines Bewertungsrasters ist zudem ein klarer Verbesserungsvorschlag für die Umsetzung von ähnlichen Projekten, um die Anforderungen transparenter zu machen und um die Bewertung weniger subjektiv zu gestalten.

In den Evaluationsergebnissen zeigt sich insbesondere an den Antworten auf die Fragen 1-3, dass die Umstrukturierung die Motivation und das Interesse der Studierenden an der Veranstaltung von einem bereits hohen Niveau weiter steigern konnte. Im persönlichen Gespräch haben mehrere Studierende zudem geäußert, dass ihnen der Übungsbetrieb sehr gut gefallen hat und insgesamt der Kurs aufgrund des umstrukturierten Übungsbetriebs, Tutoriums und Abschlussprüfung der Kurs ist, der ihnen im bisherigen Studium am besten gefallen hat, siehe auch Frage 43. Ziel (2) wird somit als erreicht betrachtet. Unterstützt wird diese These durch die Tatsache, dass vier der sieben Studierenden anschließend Abschlussarbeiten in der Arbeitsgruppe der Dozierenden und zwei weitere Studierende in einer anderen Arbeitsgruppe, die sich mit einem ähnlichen Fachbereich beschäftigt, geschrieben haben. Wenngleich beachtet werden muss, dass die Studierenden bereits vorher ein gesteigertes Interesse an dem Fachgebiet hatten, vgl. Frage 1.

Neben dem Eindruck der Dozierenden während der Durchführung zeigen auch die Antworten der Studierenden auf Frage 13, dass die Studierenden zumindest ein Stück weit in die Lage versetzt wurden, das Wissen aus der Vorlesung mit den Inhalten wissenschaftlicher Publikationen zu verknüpfen und somit Fortschritt bei Projektziel (1.ii) erzielt wurde.

Eine weitere wichtige Beobachtung ist, dass die Studierenden eingeschätzt haben, dass der umstrukturierte Übungsbetrieb ihren Lernzuwachs verstärkt hat, und der Meinung waren, dass die trainierten Kompetenzen hilfreich für ihre weiteren Karrieren sind, siehe Fragen 4-6.

Außerdem zeigen die Evaluationsergebnisse eine breite Zustimmung und positive Bewertung für die getroffenen Umstrukturierungen und die Rolle der Dozierenden in diesem Rahmen.

Sowohl das persönliche Gespräch mit den Studierenden, die Evaluation, siehe Fragen 7, 8 und 41, und auch die Beobachtungen der Dozierenden haben aber auch gezeigt, dass bei einem solchen Übungsbetrieb der resultierende Zeitaufwand für die Studierenden problematisch ist. Dies entspricht der vorangegangenen Vermutung im Abschnitt „Risikoanalyse“.

Verbesserungsvorschläge

Die Beobachtungen bei der Durchführung legen nahe, dass bei einer erneuten Durchführung des hier beschriebenen Formats ein paar Veränderungen gemacht werden sollten. Zunächst muss der Arbeitsumfang für die einzelnen Projekte reduziert werden. Zudem muss das Zeitmanagement in den Tutorien verbessert und idealerweise zusätzlich mehr Zeit für die Tutorien bereitgestellt werden. Dies dient insbesondere dem Zweck, den Studierenden mehr Feedback geben zu können. Außerdem sollte der Bezug zu den Inhalten der Vorlesungen

wieder verstärkt werden. Darüber hinaus sollte ein Bewertungsraster entwickelt werden, um die Ansprüche an die Studierenden transparenter zu machen, die Bewertung zu formalisieren und Peer Feedback zu erleichtern.

Ausblick und Empfehlungen für andere Lehrveranstaltungen

Wie die obige Diskussion der Ergebnisse zeigt, wurden die gesetzten Projektziele aus Sicht des Autors im Wesentlichen erreicht. Der Meinung des Autors nach stellt das präsentierte Projekt ein erfolgreiches Beispiel für Forschendes Lernen dar und kann als Inspiration für andere Lehrveranstaltungen dienen. Dabei eignet sich das hier beschriebene Format primär für fortgeschrittene Veranstaltungen, die eine effektive Verknüpfung der Vorlesungsinhalte mit Forschungsthemen erlauben. Während die spezifische Umsetzung ähnlicher Projekte an die Gegebenheit des entsprechenden Fachbereichs angepasst werden muss, können dabei zwei Aspekte als Leitmotive dienen. Das erste Leitmotiv ist, dass die Studierenden aktiv mit Forschungsliteratur arbeiten. Aktiv meint in diesem Fall, dass die Studierenden die Literatur nicht nur lesen oder präsentieren, sondern diese als Grundlage nutzen, um selbst eine Forschungstätigkeit durchzuführen. Das zweite Leitmotiv ist, dass die Dozierenden mit den Studierenden so umgehen als wären diese, ggf. weniger erfahrene, Kolleg*innen und ihnen dementsprechend Feedback und Freiräume geben. Dieser Aspekt kann auch gezielt umfassen, dass die Dozierenden keine Musterlösungen o. ä. haben. Zuletzt sollten die identifizierten Verbesserungsvorschläge berücksichtigt werden.

Um die Qualitätsverbesserung der Lehre durch den Einsatz von Projekten, wie sie hier beschrieben wurden, langfristig und auch in anderen Veranstaltungen zu sichern, gilt es jedoch auch ein paar Herausforderungen zu bewältigen. Der Betreuungsaufwand ist größer im Vergleich zu klassischen Formaten. Daher werden bei Veranstaltungen mit höheren Teilnehmerzahlen womöglich mehr Dozierenden und Hilfwissenschaftler*innen benötigt als entsprechende finanzielle Mittel vorhanden sind. Außerdem müssen die Hilfwissenschaftler*innen bereits sehr erfahren sein, was das Finden von Hilfwissenschaftler*innen erschweren kann. Da die Konzeption der einzelnen Projekte herausfordernd für die Dozierenden ist, ist es empfehlenswert, dass bereits konzipierte und durchgeführte Projekte sorgfältig archiviert werden, sodass über die nächsten Jahre eine Sammlung an Projektvorschlägen aufgebaut werden kann, die später dazu beitragen kann, den Arbeitsaufwand für die Dozierenden zu reduzieren. Schließlich ist es eine Idee, zu überlegen, ob Vorlesungen und Seminare durch Projekte, wie die hier beschriebenen, gekoppelt werden können.

Bibliographie

- ANDERSSON, J. A. E., GILLIS, J., HORN, G., RAWLINGS, J. B., DIEHL, M. 2019. „CasADi: a software framework for nonlinear optimization and optimal control“, in: *Mathematical Programming Computation*, 11:1, S. 1–36.
- BIGGS, J., TANG, C. 2011. *Teaching for Quality Learning*. 4th edition. Maidenhead, England; New York, NY: McGraw-Hill Society for Research into Higher Education & Open University Press.
- BOCK, H. G., PLITT, K.-J. 1984. „A multiple shooting algorithm for direct solution of optimal control problems“, in: *IFAC Proceedings Volumes*, 17:2, S. 1603–1608.
- BOYD, S. 2003. „EE392o Projects“ (https://web.stanford.edu/class/ee392o/project_guideline.pdf); Zugriff: 06. März 2023).
- DE SHAZER, S. 1994. *Words were originally magic*. New York: Norton.
- DECI, E. L., RYAN, R. M. 2000. „The 'what' and 'why' of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior“, in: *Psychological Inquiry*, 11:4, S. 227–268.
- DECI, E. L., RYAN, R. M. 2008. „Self-determination theory: a macrotheory of human motivation, development, and health“, in: *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 49:3, S. 182–185.
- DIEHL, M., BOCK, H. G., SCHLÖDER, J. P., FINDEISEN, R., NAGY, Z., ALLGÖWER, F. 2002. „Real-time optimization and nonlinear model predictive control of processes governed by differential-algebraic equations“, in: *Journal of Process Control*, 12:4, S. 577–585.
- DIEHL, M., MESSERER, F. 2019. „Guidelines for the Numerical Optimization Project“ (https://www.syscop.de/files/users/florian.messerer/WS19-NO/proj_guide.pdf); Zugriff: 06. März 2023).
- DRUCKER, P. F. 1954. *The Practice of Management*. New York: Harper Business.
- FERREAU, H. J., BOCK, H. G., DIEHL, M. 2008. „An online active set strategy to overcome the limitations of explicit MPC“, in: *International Journal of Robust and Nonlinear Control: IFAC-Affiliated Journal*, 18:8, S. 816–830.
- GERDTS, M. 2005. „Solving mixed-integer optimal control problems by branch & bound: a case study from automobile test-driving with gear shift“, in: *Optimal Control Applications and Methods*, 26:1, S. 1–18.
- GESS, C., DEICKE, W., WESSELS, I. 2017. „Kompetenzentwicklung durch Forschendes Lernen“, in: MIEG, H., LEHMANN, J. (Hg.) *Forschendes Lernen: Wie die Lehre in Universität und Fachhochschule erneuert werden kann*. Frankfurt: Campus Verlag, S. 79–90.

- HUBER, L. 2009. „Warum Forschendes Lernen nötig und möglich ist“, in: HUBER, L., HELLMER, J., SCHNEIDER, F. (Hg.) *Forschendes Lernen im Studium. Aktuelle Konzepte und Erfahrungen*. Bielefeld: UVW UniversitätsVerlagWebler, S. 9–35.
- KÖRKELE, S., KOSTINA, E. A., BOCK, H. G., SCHLÖDER, J. P. 2004. „Numerical methods for optimal control problems in design of robust optimal experiments for nonlinear dynamic processes“, in: *Optimization Methods and Software*, 19:3–4, S. 327–338.
- PARTICIFY. 2023. *Particify*. (<https://particify.de/en/>; Zugriff: 19. Juni 2023).
- ROGERS, C. R. 2002. „The interpersonal relationship in the facilitation of learning“, in: HARRISON, R., REEVE, F., HANSON, A., CLARKE, J. (Hg.) *Supporting lifelong learning, Volume 1 Perspectives on learning*. London: Routledge Falmer, S. 25–39.
- RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG. 2020. „Leitbild Lehre“ (<https://backend.uni-heidelberg.de/de/dokumente/leitbild-lehre/download>; Zugriff: 19. Juni 2023).
- RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG, FAKULTÄT FÜR MATHEMATIK UND INFORMATIK. 2022a. „Prüfungsordnung der Universität Heidelberg für den Bachelorstudiengang Mathematik“ (https://wiki.mathinf.uni-heidelberg.de/sites/default/files/2022-10/Mathematik_BSc_PO_2022-10-05_LeseF.pdf; Zugriff: 16. Juni 2023).
- RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG, FAKULTÄT FÜR MATHEMATIK UND INFORMATIK. 2022b. „Prüfungsordnung der Universität Heidelberg für den Masterstudiengang Mathematik“ (https://wiki.mathinf.uni-heidelberg.de/sites/default/files/2022-10/Mathematik_MSc_PO_2022-10-05_LeseF.pdf; Zugriff: 16. Juni 2023).
- RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT HEIDELBERG, FAKULTÄT FÜR MATHEMATIK UND INFORMATIK. 2023. „Modulhandbuch Masterstudiengang ‚Mathematik‘“ (https://wiki.mathinf.uni-heidelberg.de/sites/default/files/2023-02/MHB_Mathematik_MSc_WS2022.pdf; Zugriff: 16. Juni 2023).
- RYAN, R. M., DECI, E. L. 2000. „Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being“, in: *American Psychologist*, 55:1, S. 68–78.
- WISSENSCHAFTSRAT. 2006. *Empfehlungen zur künftigen Rolle der Universitäten im Wissenschaftssystem* (Drs. 7067-06). Berlin.

Ihno Schrot ist Doktorand am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) an der Universität Heidelberg. Er forscht an der Modellierung, Optimierung und Regelung vernetzter Fahrzeuge und Fahrzeugflotten mit heterogenen Antriebstechnologien in Echtzeit. Für ihn ist es ein wesentlicher Kern guter Lehre in der Mathematik, einen Rahmen zu schaffen, der es den Studierenden erlaubt, ihre Begeisterung für die vielfältigen Möglichkeiten und die Schönheit der Mathematik (wieder) zu entdecken.

Ihno Schrot
ihno.schrot@uni-heidelberg.de

Anhang

Nr.	Frage	Extremely	Quite	Moderately	Slightly	Not at all
1	How much were you interested in the topic of the course BEFORE attending it?	2	4	1	0	0
	Aussage	Strongly agree	Somewhat agree	Neither agree or disagree	Somewhat disagree	Strongly disagree
2	The projects increased my interest and motivation for this course.	6	1	0	0	0
3	The projects made the course more enjoyable.	5	2	0	0	0
4	My overall learning gains are high.	5	0	2	0	0
5	I think my learning gains were higher than they would have been with usual exercises.	4	1	1	1	0
6	I think the non-mathematical skills I have learned during the projects will benefit me in my further career.	6	1	0	0	0
	Frage	Very high	Somewhat high	Average	Somewhat low	Very low
7	In comparison to other courses, my workload for this ENTIRE course is:	3	3	1	0	0
8	In comparison to the exercises of other courses, my workload for the projects of this course is:	4	3	0	0	0

Tabelle 1
 Evaluationsergebnisse – Allgemeines

Nr.	Aussage	Strongly agree	Somewhat agree	Neither agree or disagree	Somewhat disagree	Strongly disagree
9	I enjoyed working on the projects.	4	2	1	0	0
10	I enjoyed reading re- search papers for the pro- ject.	3	1	2	1	0
11	I would have prefered that the programming ex- ercises were less research related but rather didacti- cal exercises.	0	1	0	4	2
12	The project descriptions were understandable and made clear what I had to do.	6	1	0	0	0
13	The provided papers helped me to understand the topics of the projects.	2	3	2	0	0
14	The lecture helped me to understand the topics of the projects.	1	1	3	1	1
15	The tutorial and the input of the tutors helped me to understand the topics of the projects.	6	1	0	0	0
16	The students' questions and concerns are taken into consideration in the course of the projects.	6	1	0	0	0
	Aussage	too high	a little bit too high	fair	a little bit too easy	too easy
17	The mathematical diffi- culty of the projects was	0	0	6	1	0
18	The programming diffi- culty of the projects was	0	2	5	0	0
	Aussage	only theo- retical ex- ercises and no projects	mostly theoretical exercises and only few pro- gram- ming ex- ercises	the same amount of theo- reti- cal and pro- gram- ming ex- ercises	mostly pro- gram- ming ex- ercises and only few theo- retical ex- ercises	only pro- jects (as was the case)
19	I would have liked to have...	0	0	1	3	3

Tabelle 2

Evaluationsergebnisse – Übungsbetrieb

Nr.	Aussage	Strongly agree	Somewhat agree	Neither agree or disagree	Somewhat disagree	Strongly disagree
20	I enjoyed the fact that I was able to work on a self-designed final project if I liked to.	4	0	1	0	0
21	If you worked on the Neurogenesis project: I enjoyed working on this project.	2	2	2	0	0
22	If you worked on the Neurogenesis project: I liked the fact that it was an actual research problem even though this implied additional difficulties.	4	1	1	0	0

Tabelle 3
 Evaluationsergebnisse – Abschlussprojekte

Frage 23: If you worked on the Neurogenesis project: What were the main reasons why you decided to do this project and not design your own project?

Freitextantworten:

- Because there was an exercise description, so it was clear what we should do
- I think it is hard to estimate difficulties in a self designed project beforehand and so it is hard to come up with something that has difficulties but will eventually work. Also it takes time to design an own project, and time is often sparse at the end of the semester.
- Because I feared that my own project would be too easy/too challenging and that Neurogenesis I get better support since other people are understand the topic better
- The possibility to work on an actual research project
- Project discription and a resarch problem

Nr.	Aussage	Strongly agree	Somewhat agree	Neither agree or disagree	Somewhat disagree	Strongly disagree
24	I enjoyed the format of the tutorial.	5	1	1	0	0
25	I have learned new things in the tutorial beyond what I needed to complete the projects.	1	5	1	0	0
26	I was able to learn something even if issues of other groups were discussed.	1	4	2	0	0
27	I feel comfortable in the tutorial.	6	1	0	0	0
	Aussage	Always	Often	Sometimes	Rarely	Never
28	My issues could be solved directly DURING the tutorial.	1	5	1	0	0
29	The input I got in the tutorials helped me to solve my issues with the projects.	5	2	0	0	0
	Aussage	Too high	A bit too high	Well balanced	A bit too low	Too low
30	In my opinion, the interactive part of the tutorial is ...	0	0	6	0	0
	Aussage	More by my fellow students	A little bit more by my fellow students	As it was	A little bit more by the tutors	More by the tutors
31	I would have preferred to get input regarding my issues in the tutorial...	0	0	7	0	0

Tabelle 4
Evaluationsergebnisse – Tutorien

Nr.	Aussage	Strongly agree	Somewhat agree	Neither agree or disagree	So-mewhat disagree	Strongly disagree
32	The tutor structured and moderated the tutorial well.	7	1	0	0	0
33	The tutor speaks clearly and loud.	7	0	0	0	0
34	The tutor is respectful towards students.	7	0	0	0	0
35	The tutor answers questions well.	5	2	0	0	0
36	The tutor is supportive.	7	0	0	0	0
37	The tutor motivates me.	5	2	0	0	0
38	The tutor is well prepared.	6	1	0	0	0

Tabelle 5
 Evaluationsergebnisse – Dozierende

Evaluationsergebnisse – Feedback:

Frage 39: What did you especially like about the projects and the final project?

Freitextantworten:

- To be able to get new coding skills and to learn to work on longer tasks, because normal exercise sheet tasks can often be done in an hour
- Learning better to code
- There were cool topics (car, pendulum etc.) and at the same time also mathematical knowledge needed
- That the projects were to different topics and that we were free how to solve it (there was no template or something like that)
- Interdisciplinarity, the fact that some of them are still open problems, the level of complexity which I find closely related to what one can do in the industry. The fact that I can transfer my knowledge to many other domains.
- working with real data/ being able to be creative in an ongoing project

Frage 40: What did you especially like about the tutorial?

Freitextantworten:

- The small group in the small room with round table
- The chance to discuss with one another
- The close interaction, easy communication, the positive and constructive perspective of everyone involved. No competition but a collaborative environment.
- Nice atmosphere and often timed it helped a lot for the projects
- The chill atmosphere and the discussions amongst all
- The possibility to ask questions and the input if we did not know how to continue

Frage 41: What did you NOT like about the projects and the final projects?

Freitextantworten:

- It was sometimes a little bit too much to do, especially for the second project we needed very much time
- Overload of the projects
- I can't name a thing that I didn't like.
- Sometimes they weren't too much related to the current lecture and only a few aspects of the lecture were needed, this sometimes led me to not think much about the math parts of the lecture when time got sparse, because it was often not necessary to do the tasks
- In the semester we had not enough time/motivation to prepare the presentations
- Synthetic data was questionable and data seems incomplete. Project seemed impossible to 'solve'

Frage 42: What did you NOT like about the tutorial?

Freitextantworten:

- The first tutorial for a specific project often was not too helpful, because it takes time to read into the topic and come to first difficulties, but in the end there were some many things to discuss, that we barely had time to talk about all of them
- Sometimes at the start of the semester we lost ourselves in details
- I can't name a thing that I didn't like.
- Sometimes it got a little long (timewise)
- The timeslot

Frage 43: If you have any further feedback for us, please provide it here.

Freitextantworten:

- [...] It was by far the most enjoyable course in the last semesters (ignoring the lecture)
- Very great course, much better than normal exercises and a written exam in the end. My only suggestion for improvement would be a Casadi introduction in the first tutorial because in the beginning it was very confusing
- Last semester I thought that "Optimization for ODE1" was the best/most useful course I've taken as a student in Heidelberg. Now I think that "Optimization for ODE2" was better! The only thing that didn't change is my opinion of the tutors. It is a pity that not so many tutors are like you :)
- Keep on working the way you do with students, it was very nice being treated as equals even though we had much less knowledge, I often times looked forwards to the tutorial because I liked the tutors and the atmosphere.