



Lessons

Learned

*Spin Offs digitaler
Lehrerfahrungen*



Über das Journal

Durch die plötzlichen und gewaltigen Einschränkungen in der Präsenzlehre, die beginnend mit dem Sommersemester 2020 durch die Corona Pandemie herbeigeführt wurden, hat sich eine nie dagewesene Veränderung und Erneuerung von Lehrformaten ergeben. Auch wenn diese Veränderungen durch die Einschränkungen aufgrund der Pandemie erzwungen wurden, sind die Erfahrungen und Konzepte, die entwickelt wurden, für eine Erneuerung des Lehrbetriebs hin zu modernen, digital unterstützten Lehr- und Lernformen und zu einem stärker kompetenzorientierten Lernen von enormem Wert. Zu Beginn des Wintersemesters 2020/21 wurde an der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden eine Konferenz unter dem Titel „Lessons Learned - Spin Offs eines digitalen Semesters“ durchgeführt, in der über den Austausch von Erfahrungen diese Erneuerung unterstützt werden sollte. Aus dieser ersten Konferenz ist eine Konferenzreihe entstanden und gleichzeitig wurde das Journal „Lessons Learned“ ins Leben gerufen. Das Ziel dieses Journals ist es, neue Lehr- und Lernformen nicht nur in den mathematisch naturwissenschaftlichen und technikwissenschaftlichen Fächern, sondern weit darüber hinaus in allen Fachdisziplinen zu diskutieren und damit eine Plattform zu schaffen, auf der Lehrende sich über neue Konzepte informieren und diese für ihre eigene Lehre adaptieren können.

Das Journal erscheint bewusst zweisprachig, um sowohl einem internationalen Publikum die gemachten Erfahrungen zugänglich zu machen, als auch dafür zu sorgen, dass die verknüpften Beispiele von einem Text in der Lehrsprache, in der sie produziert wurden, begleitet werden. Für die Autoren bedeutet dies keinen zusätzlichen Arbeitsaufwand, da Artikel entweder in deutscher oder in englischer Sprache eingereicht werden können. Nach erfolgter Akzeptanz eines Artikels wird dieser seitens des Journals in die jeweils andere Sprache übersetzt, womit die Autoren nur noch eine Korrekturlesung des übersetzten Artikels durchführen müssen.

Editorial Board

Managing Editor

Prof. Dr. Stefan Odenbach, TU Dresden

Editorial Board

Prof. Dr. Lana Ivanjek, TU Dresden

Prof. Dr. Hans Kuerten, TU Eindhoven

Prof. Dr. Alexander Lasch, TU Dresden

Prof. Dr. Andreas Schadschneider,
Universität zu Köln

Prof. Dr. Eric Schoop, TU Dresden

Prof. Dr. Christiane Thomas, TU Dresden

Impressum

ISSN:

2749-1293

Herausgeber:

Fakultät Maschinenwesen, TU Dresden,
Dresden

Kontakt:

Prof. Dr. Stefan Odenbach

c/o Fakultät Maschinenwesen

Magnetofluidynamik, Mess- und

Automatisierungstechnik

George-Bähr-Str. 3

01069 Dresden

Mit der vorliegenden Ausgabe, Volume 5, Issue 1, erscheint **Lessons Learned** eigentlich später als ursprünglich geplant. Dieser Umstand ist jedoch weniger bedeutsam, als er es in früheren Jahren gewesen wäre. Denn mit der konsequenten Umstellung auf ein **Online-First-Publikationsmodell** haben wir einen wichtigen Schritt vollzogen, der den zeitlichen Fokus von der gebündelten Heftveröffentlichung auf die einzelne wissenschaftliche Arbeit verlagert.

Online First bedeutet vor allem eines: **Vorteile für unsere Autorinnen und Autoren**. Beiträge werden nach erfolgreichem Review und Abschluss der redaktionellen Arbeiten unmittelbar veröffentlicht, sind zitierfähig und sichtbar, ohne auf die Fertigstellung eines gesamten Heftes warten zu müssen. Forschungsergebnisse gelangen so schneller in den wissenschaftlichen Diskurs, was sowohl der Reichweite als auch der Aktualität der Beiträge zugutekommt. Das vollständige Volume entsteht anschließend organisch – dann, wenn alle zugehörigen Artikel erschienen sind.

Vor diesem Hintergrund ist auch das spätere Erscheinen dieses Volumes kein Nachteil, sondern vielmehr Ausdruck eines flexibleren und autorenfreundlicheren Publikationsprozesses. **Lessons Learned** erscheint damit nicht mehr zu einem festen Stichtag, sondern zu dem Zeitpunkt, an dem ein Heft inhaltlich vollständig ist.

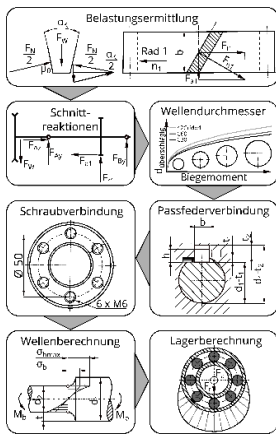
Besonders erfreulich ist in diesem Zusammenhang eine **wichtige Neuerung für die Sichtbarkeit der Zeitschrift**: **Lessons Learned** wurde kürzlich in das **Directory of Open Access Journals (DOAJ)** aufgenommen. Diese Aufnahme stellt eine Anerkennung unserer redaktionellen Standards, der Transparenz unserer Prozesse und unseres klaren Bekenntnisses zu Open Access dar. Für Autorinnen und Autoren bedeutet dies eine erhöhte internationale Auffindbarkeit und zusätzliche Qualitätssicherung durch ein anerkanntes Verzeichnis wissenschaftlicher Open-Access-Zeitschriften.

Gleichzeitig richten wir den Blick bereits nach vorn. Das nächste Heft, Volume 5, Issue 2, wird in den kommenden Tagen angelegt und online gehen. Es handelt sich dabei um das **erste thematische Sonderheft** von **Lessons Learned** – ein Schritt, mit dem wir gezielt Raum für fokussierte wissenschaftliche Diskussionen schaffen möchten. Auch dieses Volume wird vollständig im Online-First-Modus erscheinen und sich schrittweise mit Beiträgen füllen.

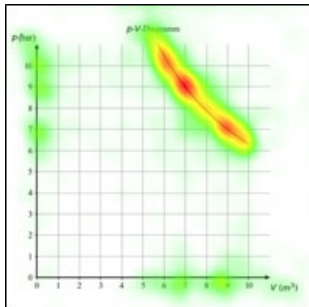
Wir danken allen Autorinnen und Autoren, Gutachterinnen und Gutachtern sowie Leserinnen und Lesern für ihr Vertrauen und ihre Unterstützung. Mit den aktuellen Entwicklungen sehen wir **Lessons Learned** gut aufgestellt, um auch künftig ein offenes, sichtbares und zeitgemäßes Forum für wissenschaftliche Erkenntnisse und reflektierte Erfahrungen zu bieten.

Stefan Odenbach

Themenspektrum



Auch in dieser Ausgabe haben wir ein breites Themenspektrum von der Nutzung von ChatGPT – einem Thema, das uns immer intensiver im Lehrbetrieb trifft -, über den Aufbau studentischer Arbeitsgruppen bis hin zur quantitativen Erfassung von Blickmustern zur Ermittlung von Aufmerksamkeitseinflüssen.



A. R. Sprenger, A. M. Menzel

Versuch der Integration von ChatGPT in den Übungsbetrieb der Theoretischen Physik

T. Schulze, J. Weber, B. Beck, J. Weber

Erfahrungen aus dem Aufbau einer studentischen Arbeitsgruppe

L. Eggerichs, H. J. Schmidt

Konzeption eines Experimentallabors zur digitalen und flexiblen Gestaltung forschungsorientierter Lehre

T. Rosenlöcher, B. Schlecht

Beleg zur Auslegung und Konstruktion einer Getriebewelle

P. Fehlinger, S. Becker-Genschow, B. Watzka

Blickmuster: Untersuchung von Strategien beim Umgang mit indirekt proportionalen Funktionsgraphen im thermodynamischen Kontext



Versuch der Integration von ChatGPT in den Übungsbetrieb der Theoretischen Physik

A. R. Sprenger, A. M. Menzel*

Theorie der Weichen Materie / Biophysik, Institut für Physik, Fakultät für Naturwissenschaften, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg

Abstract

Die Integration von künstlicher Intelligenz (KI) in Forschung und Lehre an Universitäten eröffnet neue Wege für den Zugang zu und den Erwerb von inhaltlichem und methodischem Wissen sowie für die Bewältigung akademischer Arbeit. Wir untersuchen den Einsatz von ChatGPT, einem KI-gestützten Chatbot, im Kontext des Physikstudiums. Speziell konzentrieren wir uns auf Erfahrungen im Übungsbetrieb zur Physik-Bachelor-Grundvorlesung Theoretische Mechanik. Auch weitergehende Aspekte werden erfasst. Unser Ansatz beinhaltet die Einbindung von zusätzlichen, vorlesungsbegleitenden Übungsaufgaben, um den Studierenden das Potenzial sowie die aktuellen Limitationen von ChatGPT in der frei verfügbaren Version zu verdeutlichen. Hierfür setzten wir zwei verschiedene Arten von Aufgaben ein. Einerseits war dies die Verwendung von ChatGPT zur Lösung rechnerischer Übungsaufgaben, andererseits die Nutzung des Chatbots für konzeptionelle Erklärungen physikalischer Phänomene, Definitionen und Alltagsbeispiele. Zusätzlich führten wir eine Online-Umfrage unter den Studierenden durch. Die Ergebnisse zeigen, dass die Studierenden die Bereitstellung von konzeptionellen Erklärungen und Beispielen durch ChatGPT als hilfreich empfanden. Allerdings wurde die Unterstützung bei rechnerischen Aufgaben in der zu diesem Zeitpunkt frei verfügbaren Version von ChatGPT als unzuverlässig und schwach empfunden. Unser Ansatz trägt zur Diskussion über den sinnvollen Einsatz von KI-Technologien in der universitären Lehre bei und liefert Einblicke in die Wahrnehmung und Nutzung dieser Technologien durch Studierende.

Integrating artificial intelligence (AI) at universities opens up new avenues for accessing and acquiring contents and methodological knowledge, as well as for managing academic work. We investigate the use of ChatGPT, an AI-powered chatbot, in the context of physics studies. Specifically, we focus on experiences in the exercise course for the introductory lecture on Theoretical Mechanics in the Physics Bachelor study program. Aspects beyond this course are addressed as well. Our approach includes additional exercises supporting the lectures that illustrate to students the potential and current limitations of ChatGPT in its freely available version. For this purpose, we used two different types of tasks. On the one hand, this involved using ChatGPT to solve computational exercises, and on the other hand, utilizing the chatbot for conceptual explanations of physical phenomena, definitions, and everyday examples. Additionally, we conducted an online survey among the students. The results show that students found the provision of conceptual explanations and examples by ChatGPT to be helpful. However, the support for computational tasks in the freely available version of ChatGPT at that time was perceived as unreliable and weak. Our framework contributes to the discussion on the meaningful use of AI technologies in university teaching and provides insights into students' perceptions and use of these technologies.

*Corresponding author: a.menzel@ovgu.de

1. Einleitung

Die Entwicklung von KI-gestützten Chatbots markiert einen bedeutenden technologischen Meilenstein. Als OpenAI am 30. November 2022 ihren Chatbot, ChatGPT, kostenfrei für die Öffentlichkeit freigab, registrierten sich innerhalb von wenigen Tagen weltweit eine Million Nutzer:innen. Seit seiner Einführung ist eine bemerkenswerte Transformation in verschiedenen Bereichen unserer Gesellschaft zu spüren, darunter auch im Bildungswesen. KI-gestützte Chatbots haben das Potenzial, den Lehr- und Lernprozess zu unterstützen und zu verbessern.

An den Universitäten, speziell im Lehr- und Lernbetrieb, birgt die Integration solcher Technologien sowohl großes Potenzial als auch einige Herausforderungen. Einerseits ermöglicht der Einsatz von ChatGPT den Studierenden einen neuen Zugang zu Wissen, sowohl inhaltlichem als auch methodischem, und erleichtert die Bewältigung akademischer Aufgaben durch sofortige Verfügbarkeit von Informationen und Erklärungen. Andererseits gibt es auch Risiken, wie die Möglichkeit der Abhängigkeit von der Technologie und die Gefahr der Verbreitung von ungenauen oder gar falschen Informationen. Die Physik, und hier insbesondere die Theoretische Physik, verwendet zur quantitativen Beschreibung der Inhalte mathematische Ausdrücke. Es stellt sich die Frage, inwieweit dies durch ChatGPT aktuell abbildbar ist.

Unser Ansatz bei ersten Versuchen der Integration von ChatGPT in den Lehr- und Lernbetrieb des Studiums der Theoretischen Physik umfasst die Einbindung des Chatbots in zusätzliche, vorlesungsbegleitende Übungsaufgaben. Wir zielen darauf ab, den Studierenden sowohl das Potenzial als auch die Grenzen dieser Technologie in ihrem zum Zeitpunkt der Verwendung aktuellen Zustand zu verdeutlichen. Dazu setzen wir zwei Arten von Übungsaufgaben ein. Zum einen soll ChatGPT zur Lösung rechnerischer Übungsaufgaben verwendet werden. Zum anderen sollen mit Hilfe des Chatbots konzeptionelle Erklärungen physikalischer Phänomene, Definitionen und Alltagsbeispiele gefunden werden.

Der Aufbau dieses Artikels ist wie folgt. Zuerst erläutern wir detailliert, wie ChatGPT in den Übungsaufgaben integriert wurde und welche verschiedenen Aufgabentypen gestellt wurden. Danach präsentieren wir die Ergebnisse einer Online-Umfrage, die unter den Studierenden durchgeführt wurde, um ihre Erfahrungen und Wahrnehmungen bezüglich der Nutzung von ChatGPT zu evaluieren. Abschließend fassen wir zusammen und ziehen Schlussfolgerungen über die Effektivität und die Herausforderungen der Nutzung von ChatGPT im Physikstudium. Letztlich geben wir noch einen Ausblick über mögliche zukünftige Entwicklungen und Verbesserungen bei der Integration KI-basierter Technologien im von uns beschriebenen Rahmen.

2. Nutzung von ChatGPT im Studium der Theoretischen Physik

Wir untersuchen den Einsatz von ChatGPT, einem KI-gestützten Chatbot, im Kontext des Physikstudiums, speziell im Bereich der Theoretischen Physik. Unser Ansatz umfasst die Integration von vorlesungsbegleitenden Übungsaufgaben, um den Studierenden sowohl das Potenzial als auch die Grenzen von ChatGPT in der zum Berichtzeitpunkt frei zugänglichen Version aufzuzeigen. Unsere Erfahrungen sammelten wir während der Vorlesung zur Theoretischen Mechanik im Wintersemester 2023/2024. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Studierenden kostenfreien Zugang zu ChatGPT in der Version GPT-3.5 [1]. Eine Registrierung der Studierenden bei ChatGPT wurde von uns nicht verlangt. Die Lehrveranstaltung zur Theoretischen Mechanik, auf die wir uns beziehen, ist Teil des Bachelorstudiengangs Physik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg [2] und hierbei eine Pflichtveranstaltung im dritten Semester.

In der Vorlesung (vier Semesterwochenstunden) werden die Grundlagen der Theoretischen Mechanik erarbeitet. Die Lehrinhalte und zugehörigen Rechentechniken werden hier schrittweise entwickelt und vermittelt. Ein wesentlicher Bestandteil der Veranstaltungen ist der begleitende Übungsbetrieb. Dort lernen und trainieren die Studierenden, komplexe Berechnungen eigenständig durchzuführen. Jede

Woche erhalten die Studierenden ein Aufgabenblatt mit vier Rechenaufgaben, das nach Online-Abgabe in Teilen korrigiert und bewertet wird. Für die Abgabe der Lösungen zu den Übungsaufgaben und deren Korrektur nutzen wir ein digitales Verfahren per E-Learning-Plattform [3]. Die Besprechung findet in Präsenz statt. In der zugehörigen Veranstaltung (zwei Semesterwochenstunden) werden die Lösungen zu den Aufgaben des jeweiligen Aufgabenblatts vollständig besprochen.

Zusätzlich zu den beschriebenen, regulären analytischen Rechenaufgaben fügten wir als Versuch auf jedem Aufgabenblatt eine kurze, fünfte ChatGPT-Aufgabe hinzu. In dieser wurde entweder auf die aktuellen Rechenaufgaben oder die aktuellen Vorlesungsinhalte Bezug genommen. Dabei setzten wir zwei Arten von Aufgaben ein. Einerseits sollten die Studierenden einfache Rechenaufgaben mit Vorlesungsbezug zunächst eigenständig und anschließend mit Hilfe von ChatGPT lösen. Andererseits sollten sie den Chatbot nutzen, um konzeptionelle Erklärungen physikalischer Phänomene, Definitionen und Alltagsbeispiele zu erhalten. Um dem Ergebnis kurz vorwegzugreifen: Während der Chatbot zuverlässige Erklärungen zu physikalischen Phänomenen und Konzepten liefern kann, traten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben im beschriebenen Rahmen in der zum Berichtzeitpunkt frei verfügbaren Version regelmäßig Fehler auf. Begründungen waren ungenau und Missverständnisse kaum vermeidbar. Stellenweise war es sehr schwierig bis praktisch unmöglich, auch bei intensiverer Auseinandersetzung und Hilfestellung korrekte Rechenlösungen zu erhalten. Die Bearbeitung der ChatGPT-Übungsaufgaben erfolgte auf freiwilliger Basis und floss nicht in die Bewertung der Leistungen der Studierenden im entsprechenden Modul ein.

Im Folgenden stellen wir die beiden verwendeten Aufgabentypen exemplarisch durch Beispiele gestellter Übungsaufgaben vor. Anhand der Ausgabe des Chatbots wird die Funktionalität in diesem Kontext diskutiert.

Wir starten mit einer exemplarischen Rechenaufgabe. Die ChatGPT-Übungsaufgabe nimmt Bezug auf eine zunächst durch konventionelle, analytische Rechnung (zum Beispiel mit Papier

und Bleistift) zu lösende Aufgabe auf dem ersten Übungsblatt. Wir reproduzieren im Folgenden zunächst die **konventionelle Rechenaufgabe** im Wortlaut und dann die darauf bezugnehmende **ChatGPT-Aufgabe** im Wortlaut. Anschließend fügen wir eine typische **Nutzer:innen-Eingabe** ein, um die Lösung zu dieser Aufgabe mittels ChatGPT zu erhalten. Wir reproduzieren die **Chatbot-Ausgabe**. Danach ordnen wir das Ergebnis unter **Fazit/Kritik** ein.

Konventionelle Rechenaufgabe 4(d) im Wortlaut: Nutzen Sie die Indexnotation (inklusive Einsteinscher Summenkonvention) und den total antisymmetrischen Tensor 3. Stufe mit den Komponenten ε_{ijk} , um den folgenden Ausdruck zu berechnen:

$$\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{a}) \quad (1)$$

Zugehörige ChatGPT-Aufgabe im Wortlaut: Versuchen Sie, ChatGPT die Berechnung von Aufgabe 4(d) zu entlocken. Prüfen Sie anschließend die Rechnung. Laden Sie bitte Ihren Chat-Verlauf zur Lösung von Aufgabe 4(d) zusammen mit der Lösung des Übungsblattes im E-Learning-Portal hoch.

Nutzer:innen-Eingabe: Bitte berechne und vereinfache $\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{a})$ mit Einsteinscher Summenkonvention.

Chatbot-Ausgabe: Um den Ausdruck $\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{a})$ unter Verwendung der Einsteinschen Summenkonvention zu berechnen und zu vereinfachen, gehen wir wie folgt vor: Zuerst nutzen wir die Identität für das Kreuzprodukt in Vektorform:

$$(\vec{b} \times \vec{a}) = \varepsilon_{ijk} b^j a^k \hat{e}_i \quad (1)$$

Hierbei ist ε_{ijk} das Levi-Civita-Symbol und \hat{e}_i sind die Einheitsvektoren. Nun multiplizieren wir \vec{a} mit dem Ergebnis des Kreuzprodukts:

$$\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{a}) = a^i (\vec{b} \times \vec{a})_i \quad (2)$$

Setzen wir das Kreuzprodukt ein:

$$(\vec{b} \times \vec{a})_i = \varepsilon_{ijk} b^j a^k \quad (3)$$

Dann erhalten wir:

$$\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{a}) = a^i \varepsilon_{ijk} b^j a^k \quad (4)$$

Da ε_{ijk} antisymmetrisch ist (d.h. $\varepsilon_{ijk} = -\varepsilon_{ikj}$), können wir umordnen:

$$\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{a}) = \varepsilon_{ijk} a^i a^k b^j \quad (5)$$

Jetzt verwenden wir die Einsteinsche Summenkonvention, um über i und k zu summieren:

$$\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{a}) = \varepsilon_{ijk} a^i a^k b^j = a^i a^k \varepsilon_{ijk} b^j \quad (6)$$

Da $\varepsilon_{ijk} a^i a^k = 0$ (weil ε_{ijk} nur dann nicht null ist, wenn i, j, k verschiedene Indizes sind), folgt:

$$\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{a}) = 0 \quad (7)$$

Daher ist die vereinfachte Formel für $\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{a})$ unter Verwendung der Einsteinschen Summenkonvention 0.

Fazit/Kritik: Diese Ausgabe ist ein Musterbeispiel für die Problematiken, die bei der Nutzung von ChatGPT für Rechenaufgaben auftreten können. In diesem Fall kommt der KI-gestützte Chatbot zwar zum richtigen Endergebnis, jedoch ist die Begründung falsch und dementsprechend nicht zuverlässig.

Im vierten Rechenschritt (zwischen Gleichung 4 und 5) wird die Umordnung der Terme damit begründet, dass das Levi-Civita-Symbol antisymmetrisch ist. Der eigentliche Grund liegt jedoch darin, dass a^i , a^k und b^j einzelne indizierte Vektorkomponenten, also im konkreten Fall einfache Zahlen sind. Die Multiplikation einfacher Zahlen ist kommutativ, das heißt wir dürfen die Reihenfolge der Multiplikation beliebig verändern.

Ein weiteres Problem findet sich im letzten Rechenschritt (zwischen Gleichung 6 und 7). Die Chatbot-Aussage ist, dass der Ausdruck $\varepsilon_{ijk} a^i a^k$ null wird, weil das Levi-Civita-Symbol nur dann nicht null ist, wenn alle Indizes unterschiedlich sind. In diesem Ausdruck treten jedoch gemäß Einsteinscher Summenkonvention tatsächlich Ausdrücke auf, die unterschiedliche Indizes enthalten. Diese Ausdrücke sind im Allgemeinen auch tatsächlich nicht null. Der eigentliche Grund, warum sich insgesamt null ergibt, besteht darin, dass sich jeweils zwei dieser Ausdrücke paarweise wegheben. Hier ist nun tatsächlich der Hintergrund, dass das Levi-Civita-Symbol antisymmetrisch ist, also die Begründung, welche fälschlicher-

weise zwischen Gleichung 4 und 5 herangezogen wurde.

Zusammengefasst hat der Chatbot es geschafft, die Definitionen der Ausdrücke korrekt aufzulisten. Auch wird das richtige Ergebnis reproduziert. Jedoch ist die Berechnung nicht korrekt, wenn man der Logik der falsch dargestellten Begründungen folgt. Es treten Fehler auf, wenn es darum geht, einzelne Eigenschaften der verwendeten Größen korrekt zu kombinieren und eine logische Begründung sowie Herleitung zu generieren.

Als nächstes präsentieren wir nach demselben Schema eine exemplarische ChatGPT-Aufgabe zu konzeptionellen Erklärungen. Diese nimmt keinen Bezug auf eine andere Übungsaufgabe:

ChatGPT-Aufgabe: Lassen Sie sich von ChatGPT die definierenden Charakteristika von konservativen Kraftfeldern auflisten. Beurteilen Sie anschließend die Ausgaben. Laden Sie bitte Ihren Chat-Verlauf zusammen mit der Lösung des Übungsblattes im E-Learning-Portal hoch.

Nutzer:innen-Eingabe: Bitte nenne alle benötigten/definierenden Charakteristika von konservativen Kraftfeldern.

Chatbot-Ausgabe: Ein konservatives Kraftfeld hat mehrere charakteristische Eigenschaften, die es von nicht-konservativen Kraftfeldern unterscheiden. Hier sind die wichtigsten Merkmale:

1. Konservative Kräfte hängen nur von der Position ab: In einem konservativen Kraftfeld hängt die Kraft, die auf ein Teilchen wirkt, nur von seiner Position ab und nicht von seiner Geschwindigkeit oder der Zeit. Das bedeutet, dass die Kraft unabhängig von der Bewegung des Teilchens ist.

2. Arbeit ist unabhängig vom Weg: Die Arbeit, die eine konservative Kraft auf ein Teilchen verrichtet, hängt nur von den Anfangs- und Endpositionen des Teilchens ab und nicht vom genauen Pfad, den das Teilchen zwischen diesen beiden Positionen zurücklegt. Dies wird als Wegunabhängigkeit bezeichnet.

3. Energieerhaltung: In einem konservativen Kraftfeld bleibt die mechanische Energie eines Teilchens erhalten. Das bedeutet, dass die Summe aus kinetischer Energie (Energie aufgrund der Geschwindigkeit) und potenzieller

Energie (Energie aufgrund der Position im Feld) konstant bleibt, solange keine nicht-konservativen Kräfte (wie Reibung) wirken.

4. Potenzielle Energie: In einem konservativen Kraftfeld kann eine potenzielle Energie definiert werden. Diese potenzielle Energie hängt von der Position des Teilchens im Feld ab und kann verwendet werden, um die Arbeit zu berechnen, die die Kraft auf das Teilchen verrichtet, wenn es sich zwischen verschiedenen Positionen bewegt.

5. Geschlossene Wege: In einem konservativen Kraftfeld ist die Arbeit entlang eines geschlossenen Weges (einer geschlossenen Schleife) immer null. Das bedeutet, dass die Energie erhalten bleibt, wenn sich ein Teilchen auf einem geschlossenen Pfad bewegt.

Diese Charakteristika sind entscheidend für das Verständnis von konservativen Kraftfeldern in der Physik. Sie ermöglichen es, die Energieerhaltung und den Zusammenhang zwischen Kräften, Potenzialen und Wegen in konservativen Feldern zu verstehen.

Fazit/Kritik: In diesem Fall schafft es ChatGPT, eine umfassende und detaillierte Antwort zu geben. Bei weiterem Nachfragen werden die einzelnen Punkte auch als Formeln dargestellt. Als Kritikpunkt könnte noch das Nichterwähnen der Wirbelfreiheit des Kraftfeldes aufgelistet werden, zumindest wenn das Kraftfeld auf einem einfach zusammenhängenden Raum definiert ist. Diese Punkte listet ChatGPT in der ersten Antwort nicht auf. Sie lassen sich aber bei weiterer Nachfrage generieren. Außerdem wird nicht klar, welche Eigenschaften tatsächlich definierend sind. Zum Beispiel beschreibt Punkt 1 eine Eigenschaft, definiert jedoch noch kein konservatives Kraftfeld. Im Gegensatz dazu genügt Punkt 2 für sich alleine bereits als Definition eines konservativen Kraftfelds. Ohne an dieser Stelle Kritik an den Nutzer:innen üben zu wollen, lassen sich nach der obigen Betrachtung auch mögliche Rückschlüsse auf die Verbesserung der Gestaltung der Eingabe ergänzen. Die Kombination der nicht vollkommen synonymen Begriffe „benötigten“ und „definierenden“ mit Hilfe des Schrägstrichs „/“ suggeriert gegebenenfalls eine Synonymität, welche nicht vollständig vorhanden ist und beeinflusst die wenig differenzierte Ausgabe der Ergebnisse.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass ChatGPT gut genutzt werden kann, um inhaltliche Erklärungen zu physikalischen Phänomenen und Konzepten zu liefern. Insbesondere gilt dies, wenn keine tiefgehende Beschreibung mittels mathematischer Formeln und logische Verknüpfung von Rechenschritten erforderlich sind. Im Gegensatz dazu treten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben im Rahmen der Theoretischen Physik regelmäßig Fehler, ungenaue Begründungen und Missverständnisse auf. Dieser Trend ließ sich über alle zehn gestellten ChatGPT-Aufgaben des Semesters hinweg beobachten. Die Hälfte davon beinhaltete Rechenaufgaben, die andere Hälfte verlangte nach inhaltlichen Punkten und Erläuterungen.

3. Einschätzung durch die Studierenden

Um eine detailliertere Rückmeldung und Einschätzung von Seiten der Studierenden zu den Ergebnissen zu erhalten, führten wir am Ende der Vorlesungszeit des Wintersemesters 2023/2024 eine anonymisierte Online-Umfrage über die E-Learning-Plattform [3] der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg durch. Der Rücklauf umfasste neun Teilnehmende. Die sich aus dieser Umfrage ergebenden Tendenzen werden im Folgenden dargestellt und diskutiert.

Inhaltlich wurden dabei Fragen zur Häufigkeit der bisherigen und erwarteten zukünftigen Nutzung sowie zur eingeschätzten Nützlichkeit von ChatGPT in verschiedenen Aufgaben- und Anforderungsbereichen gestellt. Diese bezogen sich zum Teil speziell auf die Studienanteile der Theoretischen Physik, etwas allgemeiner auf das Physikstudium an sich und in einzelnen Punkten gingen sie auch noch darüber hinaus. Alle Fragen konnten auf einer Skala von 1 bis 8 bewertet werden. Abhängig von der Fragestellung wurden die beiden Endpunkte der Skalen verbalisiert. Dabei drückte der Wert 1 jeweils das Minimum im Sinne der geringsten Zustimmung, negativsten Einstellung oder minimalen Häufigkeit aus. Der Wert 8 entsprach dem Maximum im Sinne der stärksten Zustimmung, positivsten Einstellung oder maximalen Häufigkeit. Die Studierenden wurden darauf hingewiesen, dass unsere Skala keinen indiffe-

renten Mittelwert besitzt, sodass die Bewertung 4 leicht zu 1 und die Bewertung 5 leicht zu 8 hin tendiert.

Allgemein verfolgten wir mit der Einbindung der ChatGPT-Aufgaben das Ziel, die Studierenden dazu zu motivieren, die Möglichkeiten und aktuell noch bestehenden Limitationen der neuen Technologie zu erfahren. Einerseits bezieht sich dies auf den Kontext ihres Studiums. Andererseits wollten wir sie auch generell dazu stimulieren, technologische Entwicklungen im Blick zu behalten und sich damit auseinanderzusetzen. Dementsprechend bestand das Ziel unserer Umfrage nicht nur darin herauszufinden, wie die Studierenden die Nützlichkeit von ChatGPT im engen fachlichen und methodischen Kontext der gestellten ChatGPT-Aufgaben empfanden. Wir wollten ebenso erfahren, ob es uns gelungen war, die Studierenden generell im Hinblick auf mögliche weitere Verwendung im Physikstudium und darüber hinaus zu sensibilisieren. Zudem wollten wir allgemein herausfinden, wieviel die Studierenden unserem Ansatz, sie auf diese Weise an die Technologie heranzuführen, abgewinnen konnten.

Von den teilnehmenden Studierenden gaben alle an, ChatGPT gelegentlich bis häufig in der Vergangenheit genutzt zu haben. Keine:r der Teilnehmenden hatte ChatGPT zum ersten Mal verwendet.

Im Hinblick auf die oben vorgestellten zwei verschiedenen ChatGPT-Aufgabentypen auf unseren Übungsblättern baten wir die Studierenden, die Nützlichkeit von ChatGPT dementsprechend aufgeschlüsselt einzuschätzen, siehe Abb. 1. Zum Bearbeitungs- und Umfragezeitpunkt war die Version GPT-3.5 kostenfrei verfügbar. Der Großteil der Studierenden empfand die Nutzung von ChatGPT zum Lösen von Rechenaufgaben als weniger hilfreich, siehe die blauen Balken in Abb. 1. Demgegenüber bewertete ein Großteil der teilnehmenden Studierenden die Nutzung zur Klärung inhaltlicher Fragestellungen als positiv, siehe die roten Balken in Abb. 1. Diese beiden Tendenzen decken sich mit unseren eigenen Erfahrungen bei der Nutzung der Version GPT-3.5.

Als nächstes wollten wir feststellen, inwieweit die Studierenden nach der Auseinanderset-

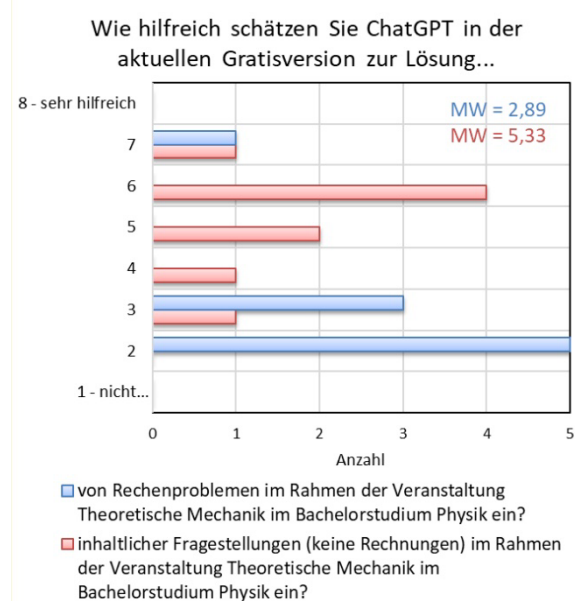


Abb. 1: Einschätzung der Studierenden bezüglich der Nützlichkeit von ChatGPT beim Lösen von Rechenaufgaben und bei der Klärung von Fragestellungen im Rahmen der Pflichtveranstaltung Theoretische Mechanik des Bachelorstudiengangs Physik. Zum Bearbeitungs- und Umfragezeitpunkt war die Version GPT-3.5 frei verfügbar.

zung mit ChatGPT bei der Bearbeitung unserer Übungsaufgaben und ihrer anderweitigen, zum Beispiel privaten Nutzung vorhaben, ChatGPT zukünftig im Rahmen ihres weiteren Physikstudiums zu nutzen, siehe Abb. 2. Aufgrund der dargestellten Erfahrungen wenig überraschend planen die Studierenden einheitlich selten, den Chatbot für Hilfestellungen bei Rechnungen in der Theoretischen Physik zu konsultieren, siehe die blauen Daten in Abb. 2. Bezüglich Hilfestellungen zu allgemeinen physikalischen Inhalten schätzen die Studierenden die zukünftige Nutzung in der Theoretischen Physik etwas häufiger ein, siehe die roten Balken in Abb. 2. Demgegenüber ergibt sich eine positivere Einstellung bei noch weitergehenden, allgemeineren inhaltlichen Aspekten ihres Studiums, siehe die grünen Balken in Abb. 2. Wir vermuten, dass die Theoretische Physik im Hinblick auf die verwendete mathematische Sprache und Ausdrucksweise hier eine andere Stellung einnimmt als fachliche Bereiche mit Inhalten, die vor allem in Textsprache vermittelt werden. Dies steht auch im Einklang mit unserer früheren Feststellung, dass die Studierenden im Rahmen der Theoretischen Physik weiterhin im Mittel

eine handschriftliche Herangehensweise bevorzugen [4]. Daraus lässt sich möglicherweise schließen, dass sich die Studierenden eher vorstellen können, diese Technologie in anderen Bereichen wie der experimentellen Physik zu benutzen. Für anderweitige Fragen im Rahmen des Studiums, zum Beispiel organisatorische, wurde die zukünftige Nutzung von ChatGPT im Mittel als mäßig eingeschätzt, siehe die violetten Balken in Abb. 2.

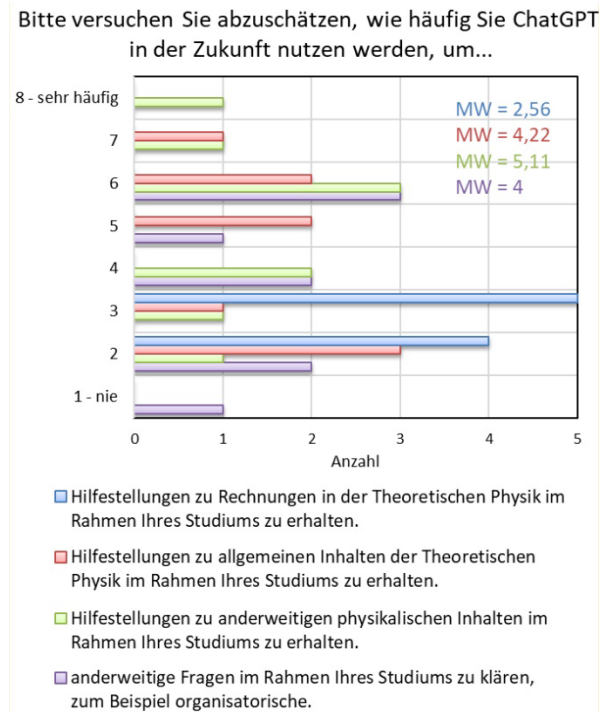


Abb. 2: Einschätzung der Studierenden im Hinblick auf die Häufigkeit, ChatGPT auch zukünftig im Rahmen ihres Studiums zu nutzen. Unterschieden wird zwischen Rechenaufgaben und inhaltlichen Fragestellungen in der Theoretischen Physik sowie inhaltlichen und organisatorischen Fragestellungen im übrigen Verlauf ihres Studiums.

Im Gegensatz zu Rechenfertigkeiten liegt zum Zeitpunkt der Auswertung der Online-Umfrage ein großes Potenzial von KI-gestützten Chatbots in der Verarbeitung und dem Verfassen von Texten. Demnach könnte ChatGPT gerade beim Verfassen des Fließtextes in wissenschaftlichen Arbeiten, speziell in Seminar-, Bachelor- und Masterarbeiten, eine große Hilfe sein.

In diesem Kontext war es für uns interessant herauszufinden, wie die Studierenden die Häufigkeit einschätzen, ChatGPT in Zukunft beim Verfassen solcher wissenschaftlichen Texte zu

nutzen, siehe Abb. 3. Für uns ist sehr erstaunlich, dass sich die Studierenden im Mittel nur mit mäßiger Häufigkeit vorstellen können, ChatGPT als Unterstützung generell beim wissenschaftlichen Schreiben zu nutzen, siehe die roten Balken in Abb. 3. Im Rahmen des Physikstudiums könnte in diese Kategorie zum Beispiel das Abfassen von Teilen von Praktikumsberichten beziehungsweise Versuchsbeschreibungen und -auswertungen fallen. Dies ist umso erstaunlicher, als immer wieder Studierende in persönlichen Gesprächen von der hohen hiermit verbundenen Arbeitsbelastung berichten.

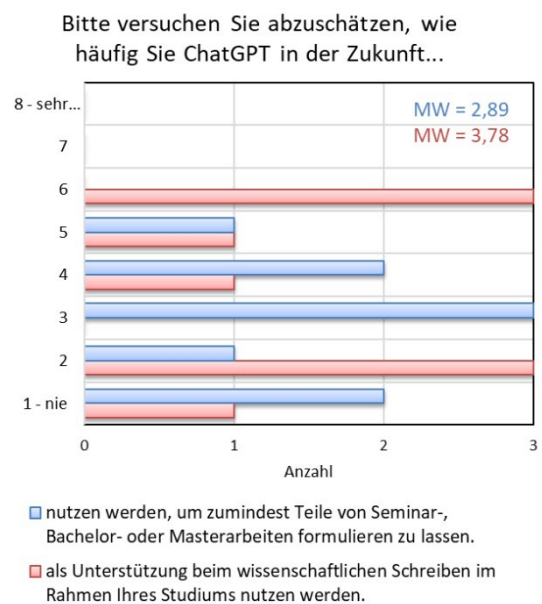


Abb. 3: Einschätzung der Studierenden bezüglich der voraussichtlichen Häufigkeit, ChatGPT beim Verfassen wissenschaftlicher Texte im Rahmen ihres Studiums zu nutzen. Die Ergebnisse sind aufgeschlüsselt in allgemeines wissenschaftliches Schreiben sowie speziell Seminar-, Bachelor- und Masterarbeiten.

Noch geringer ist das Vorhaben erkennbar, ChatGPT speziell zur Formulierung von Teilen von Seminar- und Abschlussarbeiten, zu nutzen, was im Rahmen des Physikstudiums insbesondere Bachelor- und Masterarbeiten betrifft, siehe die blauen Balken in Abb. 3. Zum einen mag dies daran liegen, dass den Studierenden im dritten Semester das Abfassen der Bachelorarbeit noch als in weiter Ferne liegend erscheint. Zum anderen könnte diese Differenzierung dadurch begründet sein, dass Angst und Unsicherheit vor Verletzungen von Eigen-

ständigkeitserklärungen bestehen, also der Erklärung, dass die Arbeit ohne weitere als die angegebenen Hilfsmittel erstellt wurde. Dies weist allgemein auf die Dringlichkeit zur Klärung entsprechender Sachverhalte und deren weitreichender Bekanntmachung möglichst an konkreten Beispielen hin. Anders ausgedrückt bedarf es in diesem Fall klarer Regelungen, wann der Einsatz von KI-gestützten Werkzeugen in welcher Form und unter welchen Umständen gestattet ist. Lehrende können auf der Basis solcher Regelungen Studierenden den Umgang mit neuartigen Technologien näherbringen und Sicherheit bei der Bewertung entsprechender Leistungen gewinnen. Studierende können sich in diesem Rahmen den gewinnbringenden Einsatz der Technologien erarbeiten.

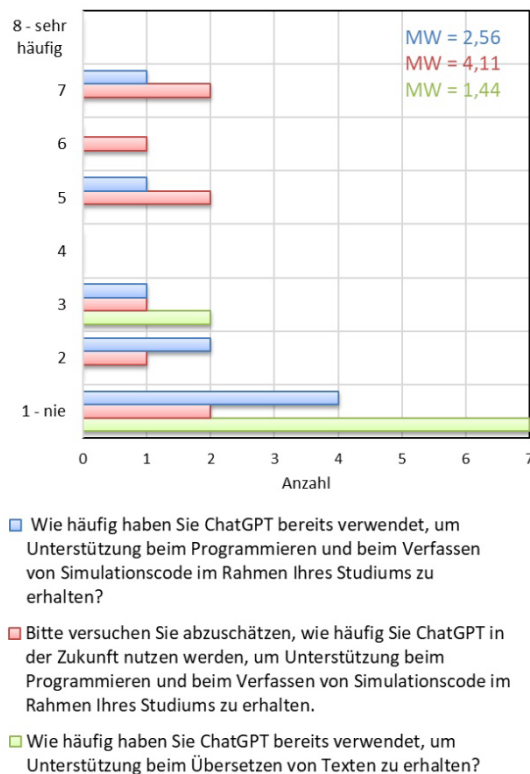


Abb. 4: Einschätzung der Studierenden zur Häufigkeit der Nutzung von ChatGPT zur Unterstützung beim Programmieren und Erstellen von Simulationscode sowie beim Übersetzen von Texten in und aus Fremdsprachen. Zur Programmierung wurde auch der Grad der voraussichtlichen zukünftigen Nutzung erfragt.

Als weiterer Bereich zur möglichen Verwendung lassen sich allgemein die linguistischen Fähigkeiten von ChatGPT im Kontext des

Schreibens von Computerprogrammen und der Übersetzung von Texten hervorheben. Dies betrifft das Erlernen von Fremd- und Programmiersprachen genauso wie die Anwendung bei konkreten Problemen. ChatGPT kann sowohl beim Erstellen von Simulationscode als auch beim Finden und Korrigieren von Programmierfehlern hilfreich sein. Im Gegensatz zu herkömmlicher Übersetzungssoftware kann ChatGPT möglicherweise für längere Texte in sich inhaltlich geschlossenere Übersetzungen liefern. Im Rahmen der Vorlesung zur Theoretischen Mechanik sind diese Anwendungen zwar am Rande relevant. Jedoch spätestens im Rahmen der Abschlussarbeit könnte der Chatbot das Schreiben von forschungsrelevantem Simulationscode unterstützen. Ebenso könnte er zum besseren Verständnis bei der Übersetzung von englischsprachiger Fachliteratur oder beim Abfassen der Abschlussarbeit in englischer Sprache hilfreich sein.

Dementsprechend zeigen wir in Abb. 4 die von den Studierenden eingeschätzte Häufigkeit, den Chatbot in der Vergangenheit sowie zukünftig für diese und ähnliche Zwecke zu konsultieren. Deutlich ist zu erkennen, dass der Großteil der Teilnehmenden ChatGPT bislang selten bis nie für Hilfestellungen bei der Programmierung verwendete, siehe die blauen Balken in Abb. 4. Ähnlich sieht es bei der Nutzung zur Übersetzung von Texten aus, siehe die grünen Balken in Abb. 4. Allerdings gehen die Studierenden im Mittel davon aus, dass sich dies zumindest im Hinblick auf Programmierertätigkeiten ändern wird, siehe die roten Balken in Abb. 4.

Abschließend ging es uns darum zu erfahren, welchen Anklang unser Vorgehen bei den Studierenden fand, siehe Abb. 5. Wie schätzten die Studierenden unser Anliegen ein, sie auf die beschriebene Art und Weise dazu zu motivieren, sich mit der neuen Technologie weiter vertraut zu machen und über deren weitere Einsatzmöglichkeiten nachzudenken? Eine signifikante Mehrheit stand unserem Ansatz tatsächlich positiv gegenüber, siehe die blauen Balken in Abb. 5. Für uns ist dies im positiven Sinne erstaunlich. Immerhin bedeuteten die ChatGPT-Übungsaufgaben auch für die Studierenden einen zusätzlichen Arbeitsaufwand.

Auf die Frage, ob die Beschäftigung mit ChatGPT während des Semesters dazu geführt habe, die Technologie generell im Rahmen des Studiums zu nutzen, gaben die Studierenden im Mittel eine ungefähr neutrale Einschätzung ab, siehe die roten Balken in Abb. 5. Ähnlich sieht es im Hinblick auf eine allgemeine Verwendung außerhalb des Studiums aus, siehe die grünen Daten in Abb. 5.

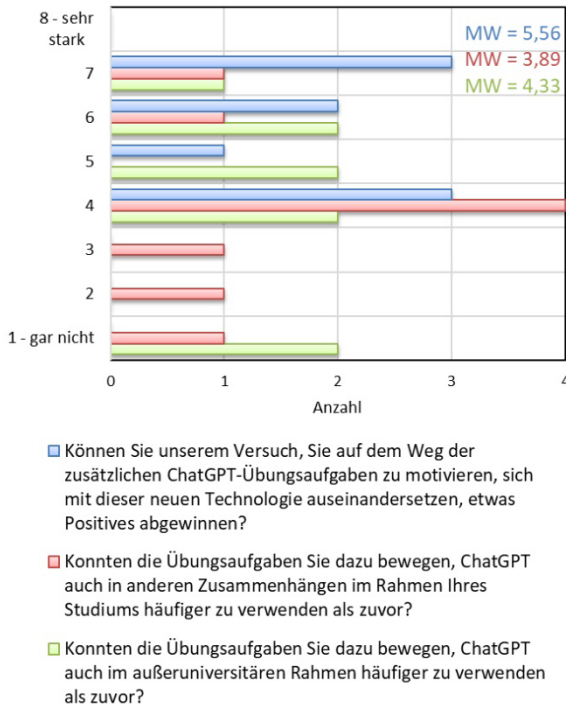


Abb. 5: Einschätzung der Studierenden bezüglich der Auswirkungen unseres Versuchs, sie im Rahmen von ChatGPT-Übungsaufgaben dazu zu bewegen, sich häufiger mit der neuen Technologie auseinanderzusetzen. Wir unterscheiden zwischen der Nutzung im Rahmen des Studiums und im außeruniversitären Kontext. Daneben ergab sich eine im Mittel positive Rückmeldung zu unserem Versuch, die Studierenden zur Auseinandersetzung mit ChatGPT zu motivieren.

Das Spektrum ist dabei breit verteilt. Anscheinend konnten wir bei einzelnen Studierenden durch unsere ChatGPT-Übungsaufgaben eine deutlich stärkere Auseinandersetzung mit dem Chatbot anregen. Bei anderen fiel dieser Effekt nur mäßig aus. Im außeruniversitären Kontext stieg dabei die Verwendung von ChatGPT geringfügig stärker an als im Rahmen des Physikstudiums, zumindest bei den wenigen Teilnehmenden in dieser Umfrage. Dies zeigt der Vergleich von grünen und roten Balken in Abb. 5.

4. Lessons Learned

Zusammengefasst untersuchten wir, inwiefern sich der KI-gestützte Chatbot ChatGPT im Physikstudium im regulären universitären Übungsbetrieb der Theoretischen Physik einsetzen lässt. Speziell fand dieser Versuch der Integration von ChatGPT in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Theoretischen Mechanik, einer Pflichtveranstaltung im dritten Semester des Bachelorstudiengangs Physik [2] der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, statt. Der Zeitraum entsprach der Vorlesungszeit des Wintersemesters 2023/2024. Demnach hatten die Studierenden kostenfreien Zugang zu ChatGPT in der Version GPT-3.5 [1]. Sie nutzten den Chatbot zur Bearbeitung von zusätzlich zu diesem Zweck gestellten Übungsaufgaben sowohl rechnerischer als auch konzeptioneller, inhaltlicher Natur. Die Studierenden wurden von uns nicht dazu angehalten, sich zur Verwendung von ChatGPT zu registrieren. Unser Ziel war es, sie zu motivieren, sich mit der neuen Technologie auseinanderzusetzen und ihre Nutzbarkeit zu ergründen, gegebenenfalls auch über den Kontext unserer Übungsaufgaben hinaus. Gleichzeitig sollten sie die damit verbundenen Möglichkeiten aber auch die noch vorhandenen Limitationen erfahren. Mit Hilfe einer Online-Umfrage erhielten wir eine Rückmeldung über den Eindruck der Studierenden.

Unser Versuch ergab, dass ChatGPT in der Version GPT-3.5 zwar in der Lage ist, umfassende und detaillierte Erklärungen zu physikalischen Phänomenen und Konzepten zu liefern. Jedoch treten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben regelmäßig Fehler und ungenaue Begründungen auf. Dies spiegelt sich in den Rückmeldungen der Studierenden wider. Sie empfanden die Nutzung von ChatGPT zur Lösung von Rechenaufgaben im Mittel als wenig hilfreich, zumindest in der zum Zeitpunkt der Nutzung frei verfügbaren Version. Die Möglichkeit zur Klärung inhaltlicher Fragestellungen wurde als deutlich positiver eingeschätzt.

Die Online-Umfrage am Ende des Semesters zeigte zusätzlich zu diesen Punkten, dass die Studierenden ChatGPT gelegentlich bis häufig verwendeten und auch in Zukunft zur Klärung allgemeiner physikalischer Inhalte und Frage-

stellungen in Erwägung ziehen. Interessanterweise war die Bereitschaft, ChatGPT zumindest als Hilfe beim Verfassen wissenschaftlicher Texte zu nutzen, gering ausgeprägt. Erstaunlicherweise ziehen die Studierenden auch den Einsatz von ChatGPT zur Programmierung und Erstellung von Simulationscodes sowie zur Übersetzung von Fließtexten wenig in Erwägung.

Für uns selbst bilden die Erkenntnisse aus unserer Studie wichtige Anhaltspunkte für die zukünftige Integration von KI-gestützten Chatbots in die universitäre Lehre. Basierend auf den Ergebnissen sehen wir mehrere Ansätze, um den Einsatz von ChatGPT im Physikstudium weiter zu optimieren und auszubauen. Wir sollten den Studierenden erklären, dass ChatGPT ein hilfreiches Mittel bei der Klärung inhaltlicher und konzeptioneller Fragestellungen sein kann. Insbesondere sollten wir den Studierenden vermitteln, dass es sich um ein sehr wertvolles Werkzeug handelt, wenn es darum geht, programmieren zu lernen und einzelne Programmbausteine zu erstellen. Hier ist es gegebenenfalls nicht mit dem reinen Verweis auf die Fähigkeiten von ChatGPT getan. Zumindest sollte den Studierenden in entsprechenden Veranstaltungen die Verwendung zum Erstellen von Programmbausteinen oder zum Erlernen von Programmiersprachen einmal live vorgeführt werden beziehungsweise, wo passend, darauf zurückgegriffen werden. Ähnliches trifft auf das Übersetzen von Texten zu. ChatGPT ist im Allgemeinen ein hervorragendes Übersetzungswerkzeug, was den Studierenden hinreichend vermittelt werden sollte.

Daneben und erstaunlicherweise stellten wir bei den Studierenden eine deutliche Zurückhaltung fest, wenn es darum geht, ChatGPT beim Verfassen von Seminar- und Abschlussarbeiten oder anderer wissenschaftlicher Texte zu verwenden. Vor allem ist dies für uns ein Hinweis darauf, dass hier klar formulierte Richtlinien durch die Wissenschaft im Allgemeinen, die Universitäten und Fachbereiche erstellt werden müssen. Diese Richtlinien sollten für die Studierenden möglichst an konkreten Beispielen nachvollziehbar und umsetzbar sein. Vor allem müssen sie klar kommuniziert und die Studierenden aktiv darauf hingewie-

sen werden. Es ist festzulegen, wann KI-gestützte Werkzeuge verwendet werden dürfen und wann nicht, wie dies zu kennzeichnen ist und wie dies bei der Bewertung von Arbeiten berücksichtigt werden soll. Dies würde die Studierenden darin unterstützen, mögliche Vorteile zu nutzen, ohne sich dabei zu sorgen, gegen akademische Standards zu verstoßen. Auch auf Seiten der Lehrenden würde dies die Vermittlung des Umgangs mit den Werkzeugen an die Studierenden deutlich erleichtern. Den Studierenden und damit unserer Gesellschaft sollten im internationalen Wettbewerb keine Nachteile durch eingeschränkte Erfahrung im Umgang mit zukünftigen Standardwerkzeugen erwachsen, die sich aufgrund von Verboten bei deren Verwendung und dadurch reduzierter Erfahrung ergeben könnten.

In diesem Zusammenhang wäre es in zukünftigen Untersuchungen interessant zu sehen, ob sich die Einstellung der Studierenden gegenüber der Verwendung von ChatGPT zum Verfassen von Seminar- und Abschlussarbeiten oder anderen wissenschaftlichen Texten im Laufe des Studiums ändert. Hierzu könnten gleichzeitige Erhebungen in unterschiedlichen Jahrgängen Aufschluss geben. Solche gleichzeitigen Datenerhebungen statt Erhebungen im selben Jahrgang über den Verlauf des Studiums hinweg könnten gegebenenfalls den Einfluss der rasanten zeitlichen Weiterentwicklung der KI-gestützten Werkzeuge auf die Rückmeldungen der Studierenden verringern.

Dabei möchten wir festhalten, dass der Umfang der Anwendungsmöglichkeiten auch mit der Weiterentwicklung von KI-gestützten Chatbots wachsen wird. Seit der erstmaligen Freigabe von ChatGPT in der Version GPT-3.5 durch OpenAI am 30.11.2022 gab es zahlreiche Neuerungen. Dazu zählen ein optimiertes Sprachverständnis sowie die Erkennung von Bildern und Videos seit der Version GPT-4 [5]. Das Modell GPT-4o, welches zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Manuskripts zur Verfügung steht, ist anders als das bisherige GPT-4 kostenlos zugänglich. In dieser neuesten Version lässt sich der Chatbot mit einer Reihe von Plugins verbinden. Insbesondere lassen sich zum Beispiel durch das Wolfram-Alpha-Plugin Rechenaufgaben wesentlich zuverlässiger auswerten. Rechenoperationen werden hier an den symbolischen Löser von Wolfram Alpha

übergeben. Wir legten in unserem Ansatz aus datenschutz- und persönlichkeitsrechtlichen Gründen Wert darauf, mit einer kostenlosen Version zu arbeiten. Hierbei forderten wir von den Studierenden nicht ein, sich zu registrieren.

Wir gehen davon aus, dass eine Wiederholung der Studie aufgrund der rasanten technischen Weiterentwicklung in der Zukunft bereits zu anderen Ergebnissen führen würde. Unsere Stichprobe ist relativ klein, eine erhöhte Zahl wäre in zukünftigen Auswertungen sicherlich hilfreich. Parallel zu Maßnahmen zur Stärkung der Teilnehmendenzahl könnte die Untersuchung anderer Modelle ins Auge gefasst werden, um die Aussagekraft zu erweitern. Dennoch denken wir, dass qualitative Trends aus der vorliegenden Umfrage erkennbar sein können und danken den Studierenden für ihre Teilnahme. Durch ihre Rückmeldungen erhielten wir wertvolle Hinweise für mögliche zukünftige Gestaltungen.

Letztlich zeigt unsere Studie, dass ChatGPT ein wertvolles Hilfsmittel im Physikstudium sein kann, wenn es richtig eingesetzt wird. Durch kontinuierliche Verbesserungen und Ergänzungen der Einsatzmöglichkeiten wird sich das Potenzial dieser Technologie in Zukunft noch deutlich erweitern. Wir sind überzeugt davon, dass sich Lehr- und Lernprozesse im Studium bei vernunftgeleitetem Einsatz deutlich verbessern lassen, um das Potenzial der neuen Technologie hierfür auszuschöpfen. Unsere Stichprobe zeigt, dass es die Studierenden insgesamt im Mittel positiv bewerten, wenn sie an die Technologie auch im Rahmen konkreter Aufgabenstellungen herangeführt werden.

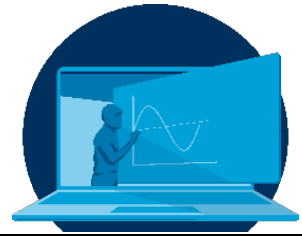
Danksagung

A. M. Menzel dankt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung über das Heisenberg-Programm, Projektnummer ME 3571/4-1.

Literatur

- [1] OpenAI. *ChatGPT*, Version 3.5, 2023, <https://www.openai.com>
- [2] https://www.verwaltungshandbuch.ovgu.de/Modulhandb%C3%BCher-media_id-2442.html
(Stand 27.06.2024)

- [3] <https://elearning.ovgu.de/>
(Stand 27.06.2024)
- [4] C. D. Deters, A. M. Menzel, *Lessons Learned* 2-2, 8, 2022, <https://doi.org/10.25369/ll.v2i2.51>
- [5] OpenAI. *ChatGPT*, Version 4, 2024, <https://www.openai.com>



Erfahrungen aus dem Aufbau einer studentischen Arbeitsgruppe – Kontakte auch außerhalb von Vorlesung und Übungen knüpfen

T. Schulze*, J. Weber, B. Beck, J. Weber

Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik (Fluidtronik), Institut für Mechatronischen Maschinenbau, Fakultät Maschinenwesen, TU Dresden

Abstract

Der Rückgang der Studierendenzahlen im Maschinenwesen steht im Widerspruch zum bestehenden Fachkräftemangel und dem dringenden Bedarf der Industrie an qualifizierten Absolventinnen und Absolventen. Auffällig ist ebenso die geringe Präsenzteilnahme an den Lehrveranstaltungen. Um diesem Trend entgegenzuwirken und mehr Studierende zu gewinnen, wurden an der Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik der TU Dresden im Rahmen von Studienarbeiten drei langfristig nutzbare Anwendungsbeispiele entwickelt: ein hydraulisches Lastenfahrrad, ein Niederdruck-Hydraulik-Demonstrator und mittels 3D-Druck hergestellte Fluidtechnik-Komponenten.

Diese Projekte haben dazu beigetragen, mehr Studierende mit interessanten Studienarbeiten für die Fluidtechnik zu begeistern und durch erlebbare Anschauungsmaterialien die öffentliche Sichtbarkeit des Fachgebietes zu erhöhen. Die Studierenden konnten praxisnahe Erfahrungen sammeln, ihre fachlichen Kompetenzen vertiefen und anwenden, Projektmanagement- und Problemlösefähigkeiten entwickeln sowie ihre sozialen Kompetenzen wie Teamarbeit, eigenverantwortliches Arbeiten und Kreativität sowie Innovationsfähigkeit ausbauen.

The decline in student numbers in mechanical engineering contradicts the existing shortage of skilled workers and the urgent need of the industry for qualified graduates. Particularly noticeable is the decreasing attendance in the courses of the Chair of Fluid-Mechatronic Systems at TU Dresden from 2015 to 2022. To counteract this trend and attract more students, three long-term application examples were developed as part of student projects: a hydraulic cargo bike, a low-pressure hydraulics demonstrator, and fluid technology components manufactured using 3D printing.

These projects have helped increase the attractiveness of the department by offering practical experiences that benefit both students and the industry. The students were able to deepen and apply their technical skills, develop project management and problem-solving abilities, and enhance their social skills such as teamwork, independent work, creativity, and innovation. Within these practical offerings, several student projects have already been completed, more students have been attracted to the field, and the public visibility of the department has been improved.

*Corresponding author: Tobias.Schulze2@tu-dresden.de

1. Rückgang der Studierendenzahlen

In den Jahren bis 2021 ist ein deutlicher Rückgang der Studierendenzahlen in Deutschland und insbesondere an der TU Dresden zu beobachten. Abb. 1 zeigt den Trend für alle Fächergruppen bis zum Studienjahr 2023/2024. Deutschlandweit sank die Zahl der im ersten Hochschulsesemester immatrikulierten Studierenden seit 2015 leicht um 6 %, von 506.580 auf 481.469. Im Vergleich dazu ist der Rückgang an der TU Dresden mit 11 % fast doppelt so groß: Die Zahl der Studierenden im ersten Hochschulsesemester sank von 5.514 im Jahr 2015/16 auf 4.484 im Jahr 2021/22 und erreichte 4.881 im Jahr 2023/2024.

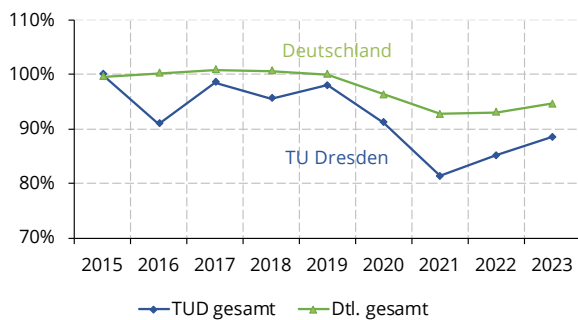


Abb. 1: Studierende im 1. Hochschulsesemester in Deutschland [1] und an der TU Dresden [2] seit 2015¹

Weitaus stärker betroffen von diesem Rückgang sind die Ingenieurwissenschaften (nach [3, 4], definiert seit 2015). Der Anteil der Studierenden im ersten Hochschulsesemester liegt im Studienjahr 2024 deutschlandweit bei 27 %. An der TU Dresden macht dies 35 % aller Studierenden aus (Fachrichtungen Elektro- und Informationstechnik, Informatik, Maschinenwesen, Architektur, Bauingenieurwesen, Hydrowissenschaften, Verkehrsingenieurwesen und Wirtschaftsinformatik) [2].

Von 2015 bis 2023 sank die Zahl der Studienanfänger in dieser Fächergruppe deutschlandweit um 13 %, während sie an der TU Dresden

um 30 % zurückging. Dies belegt, dass das Interesse an den Ingenieurwissenschaften an der TU Dresden stärker zurückgeht, als im bundesweiten Schnitt.

Eine detaillierte Analyse der einzelnen Fakultäten der TU Dresden in Abb. 2 zeigt unterschiedliche Entwicklungen. Mit 63 % verzeichnet die Fakultät *Maschinenwesen* den stärksten Rückgang der Studienanfänger. An der Fakultät *Elektro- und Informationstechnik* gab es 27 % weniger Studienanfänger, während die Fakultät *Informatik* sogar einen Zuwachs von 29 % verzeichnete.

Diese Entwicklungen verdeutlichen die Notwendigkeit, gezielte Maßnahmen zu ergreifen, um die Attraktivität der TU Dresden und insbesondere der Fakultät *Maschinenwesen* zu steigern und wieder mehr Studierende zu gewinnen.

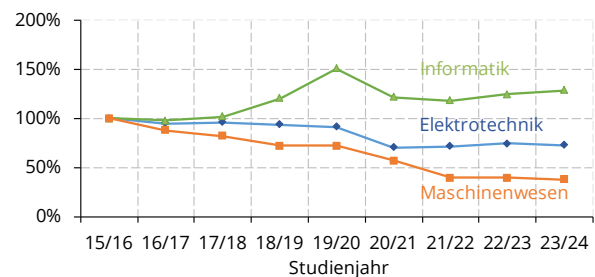


Abb. 2: Studienanfänger im Fachbereich Ingenieurwissenschaften der TU Dresden seit 2015/16 [2]

2. Entwicklungen und Herausforderungen an der Professur

Die *Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik* bietet im Hauptstudium (Semester 5-9 der Studiengänge *Maschinenbau*, *Mechatronik* und *Lehramt an berufsbildenden Schulen*) Lehrveranstaltungen (LV) mit verschiedenen thematischen Schwerpunkten an, die sowohl Theorie- als auch Praxisphasen beinhalten. Die zahlenmäßig größte LV der Professur umfasst

- Der Begriff „Studienanfänger“ meint Studierende, die gänzlich neu beginnen. Als weitere Kennzahl werden „Studierende im ersten Fachsemester“ erfasst. Dies bezieht auch diejenigen ein, die vor Beginn des neuen Studiums bereits ein anderes Fach belegt hatten. In den Ingenieurwissenschaften an der TU Dresden liegt diese Zahl ca. 50 % höher als die Zahl der gänzlich neu mit dem Studium beginnenden „Studienanfänger“.

¹ Hinweise zur Auswertung der Statistik:

- Die Bundesstatistik bezieht sich auf das statistische Jahr. So werden für 2013 Anfänger des SS 2013 und WS 2013/14 ohne beurlaubte Studierende gezählt. Demgegenüber werden die Anfängerzahlen an der TU Dresden nach Studienjahren ausgewiesen. Im Studienjahr 2013/14 (hier als 2013 dargestellt) werden Anfänger des WS 2013/14 und SS 2014 inkl. beurlaubter Studierende gezählt. Dieser Unterschied gleicht sich über die Zeit aus.

2 Semesterwochenstunden (SWS) Vorlesung und 1 SWS Übung. Sie ist ein Pflichtmodul im 5. Fachsemester des Diplom- und Bachelorstudiengangs *Maschinenbau* (Studienrichtungen *Allgemeiner und konstruktiver Maschinenbau (AKM)*, *Kraftfahrzeug- und Schienenfahrzeugtechnik (KST)*) sowie im Studiengang *Lehramt an berufsbildenden Schulen (Produktionstechnik)*. Folglich nehmen Studierende mit unterschiedlichem Vorwissen und Interessen teil, bei gleichzeitig hoher Vielfalt studentischer und wissenschaftlicher Themen.

Trotz der Bedeutung und Breite der Lehrveranstaltung zeigt sich ein deutlicher Rückgang der Studierendenzahlen. Abb. 3 stellt den Trend der in die Lehrveranstaltung eingeschriebenen Studierenden im Vergleich zur Anzahl neu immatrikulierter Studierender im Maschinenwesen der TU Dresden insgesamt dar. Ein relativer Rückgang von 54 % von 2015 zu 2023 in der LV korreliert mit dem allgemeinen Trend an der Fakultät *Maschinenwesen* mit 61 % von 2013 zu 2021. Das bedeutet, dass Studierende, die sich mit Studienbeginn für das Fachgebiet *Maschinenwesen* entschieden, in gleichem Maße auch an der LV teilnehmen. Mögliche Gründe dafür sind:

- Die Spezialisierung *Fluidtechnik* wird an nur zwei Hochschulen deutschlandweit angeboten (TU Dresden, RWTH Aachen).
- Die LV ist für die Studienrichtungen *AKM* und *KST* obligatorisch.
- Fluidtechnik findet breite Anwendung in verschiedenen Industriebereichen wie Flugzeug- und Mobilhydraulik, Dichtungstechnik oder Steuerungs-/Regelungstechnik.

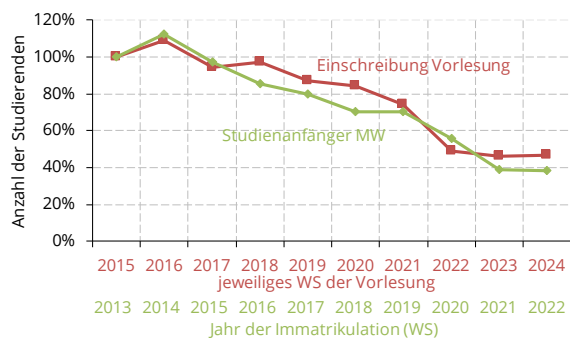


Abb. 3: Studierendenzahlen an der TU Dresden. Fakultät *Maschinenwesen* und LV „Grundlagen der fluidtechnischen Antriebe und Steuerungen“ im Vergleich

Abb. 4 zeigt die Anzahl eingeschriebener Studierender im Vergleich zur tatsächlichen Prüfungsteilnahme ab dem WS 2015/16 bis zum WS 2023/24. Neben der bereits beschriebenen allgemein rückläufigen Zahl an Studierenden ist hier der Vergleich zwischen den zur Lehrveranstaltung eingeschriebenen Studierenden und der Prüfungsteilnahme zu erkennen. Auffällig ist der verstärkte Rückgang der Prüfungsteilnahmen bis zum WS 2021/22, wo die größte Diskrepanz zwischen zur Vorlesung eingeschriebenen und tatsächlich an der Prüfung teilnehmenden Studierenden besteht.

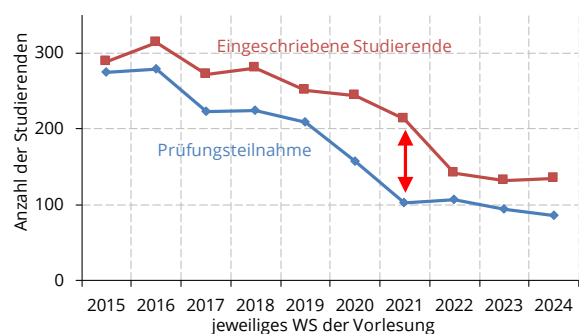


Abb. 4: Teilnahme im Fach „Grundlagen der fluidtechnischen Antriebe und Steuerungen“ – Einschreibung vs. Prüfungsteilnahme

Dieser Knick könnte auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein, was im Folgenden näher betrachtet werden soll. Um den Rückgang der Studierendenzahlen und insbesondere der Prüfungsteilnahme zu stoppen, wurden ab dem Frühjahr 2022 an der Professur verschiedene Maßnahmen erarbeitet und mit deren Umsetzung begonnen, z. B. die – im Folgenden beschriebenen – Aufbau studentischer Arbeitsgruppen (AGs).

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass der Anteil der Prüfungsteilnahme ab dem WS 2022/2023 wieder auf dem ursprünglichen Niveau der Jahre 2016/2017 bis 2018/2019 liegt. Dies legt nahe, dass die getroffenen Maßnahmen scheinbar erfolgreich waren, wobei jedoch zahlreiche weitere Einflussfaktoren nicht berücksichtigt werden konnten. So können laut Analysen von Hillebrecht [5] neben der Lehrqualität z. B. auch die Qualität der Studienorganisation, (über-)institutionelle Aspekte, soziodemografische Merkmale oder Berufstätigkeit neben dem Studium den Studienverlauf

und die Prüfungsteilnahme beeinflussen. Um ihren Einfluss auf den Studienerfolg besser zu verstehen und zukünftige Maßnahmen gezielter zu gestalten, bedarf es lt. Hillebrecht aktuell jedoch weiterer umfassender Betrachtungen und standardisierter Messinstrumente.

Es zeigt sich, dass neben der Studierendenzahl auch die aktuelle Situation und der Hintergrund der derzeit im Hauptstudium befindlichen Studierenden berücksichtigt werden müssen. Dazu gehören beispielsweise auch die Auswirkungen der Corona-Pandemie. So hat der geringe Präsenzanteil während der Corona-Pandemie möglicherweise Defizite im Lehr- und Lernverhalten sowie im Kontakt zwischen Studierenden und Lehrenden verursacht. Die Quantifizierung dieses Einflusses anhand der im WS 2021/22 hybrid angebotenen LV „Grundlagen der fluidtechnischen Antriebe und Steuerungen“ zeigt, dass hier gemäß Abb. 4 bisher die größte Diskrepanz zwischen eingeschriebenen und tatsächlich an der Klausur teilnehmenden Studierenden bestand. Abb. 5 stellt hierzu die Teilnahme an Vorlesung und Klausur im Semesterverlauf dar, welche für jede Vorlesung ca. 20 Minuten nach Beginn manuell erfasst wurde: Obwohl 213 Direktstudierende eingeschrieben waren, nahmen zu Semesterbeginn nur 131 an der Vorlesung teil. Zudem gab es eine stetige Abnahme im Semesterverlauf auf ca. 50 Studierende am Semesterende. Interessanterweise gab es 154 Einschreibungen für die Klausur (25.1.2022), an der letztendlich jedoch nur 103 (68 %) tatsächlich teilnahmen (28.2.2022).

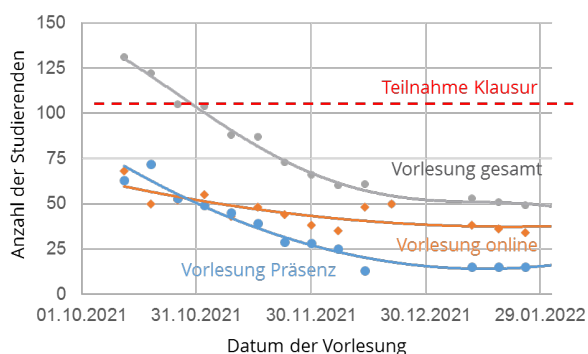


Abb. 5: Teilnehmende im Fach „Grundlagen der fluidtechnischen Antriebe und Steuerungen“ (LV und Klausur) im WS 2021/22

In der abschließenden internen Lehrevaluation wurden mögliche Ursachen für die hohe

Rücktrittsrate erörtert. Da sich viele Studierende erst wenige Tage vor der Prüfung gegen die Teilnahme entschieden, könnten sie sich nicht ausreichend vorbereitet gefühlt haben. Zudem könnte die intrinsische und extrinsische Motivation der Studierenden für den speziellen Fachbereich der Fluid-Mechatronik gesunken sein. In beiden Fällen kann ein ursächlicher Einflussfaktor der verlorene Kontakt zwischen Lehrenden und Studierenden sein, der während der Corona-Pandemie besonders deutlich wurde.

Darüber hinaus haben diese Entwicklungen auch konkrete Folgen für die Professur: Die sinkenden Studierendenzahlen äußern sich z. B. in weniger Bewerbungen für Studienarbeiten und SHK-Tätigkeiten.

3. Gegenmaßnahmen an der Professur – Idee der studentischen Arbeitsgruppe

Die bisherigen Erfahrungen der Professur zeigen, dass

- ein direkter Kontakt zu Studierenden über den gesamten Studienzeitraum,
- Möglichkeiten zur Vernetzung und zum gegenseitigen Austausch sowie
- zusätzliche Angebote über den klassischen Lehrplan hinaus (z. B. Exkursionen, Gastvorträge, Konferenzteilnahmen)

wesentlich sind, um Interesse am Fachgebiet zu wecken, berufliche Perspektiven aufzuzeigen und insbesondere die Motivation für die aktive Teilnahme an Lehrveranstaltungen zu erhöhen.

Darüber hinaus zeigen wissenschaftliche Erkenntnisse, dass selbstreguliertes Lernen (SRL) die Motivation der Studierenden signifikant steigern kann. Theoretische Modelle betonen die Rolle der Selbstregulation in der Motivation und dem Lernerfolg. Empirische Studien belegen, dass SRL die Leistung und Motivation verbessert, indem es Autonomie und Selbstwirksamkeit fördert, und die Fähigkeit der Studierenden stärkt, ihre Ziele zu setzen und zu erreichen. [6, 7, 8, 9]

Um diese Erkenntnisse auf die Lehre an der Professur zu übertragen und anzuwenden, wurden folgende Methoden und damit verbundene Teilziele identifiziert:

- Den Studierenden mit dem Angebot von Arbeitsgemeinschaften (AGs) ein kollaboratives Umfeld zum Lernen schaffen, wo sie sich gegenseitig unterstützen und gemeinsam an Projekten arbeiten können.
- Hierbei durch praktische, realitätsnahe Anwendungsbeispiele die Relevanz des Gelernten verdeutlichen und die Neugierde sowie das allgemeine Interesse der Studierenden am Fachgebiet wecken/steigern.
- Mit Hilfe des selbstregulierten Lernens anhand von Experimenten den Studierenden mehr Möglichkeiten bieten, theoretische Konzepte praktisch/aktiv zu erproben und eigenständig zu erforschen, was ihre Motivation und ihr Verständnis fördert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die Kombination von selbstreguliertem Lernen, praktischen Anwendungsbeispielen und der Vernetzung in studentischen Arbeitsgruppen die Motivation und das Verständnis der Studierenden signifikant gesteigert werden können. Diese Ansätze fördern nicht nur die Autonomie und Selbstwirksamkeit, sondern bereiten die Studierenden schon im Semesterverlauf besser auf die Anwendung der Vorlesungsinhalte und das Absolvieren der Klausuren vor. Beispiele wie die bereits an der TU Dresden existierenden Hochschulgruppen Akaflieg, TURAG oder Elbflorace zeigen, dass solche Konzepte erfolgreich umgesetzt werden können und die Verknüpfung zwischen Studium, Forschung und Industrie vorantreiben.

Dank der Förderung der Fakultät *Maschinenwesen* im Rahmen von Lehr-/Lernprojekten konnte die Professur im Juni 2022 ein Projekt starten, welches die zuvor erläuterten Herausforderungen bzgl. der sinkenden Zahl und Beteiligung der Studierenden an der *Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik* adressiert.

Das primäre Ziel des Projekts war die Verbesserung der Lehre sowie die Stärkung des allgemeinen Interesses und der Neugierde am Fachgebiet durch praktische Anwendungsbeispiele. Hiermit soll eine Reduzierung der Rücktrittsrate von Prüfungen erreicht werden und ein höherer Anteil eingeschriebener Studierender zur aktiven Teilnahme an Lehrangeboten der Professur motiviert werden. Darüber hinaus sollte der studentische Austausch

(„Hilfe zur Selbsthilfe“) und der Kontakt zu Dozierenden gefördert, um direkte Rückmeldungen zur Qualität der Lehre zu erhalten.

Langfristig soll das sinkende Studierendenzahlen stoppen bzw. gegensteuern. Dies soll durch die Nutzung der erarbeiteten didaktischen Methoden für weitere Verbesserungen der Lehre („Attraktivere Gestaltung der Lehre“) und durch die stetige Weiterentwicklung der entstandenen Demonstratoren in den Folgeseestern, u. a. durch Studien- und Belegarbeiten, erreicht werden. Die entwickelten Demonstratoren werden als „erlebbarer Fluidtechnik“ weiter genutzt, um die Sichtbarkeit des Maschinenbaus und insbesondere der Fluid-Mechatronik zu erhöhen. Sie können sowohl während des Studiums in Vorlesungen und Übungen aller Lehrveranstaltungen der Professur als auch im allgemeinen gesellschaftlichen und schulischen Kontext, beispielsweise bei Schülerprojekten oder Präsentationen auf dem Campus und bei öffentlichen Veranstaltungen wie der *Langen Nacht der Wissenschaften* eingesetzt werden.

Ein zentraler Bestandteil des Projekts war die Vorbereitung einer studentischen Arbeitsgruppe, bestehend aus einem Kernteam von 4-12 Studierenden, die eigenverantwortlich die Konzeptionierung, Entwicklung und Umsetzung verschiedener Projekte innerhalb der Gruppe übernehmen. Dabei werden sie fachlich von ein bis zwei wissenschaftlichen Angestellten unterstützt. Ziel war die Entwicklung anwendungsnaher, verständlicher Demonstratoren, die fluidtechnische Themen praktisch „erlebbar“ machen.

Im Rahmen des Projekts wurden bisher drei Anwendungsbeispiele erprobt, die in den folgenden Kapiteln detailliert erläutert werden:

1. Ein **Lastenfahrrad** mit hydrostatischem Antrieb anstelle eines Kettentriebs,
2. ein Demonstrator für **Niederdruck-Hydraulik** im Bereich von 0 bis 50 bar und
3. die Evaluation des **3D-Drucks** als Fertigungsmethode für fluidtechnische Komponenten im Niederdruckbereich.

4. Anwendungsbeispiel „Lastenfahrrad“

Das Konzept der AG *Lastenfahrrad* orientiert sich an der „National Fluid Power Vehicle Challenge“ in den USA [10], bei der studentische

AGs Fahrräder innerhalb eines Semesters mit hydrostatischen Antrieben ausrüsten und in verschiedenen Disziplinen erproben. Abb. 6 zeigt zwei Preisträger aus der Saison 2017/18. Im Gegensatz zu den USA, wo die Teams nach jedem Semester wechseln und die Entwicklung von neuem beginnt, verfolgt die AG *Lastenfahrrad* der Professur das Ziel, innerhalb eines Semesters einen funktionsfähigen Demonstrator aufzubauen und diesen semesterübergreifend kontinuierlich weiterzuentwickeln und zu optimieren.



Abb. 6: Hydraulisches Fahrrad der Cleveland State University (oben) und der Milwaukee School of Engineering (unten) [10].

Das Konzept der AG sieht einen mehrstufigen Aufbau vor: Ein Kernteam Studierender verschiedener Studien- und Vertiefungsrichtungen des gesamten Studienspektrums der Professur (vgl. Kapitel 2, S. 2) ist maßgeblich für die Konzeptionierung, Entwicklung und Umsetzung des Projekts verantwortlich. Innerhalb der AG besteht die Möglichkeit, Tätigkeiten entweder einzeln oder in Gruppen zu absolvieren. Darüber hinaus können gut abgrenzbare Detailfragen ausgegliedert bearbeitet werden – z. B. im Rahmen von Studien- oder Abschlussarbeiten.

Hinsichtlich technischer Aspekte und Entwicklungsschwerpunkte ermöglichen hydraulische

Getriebe zugkraftunterbrechungsfreie, stufenlose Übersetzungen sowie eine flexible Leistungsübertragung und Energiespeicherung.

Das in den Vorlesungen und Übungen vermittelte Wissen über die Eigenschaften hydraulischer Getriebe, deren Gestaltung und Dimensionierung wird im Anwendungsbeispiel praktisch umgesetzt. Außerdem kommen weitere Entwicklungsschwerpunkte sowohl des Maschinenbaus als auch der Fluidtechnik im Speziellen zum Einsatz wie:

- Konzeptentwicklung,
- Modellbildung und Simulation,
- Systemaufbau und
- experimentelle Tests und Optimierung.

Neben den technischen Aspekten fördert die AG auch nichttechnische (soziale bzw. interdisziplinäre) Kompetenzen wie Teamarbeit, Projektmanagement, Kommunikations- und Präsentationsfähigkeit sowie Vertriebstätigkeiten. So sieht das Konzept der AG u. a. vor, dass

- Erfahrungen und Ergebnisse in festen zeitlichen Intervallen anderen AG-Mitgliedern aber auch der Professur vorgestellt werden und
- der Demonstrator z. B. bei öffentlichen Veranstaltungen wie Laborführungen oder der *Langen Nacht der Wissenschaften* von den Studierenden betreut und präsentiert wird.

Darüber hinaus ist eine vielseitige Nutzung denkbar, z. B.

- als Leihfahrrad für Transporte und Besorgungen im Einzugsbereich des Campus,
- als Diskussionsgrundlage neuer Technologien und Geschäftsfelder bei Sponsoren und Industriepartnern oder
- als Anwendungsbeispiel in Vorlesungen, Übungen und Lehrpraktika zur praktischen Erläuterung von Vorlesungsinhalten.

Für die Integration des hydraulischen Getriebes wurde die Nutzung eines Lastenfahrrads als technologisch vielversprechendere Basis im Vergleich zu dem Einsatz gewichtsoptimierter Alltagsräder mit ausgereifter mechanischer Kraftübertragung identifiziert. Ziel bisheriger Arbeiten der AG war es, Antriebskonzepte zu entwerfen, zu dimensionieren und simulationsbasiert zu untersuchen. Im Ergebnis des konstruktiven Entwicklungsprozesses nach

VDI 2221 entstanden eine hydraulische 7-Gangschaltung aus Zahnringpumpe und drei unabhängig zuschaltbaren Orbitalmotoren sowie ein Grundkonzept für einen Hybridantrieb mit hydraulischem Speicher. Beide Systeme wurden als 1D-Systemsimulationsmodell aufgebaut und untersucht.

Im Ergebnis der Arbeiten liegt nun eine Systemvariante als Grobauslegung vor. Für die weitere Entwicklung müssen passende Motoren und Pumpen entwickelt werden, die sowohl bei sehr niedrigen Drehzahlen und hohen Momenten funktionieren, und zusätzlich auch in das Lastenfahrrad integrierbar sind.

Die Projektidee wurde in der Industrie sehr positiv aufgenommen. Die Firma CUBE [11] stellte ein Gestell für das Lastenrad zur Verfügung, das die Grundlage für die erfolgten und zukünftigen Arbeiten im Hinblick auf den Einbau des hydraulischen Antriebs bildet (Abb. 7).



Abb. 7: Lastenfahrrad der Professur als Grundlage zum Einbau des hydraulischen Antriebs

Trotz intensiver Werbemaßnahmen fanden sich jedoch nicht genügend Studierende für den Aufbau einer arbeitsfähigen AG. Lediglich zwei Studienarbeiten mit dem Fokus *Hydraulisches Lastenfahrrad* wurden bislang absolviert, um die zuvor dargestellten Entwicklungsergebnisse zu erreichen. Mehrere Faktoren könnten die geringe Beteiligung erklären: Der Komplettumbau wurde als zu schwierig empfunden, was potenzielle Interessenten abschreckte. Zudem bietet ein hydraulisches Fahrrad prinzipbedingt, d. h. ohne spezifische Optimierungen der Antriebstechnik, zunächst keine wesentlichen Vorteile gegenüber E-Bikes. Unsere Hoffnung, die Begeisterung für Hydraulik würde diesen

Nachteil ausgleichen, hat sich hierbei nicht erfüllt. Darüber hinaus fanden sich aufgrund der insgesamt geringen Anzahl an Studierenden nur wenige Interessenten, da andere Projekte wie 3D-Druck oder Niederdruck-Hydraulik attraktiver waren.

5. Anwendungsbeispiel „Niederdruck-Hydraulik“

Analog zum Konzept des hydraulischen Lastenfahrrads können auch beim Anwendungsbeispiel *Niederdruck-Hydraulik* der Aufbau und die Regelung großer industrieller Hydraulikanlagen in kleinem Maßstab nachvollzogen und selbstständig weiterentwickelt werden. Ziel des Beispielprojekts war es, mit einfachen hydraulischen Schaltungen und Steuerungen auf Basis von Einplatinencomputern (z. B. Raspberry Pi) oder Mikrocontrollern (z. B. Arduino oder ESP32) einen autark im Niederdruckbereich betreibbaren Demonstrator zu entwickeln.

Der Vorteil derart gestalteter, autarker Systeme ist, dass sie hinsichtlich ihrer Komplexität bzw. Schwierigkeit einfach skaliert und somit an verschiedene Kenntnisniveaus angepasst werden können. Für Studienarbeiten und Praktika können z. B. einfache Schaltungen verwendet werden oder komplexere Systeme für Diplomarbeiten. Gleichzeitig lässt sich das Zusammenspiel unterschiedlicher Domänen wie mechanischer Aufbau, hydraulisches System und elektrische Ansteuerung anschaulich darstellen. Im konkreten Beispiel bedeutet dies, dass über eine Gestensteuerung die Masse bewegt werden kann. Dabei wird visuell und akustisch erlebbar, wie sich der Motor mit der Pumpe dreht und der Zylinder bewegt.

Die für den Aufbau grundlegend notwendige Technik konnte aus Mitteln für Lehr-/Lernprojekte der Fakultät *Maschinenwesen* beschafft werden, was die Bedeutung der finanziellen Unterstützung für solche Projekte unterstreicht. Bisher haben bereits fünf Studienarbeiten an einem geschlossenen hydraulischen Kompaktantrieb gearbeitet (Abb. 8). Hierbei konnte in der Gruppe an einem gemeinsamen Thema gearbeitet werden, während sich für jeden Studierenden jedoch eine individuelle Teilaufgabe bzw. eigene Aufgabenstellung ergab.

So wurde speziell für das Beispiel der Niederdruck-Hydraulik das Antriebssystem gemeinsam entwickelt, wobei ein Student den hydraulischen Aufbau und ein anderer die Steuerung entwickelt hat.

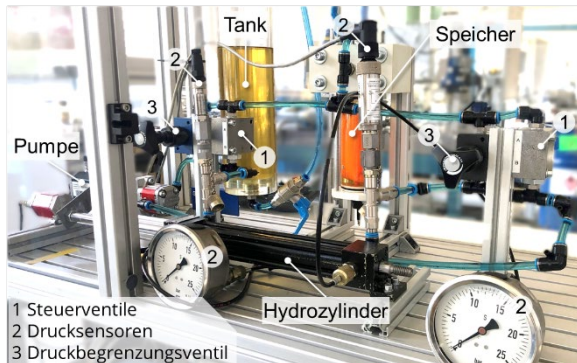


Abb. 8: Demonstrator eines geschlossenen hydraulischen Kompaktantriebs

Der entwickelte hydraulische Kompaktantrieb wurde zur *Langen Nacht der Wissenschaften* von Studierenden der AG präsentiert und konnte von den Gästen auch selbst ausprobiert werden. Das Feedback war sehr positiv. Somit konnte bei beiden Zielgruppen das Interesse und Verständnis für fluidtechnische Antriebe erhöht werden.

6. Anwendungsbeispiel „3D-Druck“

Aktuelle Industrieanwendungen nutzen bereits mittels 3D-Druck hergestellte Komponenten, da diese leichter, kompakter und energieeffizienter sind als traditionell hergestellte Komponenten [12]. Der 3D-Druck als moderne Fertigungstechnologie bietet den Studierenden ein weiteres interessantes Technologiefeld innerhalb der Fluidtechnik: Durch kosteneffizientes Prototyping, beispielsweise komplexer Ventil- oder Kanalgeometrien, und schnelle Iteration können sie praktische Erfahrungen sammeln und ihre Kenntnisse in den fluidtechnischen Grundlagen und der Funktionsweise hydraulischer Komponenten vertiefen.

In bisher insgesamt drei Studienarbeiten nutzten die Studierenden den aus Mitteln der Fakultät *Maschinenwesen* für Lehr-/Lernprojekte beschafften 3D-Drucker für die Fertigung verschiedener hydraulischer Bauelemente aus dem industriellen Einsatz. Im Anschluss unter-

suchten sie diese im Hinblick auf Eignung, Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der neuen Fertigungstechnologie unter speziellen fluidtechnischen Aspekten wie beispielsweise Dichtheit oder Druckfestigkeit (Abb. 9). Nach einer technischen Einweisung konnten die Studierenden hierbei selbstständig arbeiten und eigene Ideen umsetzen.

Die Anwendung einer modernen und innovativen Fertigungstechnologie in Verbindung mit der selbstständigen Versuchsdurchführung und Erprobung verschiedener (eigener) Designs wurde von den Studierenden als sehr positiv und motivierend bewertet. Darüber hinaus können die entwickelten Bauteile als Demonstratoren in der Lehre oder zu öffentlichen Veranstaltungen weitergenutzt werden, um fluidtechnische Funktionsprinzipien zu veranschaulichen.

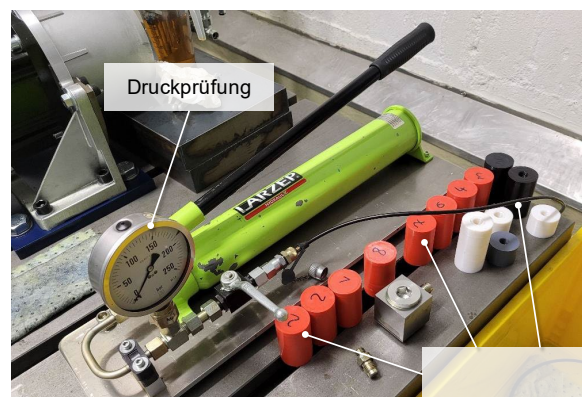


Abb. 9: Test der Druckfestigkeit für additiv – mit unterschiedlichen Druckeinstellungen und Materialien – gefertigte Probekörper

7. Fazit

Die TU Dresden, insbesondere die Fakultät *Maschinenwesen* sind in den letzten Jahren mit einem signifikanten Rückgang der Studierendenzahlen konfrontiert. Hinzu kommen hohe Rücktrittsquoten bei Klausuren, wie sie beispielsweise an der *Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik* beobachtet wurden. Diese Entwicklungen haben negative Folgen, wie etwa den Mangel an Unterstützung im Forschungsbetrieb, was den Rückgang der Studierendenzahlen weiter verstärkt.

Folglich besteht dringender Handlungsbedarf, um diesem Trend entgegenzuwirken und die Attraktivität des Fachbereichs *Fluidtechnik* zu

steigern. Dazu gehören u. a. die Einführung praxisorientierter Lehrmethoden, die Förderung selbstregulierten Lernens durch studentische Arbeitsgruppen und die Stärkung der Sichtbarkeit des Fachgebiets. Die Übertragung industrieller Anwendungsbeispiele in eine verständliche und handhabbare Größe ist ein sinnvoller Baustein auf diesem Weg. Dies sollte idealerweise durch die Studierenden selbst geschehen, erfordert jedoch – wie die Erfahrungen aus den dargestellten Projekten zeigen – ein erhebliches Maß an Unterstützung durch das wissenschaftliche Personal. Das Beispiel der AG *Lastenfahrrad*, das nicht wie erhofft von den Studierenden angenommen wurde, verdeutlicht den Bedarf weiterer Analysen und Anpassungen, um langfristig positive Effekte zu erzielen.

Dennoch sind erste Erfolge sichtbar, insbesondere bei den Anwendungsbeispielen *3D-Druck* und *Niederdruck-Hydraulik*. Diese Projekte zeigen, wie innovative Ansätze in der Lehre umgesetzt werden können, um das Interesse und die Motivation der Studierenden zu steigern. So weckte die Vorstellung des Niederdruck-Hydraulik-Demonstrators zur *Langen Nacht der Wissenschaften* breites Interesse, und das positive Feedback spricht für den Erfolg. Insgesamt wurden im Rahmen der vorgestellten Beispielprojekte in den Jahren 2023 und 2024 zehn Studienarbeiten bearbeitet. Bei jährlich etwa 25 Studienarbeiten insgesamt an der Professur ist dies als gutes Ergebnis zu werten. Zusätzlich konnten weitere Firmkontakte zur Unterstützung der Projekte aufgebaut werden. Die nächsten Schritte umfassen neben weiteren Themen für Studienarbeiten die Ableitung konkreter Übungs- und Vorlesungsinhalte sowie die Weiterentwicklung der Demonstratoren.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Fakultät *Maschinenwesen* für die Förderung dieses Projektes im Rahmen der Ausschreibung zu Lehr-/ Lernprojekten im Jahr 2022. Die finanzielle Unterstützung und der gegenseitige Austausch sind eine wesentliche Voraussetzung für die stetige Weiterentwicklung der Lehre.

Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: Anzahl der Studienanfänger im ersten Hochschulsemester in Deutschland in den Studienjahren von 1995/1996 bis 2021/2022. Statista, Statista GmbH, letzter Zugriff: 12.12.2022. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/4907/umfrage/studienanfaenger-in-deutschland-seit-1995/>
- [2] Technische Universität Dresden: Statistischer Jahresbericht, Zentrale Universitätsverwaltung, Jahre 2008 bis 2024
- [3] Statistisches Bundesamt (Destatis): Studierende an Hochschulen: Fächersystematik. 2024, letzter Zugriff: 15.05.2024. <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Bildung/studenten-pruefungsstatistik.html>
- [4] Statistisches Bundesamt: Studierende nach Fächergruppen. letzter Zugriff: 15.05.2024. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bildung-Forschung-Kultur/Hochschulen/Tabelle/studierende-insgesamt-faechergruppe.html>
- [5] Hillebrecht, L.: Einflussfaktoren des Studienerfolgs im Vollzeit-Studium. In: Studienerfolg von berufsbegeleitend Studierenden. Economics Education and Human Resource Management. Springer, Wiesbaden, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-658-26164-1_3
- [6] Karlen, Y.; Hirt, C.; Zimmermann, S.: Was bedeutet selbstreguliertes Lernen?. letzter Zugriff: 10.02.2025 <https://www.selbstreguliertes-lernen.uzh.ch/de/fuer-lehrpersonen/lehrperson-themenbeitraege/was-bedeutet-selbstreguliertes-lernen.html>
- [7] Lesperance, K. et al.: Selbstreguliertes Lernen fördern. Lernstrategien im Unterricht erfolgreich vermitteln Münster: Waxmann, 2023. <https://doi.org/10.25656/01:28190>
- [8] Perels, F., Benick, M., Dörrenbächer-Ulrich, L.: Selbstreguliertes Lernen. In: Reinders, H. et al. (Hg.): Empirische Bildungsforschung. Wiesbaden: Springer, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27277-7_39
- [9] Schunk, D. H.; Zimmerman, B. J. (Hg.): Motivation and self-regulated learning: Theory, research, and applications. Lawrence Erlbaum Associates, 2008. <https://doi.org/10.4324/9780203831076-17>
- [10] National Fluid Power Association NFPA: Fluid Power Vehicle Challenge. letzter Zugriff: 10.02.2025. <https://www.nfpa.com/fluid-power-vehicle-challenge>
- [11] Cube: Trike Concept. letzter Zugriff: 14.12.2022. <https://www.cube.eu/de-de/e-bikes/transport/trike-concept>
- [12] Merger, D.: 3D-Druck wird zum Standardverfahren für Hydraulikkomponenten. Fluid 2018, letzter Zugriff: 12.02.2025. <https://www.fluid.de/hydraulik/id-3d-druck-wird-zum-standardverfahren-fuer-hydraulikkomponenten-318.html>



Konzeption eines Experimentallabors zur digitalen und flexiblen Gestaltung forschungsorientierter Lehre

Lisa Eggerichs, Hans Jörg Schmidt

Zentrum für interdisziplinäres Lernen und Lehren, TU Dresden, 01062 Dresden

Abstract

Das Experimentallabor für Digitalisierung und Flexibilisierung von Lehre an der TU Dresden ist ein interaktiver, flexibel gestaltbarer Raum, bestehend aus verschiedenen physischen und virtuellen Komponenten. Lehrende erhalten dort Unterstützung bei der Entwicklung und Durchführung von (teil-) digitalen Lehrveranstaltungen mit einem Schwerpunkt auf forschungsorientierten Lehr- und Lernformaten. Didaktische Konzepte, wie z. B. Flipped Classroom oder Blended Learning-Ansätze, können im Experimentallabor hands on ausprobiert, Medien für den Einsatz in der forschungsorientierten Lehre – u. a. mit Hilfe eines Lightboards – niedrigschwellig produziert werden.

Der Beitrag stellt das Konzept des Experimentallabors als Lernwerkstatt und relationaler Raum vor, geht dabei auf relevante Theoriekonstrukte ein und leitet daraus Raumnutzungsszenarien und Elemente der Realisierung ab. Schließlich wird der aktuelle Umsetzungsstand beschrieben.

The experimental laboratory for the digitalization and flexibilization of teaching at TU Dresden is an interactive, flexibly configurable space consisting of various physical and virtual components. Lecturers receive support in the development and implementation of (partially) digital courses with a focus on research-oriented teaching and learning formats. Didactic concepts, such as flipped class-room or blended learning approaches, can be tested in the experimental laboratory, and media for use in research-oriented teaching can be produced easily e.g. by using a lightboard

The article presents the concept of the experimental laboratory as a teaching learning laboratory and relational space, discusses relevant theoretical constructs and derives scenarios for the use of the space and elements of implementation. Finally, the current state of implementation is described.

*Corresponding author: lisa.eggerichs@tu-dresden.de

1. Einführung

„Arbeit 4.0“, „Industrie 4.0“ oder „Verwaltung 4.0“ sind Begriffe, die auf aktuelle, durch die Digitalisierung getriebene Veränderungsprozesse in der Gesellschaft anspielen. Der mit ihnen signalisierte, massive Wandel grundlegender gesellschaftlicher Teilbereiche wirkt sich auch auf das universitäre Lernen und Lehren und somit auch auf die damit verbundenen Arbeits- und Vermittlungsformen aus. Analog zu den vorgenannten Begriffen ist in der hochschulpolitischen und hochschuldidaktischen Diskussion deshalb in jüngerer Zeit öfter von „Universität 4.0“ oder „Lernen 4.0“ die Rede.

Neben der Digitalisierung aller gesellschaftlicher Bereiche und der sich mit ihr wandelnden Arbeits-, Kommunikations- und Kollaborationsprozesse wird für den Bereich der Hochschulbildung gleichzeitig seit geraumer Zeit ein Wandel „from teaching to learning“ [1, 2] postuliert, der – ähnlich zur „New Work“-Bewegung im Kontext von „Arbeiten 4.0“ – eine Entwicklung hin zu projektorientiertem, fachübergreifendem und problembasiertem Lernen in Gruppen- oder Projektarbeiten [2] nach sich zieht. Im Schlagwort „from teaching to learning“ drückt sich eine Abkehr von der Input-Steuerung aus hin zu einer Orientierung an den Ergebnissen bzw. Produkten des Lernens (Output-Orientierung) und den Kompetenzen und Strategien, die eingesetzt bzw. benötigt werden, um diese zu erreichen [3].

Digitale Medien und Kommunikationszusammenhänge können diesen Shift aktiv unterstützen, denn sie verändern den Blick auf Lehr-Lernprozesse [4]. Neben einer hochschuldidaktisch sinnvollen Digitalisierung des Lernens und Lehrens braucht es aber auch eine Neugestaltung der physischen Infrastruktur an den Universitäten, um den gewandelten Anforderungen Rechnung zu tragen und adäquate Räume für realitätshaltiges „Lernen 4.0“ in der „Universität 4.0“.

Das Experimentallabor spielt hierauf ein und eröffnet einen interaktiven Explorations-Raum für (teil-) digitale Lehre, in dem Forschende von DRESDEN-concept Instituten und Lehrende der TU Dresden Unterstützung bei der Gestaltung von digitalen und hybriden forschungsorientierten Lehrveranstaltungen erhalten

und Hilfestellungen zum hochschuldidaktisch sinnvollen Einsatz von digitalen Medien und Lernmaterialien bekommen können.

Es ist Teil des Teaching Synergies Program und trägt im Kontext der Exzellenzuniversität TUD 2028 – *Synergy and beyond* zur Entwicklung und Erprobung innovativer (teil-) digitaler Lehr- und Lernszenarien bei [5]. Den Nutzenden gibt es Impulse und eröffnet Austauschmöglichkeiten zur Neu- bzw. Weiterentwicklung innovativer Lehr- und Lernangebote im Kontext von Flipped Classroom oder allgemein Blended Learning-Konzepten.

Durch die Erprobungsmöglichkeit unterschiedlicher räumlich-medial-didaktischer Settings werden vielfältige Gestaltungsoptionen und Nutzungsszenarien für Lehr- und Lernorte der TU Dresden und deren hochschuldidaktische Begründung in direkter Interaktion erleb- und erfahrbar.

Das Experimentallabor bietet nicht nur einen physischen Raum für den Videodreh mit einem Lightboard, sondern auch zwei Räume für die Erprobung von Präsenzlernräumen im Kontext von Blended Learning. Dabei geht es konzeptionell über ein statisches Raumangebot hinaus. Es versteht sich als Raum im weiteren Sinne, in dem Lehrende (teil-) digitale und hybride Lernarrangements begleitet oder/und frei experimentell entwickeln, erproben und sich dazu austauschen können. Besonders im Mittelpunkt steht dabei das Erproben hybrider und digitaler Umsetzungen forschungsorientierter Lehre. Konzeptionell orientiert es sich an der Idee der *Hochschullernwerkstätten* in Verbindung mit einem *relationalen Raumverständnis* nach Löw [6].

Ausgehend von einer engen Verknüpfung von Forschung und Lehre adressiert das Experimentallabor die folgende Fragestellung:

Welche Digitalisierungs- und Flexibilisierungsoptionen unterstützen die Verknüpfung von Forschung und Lehre besonders?

In diesem Kontext bieten Angebote im Experimentallabor Antworten auf zahlreiche in der Hochschul- und Mediendidaktik relevante Fragen:

- Wie lassen sich interaktive an Blended Learning Ansätzen orientierte Lernsettings im physischen und digitalen Raum umsetzen?

- Durch welche lehrunterstützende Digitalisierungs- und Flexibilisierungsmöglichkeiten lässt sich die jeweilige fachspezifische Forschungsform besonders gut in der Lehre thematisieren?
- Welche Digitalisierungs- und Flexibilisierungsmöglichkeiten können eingesetzt werden, um die Forschungstätigkeit bzw. das Verständnis von Forschungsprozessen besonders gut zu unterstützen?
- Durch welche Digitalisierungs- und Flexibilisierungsmöglichkeiten können die Grundpfeiler forschenden Lernens [7] besonders gut in der Lehre umgesetzt werden?
- Wie können die Raumgestaltung und Raumnutzung von Präsenz- und hybriden Settings besonders gut auf die Verknüpfung von Lehre und Forschung ausgerichtet werden?
- Welche lehrunterstützende Darstellungs- und Digitalisierungsmöglichkeiten bietet die jeweilige Forschungsform?
- Welche analogen/digitalen Medien können eingesetzt werden, um die Forschungstätigkeit oder das Verständnis für den Forschungsprozess zu unterstützen?
- Wie wirken sich Materialangebot, Medien, Möblierung und Ausstattung auf die Nutzung des Raumes aus?

Im Folgenden werden relevante Theoriekonzepte aus den Bereichen Lernraumgestaltung, Hochschullernwerkstätten, relationales Raumverständnis, forschungsorientiertes Lernen und Lehren und zum Einsatz digitaler Medien in der universitären Lehre dargestellt, bevor schließlich das Konzept in seinen Bestandteilen näher erläutert wird.

2. Darstellung relevanter Theoriekonzepte

Aus den Überlegungen kristallisieren sich verschiedene relevante Theoriekonzepte heraus. So fließen in die Konzeption und die Gestaltung des Experimentallabors bildungstheoretische Grundlagen zum Lernen und zur Forschung, mediendidaktische Überlegungen sowie Konzepte zu forschungsorientierten Lehr-/Lernformaten ein. Die konzeptionelle und

physische Gestaltung des Raumes basieren auf Überlegungen zur Raumsoziologie, Lernraumentwicklung und zu Lernwerkstätten.

Der eingangs erwähnte Perspektivwechsel vom Lehren hin zum Lernen geht einher mit der kritisch hinterfragenden Reflexion der Beziehung von Wissenschaft und Gesellschaft bzw. Beruf und Gesellschaft [3]. Die Bildung an einer Hochschule oder Universität vollzieht sich im Sinne dieses Erkenntnisstrangs im „Medium der Wissenschaft“ [3, 8]. Anschließend an Wilhelm von Humboldt [9] wird Wissenschaft verstanden als noch nicht ganz aufgelöstes Problem, was eher ein aktives Lernen über einen ‚deep approach‘ erforderlich macht – und folglich ein Lernen impliziert, das an Handlungskompetenz und Selbstorganisation ausgerichtet ist [3]. Forschen schöpft dabei aus derselben Triebkraft wie das Lernen und strebt danach, neues Wissen zu generieren [10]. Forschendes Lernen (research-based learning nach Healy & Jenkins [11]) ist dabei eine Makromethode und gleichzeitig eine Umsetzung des forschungsnahen [12] bzw. forschungsorientierten Lernens und Lehrens [13]. Je nach Grad der aktiven Einbindung der Studierenden und Art der Thematisierung von Forschung (Inhalt oder Prozess) wird (zusätzlich zum o. g. research-based learning) noch zwischen dem research-tutored, research-led und research-oriented learning [11] unterschieden.

Forschendes Lernen als Makromethode ist ein hochschuldidaktisches Format, bei dem Studierende in Seminaren und Projekten selbst forschen. Lernen und Forschen werden dabei durch die Bereitstellung von Lernarrangements miteinander verbunden. Forschendes Lernen vollzieht sich idealtypischer Weise in einem sukzessiven Forschungszyklus und beginnt in der Regel mit der Themenfindung bzw. der Formulierung von Fragestellungen oder Hypothesen, geht über die Durchführung und Auswertung der Ergebnisse und endet (stets im Status der Vorläufigkeit bleibend) mit der Wissenschaftskommunikation bzw. Anwendung der Ergebnisse.

Um den Forschungszyklus fachspezifisch zu gestalten und digital zu unterstützen, ist es hilfreich, sich mit Forschung und Wissenschaft im Allgemeinen auseinanderzusetzen und unterschiedliche Fachkulturen zu berücksichtigen.

Der Wissenschaftsrat [14] hat sechs distinkte Forschungsformen identifiziert: die experimentierende Forschungsform, die Simulation, die beobachtende Forschungsform, die hermeneutisch-interpretierende Forschungsform, die gestaltende Forschungsform und die begrifflich-theoretische Forschungsform. Reinmann [15] formuliert davon ausgehend jeweils konkrete Erkenntnistätigkeiten wie etwa qualitative oder quantitative Datenerhebung, Entwerfen oder Experimentieren.

Forschendes Lernen stützt sich prozedural auf fünf Grundpfeiler: Projektmanagement, Rückmeldestrukturen, Reflexion, Dokumentation und Präsentation [7].

Auf Basis verschiedener Ansätze [11, 12, 16] im Bereich der forschungsorientierten Lehre, die sich auf den Kerngedanken der Bildung durch Wissenschaft beziehen, erarbeiteten die drei Exzellenzuniversitäts-Programme zur Stärkung der forschungsorientierten Lehre an der Technischen Universität Dresden ein gemeinsames Verständnis. Zielstellung dieses TUD-spezifischen Verständnisses, das als „forschungsorientiertes Lernen und Lehren (FoLL)“ bezeichnet wird, ist die Vermittlung von Forschungskompetenzen (entsprechend des 2023 verabschiedeten Europäischen Kompetenzrahmens für Forschende [17]) und die Förderung einer forschenden Grundhaltung. Dabei werden die Forschung als Inhalt, das Forschen als Weg und die Reflexion dieser Tätigkeiten als Erkenntnis miteinander verknüpft. Somit sollen Studierende im Rahmen von Lehrveranstaltungen oder im Zuge eigener Forschungsvorhaben dazu befähigt werden, Forschen zu lernen und sich durch selbstwirksame Ausübung von Wissenschaft zu bilden, sowie dafür relevante Forschungskompetenzen zu erwerben, Forschungsinhalte kennenzulernen sowie das gewählte Vorgehen kritisch zu reflektieren, um Erkenntnisse zu gewinnen.

Fragt man darauf aufbauend nach den Potenzialen digitaler Medien, so ist zu überlegen, welche Möglichkeiten Digitalisierung für die jeweilige Forschungsform bzw. die ihr zugeordneten Erkenntnistätigkeiten bietet. Daran anschließend stellt sich die Frage, welche „Potenziale digitale Medien als Lehr-Lernwerkzeuge oder in Gestalt von Lern- und Bildungsräumen

für Forschungstätigkeiten im Rahmen von konkreten Veranstaltungen oder in Eigenverantwortung bieten“ [18]. Es ergeben sich daraus drei weiterführende Fragen:

- Zu welchem Zeitpunkt können digitale Medien sinnvollerweise eingesetzt werden (→ wann)?
- Welche digitalen Medien bzw. Verfahren sind für die spezifische Situation geeignet (→ was)?
- Wie und mit welchen digitalen Medien kann die jeweilige Säule adressiert werden (→ wie)?

Digitale Medien werden in diesem Zusammenhang als Werkzeuge zur Unterstützung forschungsnaher Lehre verstanden [18].

Um die zuvor genannten inhaltlichen Fragen im jeweiligen Kontext konkreter Lehrveranstaltungen zu beantworten, soll das Experimentallabor konzeptionell als Hochschullernwerkstatt aufgebaut werden und den Lehrenden ausgehend von ihren tatsächlichen Bedarfen die Möglichkeit bieten, die mit der Lehrumsetzung verbundenen Themenfelder explorativ zu erkunden und gewinnbringend für ihre forschungsorientierte Lehre zu bearbeiten.

Dieser umsetzungsgeleitete Ansatz folgt der Tendenz, dass Lernwerkstätten und Hochschullernwerkstätten sich in den letzten Jahrzehnten grundsätzlich zu einer innovativen Möglichkeit entwickelt haben, um zukünftige Lehrkräfte in didaktischen und pädagogischen Themenfeldern zu bilden, indem sie ihnen einen kuratierten Handlungs- und Erfahrungsraum eröffnen [19]. Lernwerkstätten sind historisch eher im Feld der Lehrkräfteausbildung und der didaktischen Gestaltung von Lernräumen an Grundschulen und Kindergärten verortet, werden aber vermehrt auch an Universitäten und Hochschulen zur Kompetenzentwicklung von Studierenden eingesetzt. Diese Idee der Hochschullernwerkstätten lässt sich nun aber nicht nur auf die Lehrkräftebildung und die Kompetenzentwicklung von Studierenden, sondern auch für die Qualifizierung von Hochschullehrenden adaptieren. Durch das den Lernwerkstätten inhärente Prinzip des didaktischen Doppeldeckers (= Lernen auf zwei Ebenen, welches sowohl fachliche als auch soziale/emotionale Aspekte umfasst)

werden die Lehrenden einer Universität als sich in der Lehrkräftebildung befindliche Lernende und die Schüler:innen als Studierende begriffen.

Als Grundlage für die konzeptionellen Betrachtungen ist es hilfreich, den Begriff ‚Lern-Werk-Statt‘ in seine tragenden Sinneinheiten zu zerlegen und ausgehend von den drei Wort-Bestandteilen mit je spezifischer Bedeutung zu belegen. So bezieht sich das Lernen in einer LERNwerkstatt auf ein innovatives Konzept von Lernen als „Selbstlernkonstruktion“ [19, 20]. Dabei wird der Fokus auf die explorative Aneignung (und weg von der instruktiven Vermittlung) von Lerninhalten verschoben [21]. Das Werk im Begriff ‚LernWERKstatt‘ bezieht sich eher auf ein Produkt, welches durch die explorative Aneignung und das selbstwirksame Lernen entsteht. Allerdings ist das Werk selten klar definiert und kann auch als abstraktes Konstrukt im Sinne der Veränderung/Verbesserung einer Ausgangssituation betrachtet oder im Aufbau von deklarativem und prozeduralem Wissen verstanden werden. Der Bestandteil STATT im Begriff ‚LernwerkSTATT‘ bezieht sich auf den physischen (digitalen, hybriden) Raum [22] als Stätte [23] und beschreibt damit einen hochwertig ausgestatteten physischen Raum [24].

Hochschullernwerkstätten können als zu einer Aktivität aufforderndes Umfeld verstanden werden, also Impulse geben für einen handelnden Umgang mit Personen und Dingen. Sie bieten damit die Grundlagen für ein forschendes und entdeckendes Lernen [25, 26].

Um das Experimentallabor an der Zielgruppe von Hochschullehrenden als Lernenden auszurichten, erscheint es darüber hinaus sinnvoll, auch deren Lernen im Kontext eines Raumes (bzw. spezifischer: einer Hochschullernwerkstätte) in den Blick zu nehmen. Dabei liegt das Augenmerk besonders auf dem subjektivierenden Lernweg und in der transaktionalen Beziehung der Lehrenden (= Lernenden) zum physischen Raum als dreidimensionale Gegebenheiten und zu den Objekten im Raum. Dabei werden Hochschulwerkstätten über den in einer bestimmten Weise ausgestatteten Raum hinaus auch zu anderen Räumen, die durch das In-Bezug-Setzen von Lernenden, Dingen,

Raumstrukturen und Lerninhalten emergieren [6, 27].

Es bietet sich daher an, den Raum des Experimentallabors und die darin stattfindenden Prozesse im Sinne eines relationalen Raumverständnisses zu betrachten und damit die soziale Konstruktion als zusätzliches raumbildendes Momentum zu begreifen. Dadurch wird das prozesshafte Entstehen des Raumes konzeptionell berücksichtigt [28]. Räume existieren demnach nicht nur einfach so als materielle Gegebenheit, sondern werden auch durch soziales Handeln hergestellt und konstruiert [28]. Umgekehrt beeinflussen Räume wiederum das Handeln der sie nutzenden Personen. Der Raum wird demzufolge zum „Hybriden aus materiellen Bedingungen und sozialer Nutzung“ [29] mithin zu einer Melange von Objekten der Elemente *soziale Güter* und *Lebewesen*, die durch die handelnden Personen wahrgenommen und zu einem Raum zusammengeschlossen werden [29].

Soziale Güter sind dabei die nicht-menschlichen Elemente in einem Raum, die wiederum in primär materielle (z. B. Möbel) und primär symbolische Güter (z. B. Hinweisschilder) unterschieden werden können. Lebewesen, also Menschen und Tiere, sind somit ebenfalls Elemente des Raumes. Der Vorgang des *Spacings* (also des gezielten Herrichtens eines Raumes) beinhaltet dabei das Platzieren und Situieren der Elemente, wobei sich die *Syntheseleistung* im Zusammenschließen dieser zu einem kohärenten Wahrnehmungsraum zeigt [30]. In raumsoziologischer Perspektive umfasst der „Vorgang des Spacings [...] das Platzieren von sozialen, primär materiellen Gütern und Menschen (bzw. anderen Lebewesen)“ [6, S. 158]. Es werden darunter Prozesse verstanden, wie das Errichten, Bauen und Positionieren von Elementen [6]. Die Syntheseleistung besteht im „Zusammenfassen von sozialen Gütern, Menschen, Menschengruppen, Pflanzen und/oder Tieren zu Räumen über Wahrnehmungs-, Vorstellungs- und Erinnerungsprozesse“ [6, S. 159].

Vor dem Hintergrund, Prozesse in Räumen mit Hilfe des relationalen Raumverständnisses beschreiben und damit auch die Lernenden in den Fokus nehmen zu können, soll das Experi-

mentallabor entsprechend der darin enthaltenen Elemente (Spacing) und des Herstellens von Beziehungen zwischen diesen Elementen (Synthese) eingerichtet werden.

Um ein Lehr-/Lernangebot zu schaffen, welches den Lernenden zum einen ermöglicht, selbst Lernerfahrungen zu machen, und diese zum anderen auf die Studierenden als Lernende zu übertragen, ist es notwendig, sich vergleichend mit unterschiedlichen Lernraumrealisierungen und Prinzipien der Lernraumgestaltung auseinanderzusetzen. Aus diesem systematischen Vergleich können Schlussfolgerungen für die Einrichtung eines qualifikationszieladäquaten Raumes gezogen werden. Wichtig dabei ist, dass der Raum die Nutzenenden auf unaufdringliche Weise dazu einlädt, hochschuldidaktische Inspirationen zu erfahren und Austauschmöglichkeiten anzunehmen, die eine Neu- bzw. Weiterentwicklung innovativer Lehr- und Lernangebote im Kontext des Flipped Classroom oder allgemein im Rahmen von Blended Learning-Konzepten fördern.

Außerdem werden neben den Ableitungen aus den benannten Konzepten auch Überlegungen und Schlussfolgerungen des Stifterverbandes zum Thema Lernraumgestaltung in die Umsetzung einbezogen. Beruhend auf hochschul-, medien- und raumdidaktischer Expertise formulierte dieser 2022 zehn Leitlinien für eine zukunftsorientierte Lernraumgestaltung. Für die Gestaltung von Lernräumen werden dort u. a. folgende Merkmale formuliert: Lernräume sollen für aktive Lernsettings ausgerichtet sein, Autonomie für Lernende ermöglichen und Hochschulen eine Vielfalt von verschiedenen Arten von Lernräumen anbieten. Außerdem braucht es Räume für hybride Lehr-/Lernsettings [31].

Neben der Umsetzung digitaler Räume mit Hilfe digitaler Medien muss in einer modernen Hochschullehre jedoch auch der physische Raum berücksichtigt werden. Denn der physische Raum stellt einen der Wahrnehmung des digitalen eingeschriebenen zentralen Erfahrungs- und Erlebniskontext beim Lernen dar, was beim Lernen mit oder über digitale Medien mitberücksichtigt werden sollte [2]. Konzeptionell für das Experimentallabor bedeutet

dies, „hybride Lehr- und Lernraumkonstellationen zu entwickeln“ [32, S. 301] und dortige Erfahrungswerte für den Kontext des forschungsorientierten Lernens und Lehrens nutzbar zu machen.

Das Experimentallabor bietet somit die Möglichkeit, digitale Medien in einem physischen Raumkontext zu erproben, Umsetzungen für hybride Lernräume zu entwickeln und den Einsatz digitaler Medien zu reflektieren.

Da das Experimentallabor besonders den Einsatz und die Produktion von digitalen oder teildigitalisierten Lehr-/Lerninhalten im Kontext des forschungsorientierten Lernens und Lehrens thematisiert, ist die Perspektive auf Medien zu berücksichtigen. Die Betrachtung digitaler Medien erfolgt im Experimentallabor in der Tradition des ‚technology-enhanced teaching‘, wobei digitale Medien verstanden werden „als Bestandteil eines komplexen Lehr-Lernarrangements, welches durch die Gesamtheit unterschiedlicher (digitaler und analoger) Angebote [...] gekennzeichnet ist“ [4, S. 1042]. Das Experimentallabor greift diese Überlegung auf und thematisiert in den Angeboten deshalb immer auch die didaktische Einbettung von digitalen Medien in ein weiterreichendes Gesamtsetting.

Im folgenden Abschnitt sollen Schlussfolgerungen aus den konzeptionellen Überlegungen gezogen und die Ausstattung (Spacing) des Raumes konkretisiert werden.

3. Umsetzung der Konzepte im Experimentallabor

Um von der Konzeption zur konkreten Umsetzung voranzuschreiten, werden vom Experimentallabor entsprechend eines didaktischen Doppeldeckers sowohl die Lehrenden als Lernende als auch die Studierenden adressiert.

Infolge der Gestaltung des Experimentallabors als Hochschullernwerkstatt werden abgeleitet von den tragenden Sinneinheiten der LERNWERK-STATT zum einen die Lernenden und das damit verbundene „Produkt“ im Sinne eines (Lern-)Ergebnisses in den Blick genommen und zum anderen ein physischer Ort mit zusätzlichen digitalen Elementen eingerichtet, der eine aktive Konstruktionsleistung anregt

und durch ein relationales Raumverständnis gekennzeichnet ist.

Demnach wird den Lehrenden (= Lernenden) ermöglicht, sich mit Inhalten eigenständig auseinanderzusetzen und neues Wissen selbst zu konstruieren.

Die auf den physischen Lernort bezogene Sinneinheit ‚STATT‘ wird um ein relationales Raumverständnis erweitert und so eingerichtet, dass sowohl die Prozesse des Spacings als auch die Syntheseleistung unterstützt werden.

Aus der Überlegung heraus, dass der Laborraum durch Spacing und Syntheseleistung aktiv zum Lernen beiträgt und Lernprozesse dadurch angestoßen werden können, lassen sich verschiedene Anforderungen an den physischen Raum ableiten.

Zum einen muss es durch flexible soziale Güter (also nicht-menschliche Elemente bzw. Objekte) wie flexible Möbel, mobile Wände, Tafeln etc. möglich werden, den Raum ohne großen zusätzlichen Aufwand lernzieladäquat gestalten zu können. Die dafür ausgewählten Dinge sollten zum anderen eine Vielfalt an Lehr- bzw. Lernsituationen ermöglichen, um jeweils räumlich, sozial und didaktisch angemessene Arrangements herstellen zu können (z. B. für Gruppen- oder Einzelarbeit).

In Anschluss an die Leitlinien des Stifterverbandes wird das flexible Mobiliar durch hybridfähige Ausstattung ergänzt. Hinsichtlich der Einrichtung (Elemente des Spacings) kann zur Systematisierung des Ansatzes zwischen *Materialangebot/Medien* und *Möblierung/Ausstattung* unterschieden werden.

Das Material- und Medienangebot innerhalb des Experimentallabor-Raums wird analog und über eine Cloud digital zur Verfügung gestellt. Texte und weitere Medien, wie z. B. Videos, werden zu folgenden Themen angeboten: Anleitungen für den Umgang mit digitalen Medien, Texte und Hinweise für die Einbeziehung digitaler Medien in die Hochschullehre, Texte zur Lernraumentwicklung (bezüglich didaktischer Konzeption sowie Spacing), zur Unterstützung von Lernprozessen sowie zur forschungsnahen Lehre.

Das Experimentallabor stellt somit eine Vielzahl digitaler Medien und Optionen zur Medi-

enproduktion zur Verfügung, die für den Einsatz in der Lehre relevant sein können. Das Herzstück ist das Lightboard (95 Zoll), welches in besonderer Weise eine interaktive Gestaltung und Aufzeichnung von digitalen Lehrveranstaltungsmaterialien ermöglicht und eine direkte visuelle Verknüpfung von Forschungsinhalt und Forschungsperson herstellt.

Neben den nicht-menschlichen Elementen ist in Anlehnung an Löw [6] auch die soziale Nutzung durch Menschen relevant für die Konstitution eines Raums. In diesem Verständnis werden die Lehrenden zu Elementen im Raum, die das jeweilige Individuum in seine Wahrnehmung einbezieht und darüber einen relationalen Raum konstruiert. Um eine soziale Nutzung zu initiieren, werden *Workshopangebote*, *Austausch- und Vernetzungsformate* und *begleitete Öffnungszeiten* angeboten.

Im Rahmen des Experimentallabors können beispielsweise Workshops zum Lightboard und zum Einsatz von Lightboardvideos als Lehr-/Lernvideos bzw. Erklärvideos (mit zugehörigem OPAL-Selbstlernkurs inklusive begleitetem Videodreh) angeboten werden oder Workshops zum Thema „Forschungsorientiertes Lernen und Lehren mit Hilfe digitaler Medien“ stattfinden.

Das Experimentallabor ist zu bestimmten Zeiten geöffnet, die durch studentische Hilfskräfte betreut werden. Zu diesen Öffnungszeiten ist es möglich, sich selbständig sowohl mit den Materialien als auch mit den Medien auseinanderzusetzen, Lehre und Lernmaterialien vorzubereiten oder in den Austausch mit anderen Lehrenden zu treten. Das Experimentallabor fungiert insofern auch als *Open Space*, auf den sowohl digital als auch im Raum selbst zugegriffen werden kann. Hier können beispielsweise Erfahrungen in der Lehre reflektiert oder Best Practice-Beispiele vorgestellt, gesammelt und ausgetauscht werden.

Es ist darüber hinaus möglich, dass Forschende aus den DRESDEN-concept Instituten und Lehrende der TU Dresden im Tandem kleinere forschungsorientierte Lehrveranstaltungen in den Räumen des Experimentallabors gestalten und diese begleitend evaluieren lassen können.

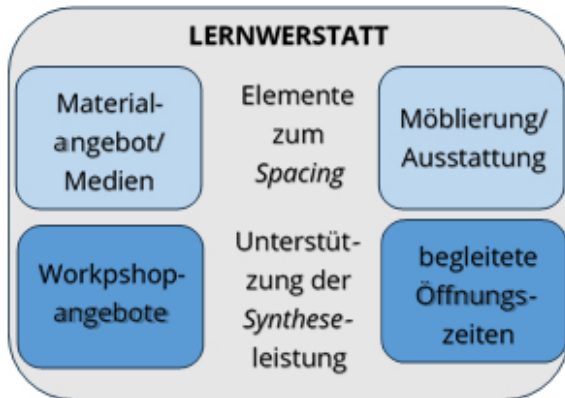


Abb.1: Schematische Darstellung der Konzeption und ihrer Bestandteile

Ausgehend von den bisher angestellten konzeptionellen Überlegungen und den daraus gezogenen Schlussfolgerungen zur Einrichtung und Nutzung des Experimentallabors, ergeben sich verschiedene Raumnutzungsszenarien.

4. Raumnutzungsszenarien des Experimentallabors

Das Experimentallabor wird für verschiedene Nutzungsszenarien eingerichtet und soll somit eine möglichst vielseitige Verwendung erlauben. Lehrende haben hier (1) die Möglichkeit, innovative Lehr-/Lernkonzepte in eigenständiger Auseinandersetzung mit den zur Verfügung stehenden Materialien zu erarbeiten. Darüber hinaus können die Lehrenden (2) mit der variablen Möblierung des Raumes und dessen Spacing experimentieren und sich (3) über ihre erarbeiteten Materialien und Konzepte austauschen, um ihre eigenen Settings (etwa Blended Learning-Konzepte) zu erproben und sich mit Hochschuldidaktiker:innen oder mit weiteren Lehrpersonen auszutauschen.

Das Experimentallabor kann aber (4) auch als hochschuldidaktischer Lehr- und Lernort und damit für die reguläre Lehre und/oder für besondere Lern- und Studienprojekte genutzt werden. Hier kann ein Bewerbungsverfahren implementiert werden, innerhalb dessen interessierte Lehrende ein Nutzungskonzept einreichen, dieses mit Hochschuldidaktiker:innen besprechen, reflektieren und anschließend evaluieren.

Zu bestimmten Zeitfenstern kann das Experi-

mentallabor (5) als Lernraum gebucht werden (sowohl von Lehrenden als auch von Studierenden). In diesem Kontext wird der Raum dann als hochschulischer Lernort für Projekt- und für Problembasiertes Lehren und Lernen durch Studierende und Projektgruppen genutzt. Auch kann der Raum (6) als Ort für Formate wie Hackathons im Bereich der digitalen/hybriden Lehre dienen und forschungsorientierte Lehrprojekte beherbergen.

Neben den benannten Szenarien soll das Experimentallabor auch (7) als hochschuldidaktischer Lehr-, Lern- und Beratungsort zur Verfügung stehen. In diesem Rahmen finden dort durch das ZiLL verantwortete Weiterbildungen, Workshops und Beratungen zu Blended Learning-Konzepten sowie zur Hochschul- und Mediendidaktik (inklusive Tool-Schulungen) statt, die den thematischen Schwerpunkt des forschungsorientierten Lernens und Lehrens ergänzen.

Das Experimentallabor soll perspektivisch (8) auch als Ort der Vernetzung für hochschulweite Communities of Practice und Learning Communities zugänglich sein.

5. Aktueller Stand der Umsetzung und Ausblick

Das technische Setting besteht aktuell hauptsächlich aus dem Lightboard, an dem interessierte Lehrende in Begleitung Erklärvideos drehen können. Weiterhin gibt es verschiedene Mikrofone und Wireless Headsets, eine 360°- und Dokumentenkamera. Das asynchrone Unterstützungsangebot besteht aus einem Selbststudienkurs auf OPAL, der die theoretischen Grundlagen zum Erstellen von Lehr-/Lernvideos thematisiert und die Terminvergabe für die begleitete Produktion koordiniert.

Geplant ist eine räumliche Veränderung und Erweiterung des Experimentallabors sowie der enthaltenen Technik. Durch eine räumliche Trennung des Lightboard- und Technikraums von den anderen Raum-Komponenten, kann zukünftig eine störungsfreie Videoproduktion gewährleistet werden. Das Materialangebot und die flexible und innovative Möblierung finden sich dann in zwei zusätzlichen Räumen.

Neben der räumlichen Veränderung wird auch die Ausstattung noch um zusätzliche digitale Medien erweitert, die besonders die Verknüpfung von Lehre und Forschung, aber auch die Verschränkung von synchroner und asynchroner Lehre unterstützen.

Im nächsten Schritt geht es darum, Workshops zu Themen wie Blended Learning oder forschungsorientiertes Lernen und Lehren zu etablieren und gemeinsam mit den Nutzenden Angebote zur Lernraumgestaltung und zur didaktisch sinnvollen Einbindung von Lehr-/Lernvideos in ihre didaktischen Szenarien zu entwickeln.

Literatur

- [1] Prill, A. (2022). *Zukunftsorientierte Lernraumgestaltung für innovative Hochschuldidaktik und eine neue Kultur des Lernens*. *b.i.t online*, 25, 247-255.
- [2] Stang, R. (2016). *Lernwelten im Wandel. Entwicklungen und Anforderungen bei der Gestaltung zukünftiger Lernumgebungen*. De Gruyter Saur.
- [3] Wildt, J. (2003). „The Shift from Teaching to Learning“ – Thesen zum Wandel der Lernkultur in modularisierten Studienstrukturen. In Fraktion Bündnis90/Die Grünen im Landtag NRW (Hrsg.), *Unterwegs zu einem europäischen Bildungssystem. Reform von Studium und Lehre an den nordrhein-westfälischen Hochschulen im internationalen Kontext*. Abgerufen am 31.07.2024 von <https://www.uni-erfurt.de/fileadmin/fakultaet/erziehungswissenschaftliche/Lernwerkstatt/thesen-zum-wandel.pdf>
- [4] Schreiter, K. (2021). Lernen und Lehren mit digitalen Medien: Eine Standortbestimmung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24(5), 1039-1060. <https://doi.org/10.1007/s11618-021-01047-y>
- [5] TU Dresden (2018). *TUD 2028 Synergy and beyond. Proposal in the Universities of Excellence funding line within the Excellence Strategy programme by the Federal and State Governments*. Technische Universität Dresden.
- [6] Löw, M. (2001). *Raumsoziologie*. Suhrkamp.
- [7] Sauer-Großschedel, M.; Kruse, L. & Renth, F. (2021). Gestaltungsspielräume beim forschenden lernen – ein Leitfaden für Lehrende. In Carl von Ossietzky Universität Oldenburg (Hrsg.), *Working Paper der AG Forschendes Lernen in der dghd*. Abgerufen am 31.07.2024 von https://uol.de/fileadmin/user_upload/lehre/flif/Homepage_neu/Working_Paper/WP_8_Sauer-Gro-schedel_Kruse_Renth_Grossschedel_FINAL.pdf
- [8] Wildt, J. (2002): ‚Forschendes Lernen‘ - Renaissance eines ‚Leitgedankens‘ für die Studienreform? oder der lange Weg des Wissenschaftsrats zur Hochschuldidaktik. In J. Asdonk u.a. (Hrsg.), *Bildung im Medium der Wissenschaft* (S.167-173). Beltz.
- [9] Humboldt, W. (1960). Über die innere und äußere Organisation der höheren wissenschaftlichen Anstalten in Berlin [1809 oder 1810]. In W. Weischedel, W. Müller-Lauter & M. Theunissen (Hrsg.), *Idee und Wirklichkeit einer Universität* (193-202). De Gruyter.
- [10] Wildt, J. (2009). Forschendes Lernen: Lernen im „Format“ der Forschung. *Journal Hochschuldidaktik*, 20(2), 4-7.
- [11] Healey, M.J. & Jenkins, A. (2009). *Developing undergraduate research and inquiry*. Higher Education Academy.
- [12] Huber, L. (2014). Forschungsbasiertes, forschungsorientiertes Lernen: Alles dasselbe? Ein Plädoyer für eine Verständigung über Begriffe und Entscheidungen im Feld forschungsnahen Lehrens und Lernens. *Das Hochschulwesen* 62(1+2), 31-39.
- [13] Schulze-Stocker, F.; Kaden, L.; Schmidt, H. J.; Gerner, M. & Eggerichs, L. (im Druck). *Forschen lernen. Drei Programmlinien an der TU Dresden*. Das Hochschulwesen. Universitäts Verlag Webler.
- [14] Wissenschaftsrat (2012). *Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen*. Abgerufen am 31.07.2024 von <https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/2359-12.pdf?blob=publicationFile&v=1>
- [15] Reinmann, G. (2018). Lernen durch Forschung – aber welche? In N. Neuber, W. Paravincini & M. Stein (Hrsg.), *Forschendes Lernen – the wider view*. WTM.
- [16] Huber, L. & Reinmann, G. (2019). *Vom forschungsnahen zum forschenden Lernen an Hochschulen. Wege der Bildung durch Wissenschaft*. Springer VS.
- [17] European Commission (2023). *The european competence framework for researchers*. Abgerufen am 31.07.2024 von https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2023-04/ec_rtd_research-competence-presentation.pdf
- [18] Dehne, J., Lucke, U. & Schiefner-Rohs, M. (2017). Digitale Medien und forschungsorientiertes Lehren und Lernen – empirische Einblicke in Projekte und Lehrkonzepte. Unter Mitarbeit von Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft und Konferenz Bildungsräume. In C. Igel (Hrsg.), *Bildungsräume. Proceedings der 25.Jahrestagung der Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft* (S.71-83). Waxmann.
- [19] Peschel, M. (2020). *Lernwerkstätten und Hochschullernwerkstätten. Begrifflichkeiten und Entwicklungen*. <https://doi.org/10.25656/01:21138>
- [20] Peschel, M. (2016). Offenes Experimentieren – Individuelles Lernen. Aufgaben in Lernwerkstätten. In H. Hahn, I. Esslinger-Hinz & A. Panagiotopoulou (Hrsg.), *Paradigmen und Paradigmenwechsel in der Grundschulpädagogik*. Schneider-Verlag Hohengehren.
- [21] Peschel, M.; Wedekind, H.; Kihm, P.; Kelkel, M. (2021). Hochschullernwerkstätten und Lernwerkstätten. Verortung in didaktischen Diskursen. In B. Holub, Barbara; K. Himpsl-Gutermann; K. Mittlböck, M. Musilek-Hofer; A. Varelja-Gerber & N. Grünberger (Hrsg.), *lern.medien.werk.statt. Hochschullernwerkstätten in der Digitalität* (S.40-52). Verlag Julius Klinkhardt.
- [22] Dörrenbächer, L.; Hart, I.; Perels, F. (2018). Konzeption einer überfachlichen Lernwerkstatt für Lehramtsstudierende zur Förderung des selbstregulierten Lernens. In M. Peschel & M. Kelkel (Hrsg.), *Fachlichkeit in Lernwerkstätten. Kind und Sache in Lernwerkstätten* (S. 122-137). Verlag Julius Klinkhardt.
- [23] Schmude, C. & Wedekind, H. (2014). Lernwerkstätten an Hochschulen. Orte einer inklusiven Pädagogik. In E. Hildebrandt, M. Peschel & M. Weißhaupt (Hrsg.),

- Lernen zwischen freiem und instruiertem Tätigsein* (S. 103-122). Verlag Julius Klinkhardt.
- [24] Müller-Naendrup, B. (1997). *Lernwerkstätten an Hochschulen. Ein Beitrag zur Reform der Primarstufenlehrerbildung*. Peter Lang.
- [25] VeLW (Verbund europäischer Lernwerkstätten (VeLW) e. V.) (Hrsg.) (2009). *Positionspapier des Verbundes europäischer Lernwerkstätten (VeLW) e. V. zu Qualitätsmerkmalen von Lernwerkstätten und Lernwerkstattarbeit*. Abgerufen am 31.07.2024 von <http://forschendes-lernen-net/fles/eightytwenty/materialien/VeLW-Broschuere.pdf>
- [26] Schmude, C. & Wedekind, H. (Hrsg.) (2016). *Lernwerkstätten an Hochschulen. Orte einer inklusiven Pädagogik*. Verlag Julius Klinkhardt.
- [27] Engel, J. & Klepacki, L. (2019). *Zur materiellen Relationalität von Lernprozessen in Lernwerkstätten*. Verlag Julius Klinkhardt.
- [28] Löw, M. (2015). Space Oddity, Raumtheorie nach dem Spatial Turn. *Sozialraum.de*, 1. Abgerufen am 31.07.2024 von <https://www.sozialraum.de/space-oddity-raumtheorie-nach-dem-spatial-turn.php>
- [29] Löw, M. & Geier, T. (2014). *Einführung in die Soziologie der Bildung und Erziehung*. Verlag Barbara Budrich.
- [30] Bernhardt, A. (Hrsg.) (2022). *Coworking-Atmosphären. Zum Zusammenspiel von kuratierten Räumen und der Sicht der Coworkenden als raumhandelnde Subjekte*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- [31] Koeritz, J.; Kolbert, L. & Winde, M. (2022). *Zehn Leitlinien für zukunftsorientierte Lernräume*. Stifterverband. Abgerufen am 31.07.2024 von <https://www.stifterverband.org/medien/zehn-leitlinien-fuer-zukunftsorientierte-lernraeume>
- [32] Stang, R.; Petschenka, A. Gläser, C. & Becker A. (2021). Der physische Raum im Kontext der Digitalisierung. Perspektiven für Lehr- und Lernraumkonstellationen. In Hochschulforum Digitalisierung (Hrsg.), *Digitalisierung in Studium und Lehre gemeinsam gestalten. Innovative Formate, Strategien und Netzwerke* (S.301-316). SpringerVS.



Beleg zur Auslegung und Konstruktion einer Getriebewelle

T. Rosenlöcher, B. Schlecht

Lehrstuhl Maschinenelemente, Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion, Fakultät Maschinenwesen, Technische Universität Dresden

Abstract

Im Fach Maschinenelemente wird die Vermittlung des Lehrinhalts in den Vorlesungen, den Übungen und dem Vorrechnen durch die semesterübergreifende Erstellung einer Belegarbeit ergänzt, in dem die gewonnenen Erkenntnisse zur Auslegung und Gestaltung von Maschinenelementen selbständig zur Gestaltung einer Baugruppe eingesetzt werden sollen. Die Betreuung der Belegarbeit wurde um die Möglichkeit einer wöchentlichen Abgabe und Korrektur von Zwischenergebnissen ergänzt, die aufgrund der Vielzahl an erforderlichen Berechnungen und Zwischenergebnissen sowie der Anzahl der teilnehmenden Studierenden nicht händisch erfolgen kann. Die Umsetzung der Belegbewertung, die damit verbundenen Herausforderungen und gesammelten Erfahrungen sind nachfolgend zusammengefasst.

In the subject of machine elements, the teaching content covered in lectures, exercises, and preliminary calculations is supplemented by a term paper to be completed over the course of the semester, in which the knowledge gained on the design and construction of machine elements is to be applied independently to the design of an assembly. Support for the term paper was supplemented by the option of weekly submission and correction of interim results, which cannot be done manually due to the large number of calculations and interim results required and the number of students participating. The implementation of the term paper assessment, the associated challenges, and the experience gained are summarized below.

*Corresponding author: thomas.rosenloecher@tu-dresden.de

1. Maschinenelemente

Die Studierenden des dritten und vierten Semesters erlernen an der Technischen Universität Dresden im Rahmen von drei Semesterwochenstunden Vorlesung, zwei Semesterwochenstunden Übung und einer Semesterwochenstunde Vorrechnen im Sommersemester die für den Maschinenbau wichtigen Grundkenntnisse im Fach Maschinenelemente. Zu Beginn des Wintersemesters wird in der Vorlesung auf die Ermittlung von Lastannahmen und die Festigkeitsberechnung eingegangen, welche die Grundlagen für die weiteren rechnerischen Nachweise für die verschiedenen Maschinenelemente bilden. Darauf aufbauend erlernen die Studierenden die Vorgehensweise zur Auslegung sowie die Grundregeln zur Konstruktion von Wellen, die Gestaltungsmöglichkeiten von Verbindungen zwischen Wellen und Naben sowie die Berechnungs- und Gestaltungsregeln für Schraubverbindungen, Federn und Kupplungen. Im weiteren Verlauf werden die Auslegung und Dimensionierung von Wälzlagern, Gleitlagern und Zahnradgetrieben behandelt. Die Übungen dienen zur selbständigen Anwendung des erlernten Wissens anhand von Aufgaben zu den unterschiedlichen Themengebieten. Eine detaillierte Erläuterung zu Beginn der wöchentlich stattfindenden Veranstaltungen ermöglicht einen schnellen Einstieg in die Fragestellung und unterstützt bei der Handhabung der Formeln sowie Schaubilder und bereitet die eigenständige Bearbeitung der Aufgaben vor. Das Vorrechnen im Sommersemester zeigt vertiefend die Lösungsfindung anhand von verschiedenen Berechnungsaufgaben.

Ergänzend zu den Lehrveranstaltungen für den Studiengang Maschinenbau werden die Grundlagen der Maschinenelemente für die Studiengänge Mechatronik, Regenerative Energiesysteme, Wirtschaftswissenschaft und Textil- und Konfektionstechnik als Konstruktionslehre angeboten. Aufgrund der Halbierung der Semesterwochenstunden gegenüber dem Modulumfang für den Studiengang Maschinenbau werden nur ausgewählte Themen mit einem verringerten Umfang behandelt. Vor allem im Rahmen der Übungen wird deutlich, dass die von den Studierenden einbringbaren Vorkenntnisse sehr unterschiedlich sind und

bei der Einführung zu den einzelnen Lehrveranstaltungen berücksichtigt werden müssen.

2. Belegarbeit

Alle genannten Studiengänge erarbeiten im Laufe der Modullaufzeit eine Belegarbeit, in der das erworbene Wissen zur Auslegung und konstruktiven Gestaltung einer Baugruppe, bestehend aus einer Welle mit Lagerung, einem Zahnrad und einer Riemenscheibe angewendet und vertieft werden soll (Abb. 1).

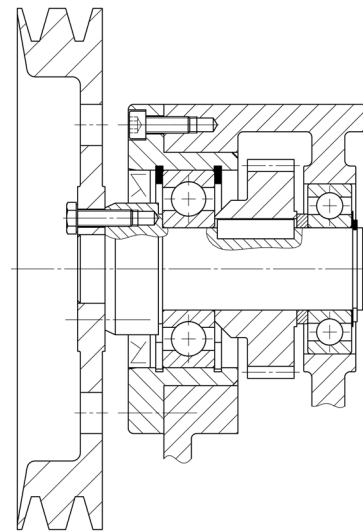


Abb. 1: Ausschnitt der Zeichnung zur Baugruppe

Die Baugruppe ist dem Studiengang Maschinenbau bereits aus Lehrveranstaltungen im zweiten Semester bekannt. Den Studierenden sind in Abhängigkeit vom ersten Buchstaben des Vor- und Nachnamens unterschiedliche Vorgaben für den zu verwendenden Wellenwerkstoff, zum Lagerabstand, der Position des Zahnrades und der Riemenscheibe, zur Leistung und zu den Verzahnungsparametern gegeben. Auf Grundlage dieser Daten müssen zur Bearbeitung des Beleges im ersten Schritt die wirkenden Kräfte am Zahnrad und an der Riemenscheibe bestimmt und die resultierenden Auflagerreaktionen ermittelt werden (Abb. 2). Mit Kenntnis der Lagerkräfte, der Biegemomente und des Torsionsmomentes kann eine überschlägige Ermittlung des erforderlichen Wellendurchmessers im Bereich der höchsten Beanspruchung erfolgen. Für den vorliegenden Mindestwert des Wellendurchmessers gilt es im Weiteren die Passfeder- bzw. Querpressverbindung auszulegen, durch

Vergrößerung des Durchmessers einen Absatz für das Festlager zu schaffen sowie die Schraubenverbindung zwischen Riemenscheibe und Welle auszulegen. Wellenabsätze und die Passfedernut stellen kritische Bereiche für eine dauerfeste Auslegung der Welle dar, so dass der Nachweis der Dauerfestigkeit an diesen zwei Stellen der Welle zu führen ist. Abschließend sind die Lagerlebensdauern für das Fest- und Loslager zu bestimmen und auf Grundlage der erarbeiteten geometrischen Parameter eine fertigungsgerechte Einzelteilzeichnung und eine Zusammenbauzeichnung der Baugruppe mit Gehäuse zu erstellen.

heit tendenziell sehr spät mit der Bearbeitung begonnen, wodurch vor allem in den letzten Wochen vor dem Abgabetermin durch das Aufkommen einer Vielzahl an Fragen die Durchführung von Übungen erschwert wurde und die Belegbetreuung einen enormen zeitlichen Aufwand, konzentriert auf einen kurzen Zeitraum, mit sich brachte. Vor allem in den Übungen zur Konstruktionslehre waren mehrere zusätzliche Tutoren zur Beantwortung der Fragen erforderlich.

3. Kontinuierliche Belegbetreuung

Getrieben durch den hohen Lehr- und Betreuungsaufwand zum Ende jeder Vorlesungszeit im Wintersemester im Fach Konstruktionslehre galt es ein Werkzeug zu schaffen, welches Studierende frühzeitig dazu bewegt, den Lehrinhalt, der in den Übungen vermittelt wird, möglichst direkt im Anschluss zur Bearbeitung der Teilaufgaben des Beleges zu nutzen. Dadurch sollen sich die erarbeiteten Kenntnisse zeitnah vertiefen und festigen, offene Fragen zu den einzelnen Teilaufgaben direkt im Forum oder der Lehrveranstaltung klären lassen, idealerweise vergleichbare Fortschritte bei der Bearbeitung bei allen Studierenden einstellen und Studierende vermeiden lassen, die erst kurz vor Ende der Bearbeitungszeit beginnen. Als Anreiz für die Studierenden wird eine wöchentliche Zwischenkontrolle der Ergebnisse angeboten, die jedoch aufgrund der mehr als 60 eingeschriebenen Studierenden nicht händisch erfolgen kann.

Zur Umsetzung der angestrebten Zwischenkontrollen erfolgt die vollständige Abbildung des Berechnungsvorganges für den Beleg unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Variantenvielfalt in MATLAB. Neben dem Einpflegen von Formeln, ist es erforderlich Tabellen für Passfederverbindungen, Schraubverbindungen, Toleranzen sowie Lager zu implementieren sowie Schaubilder, die nicht mit Formeln beschrieben werden können, programmtechnisch abzubilden. Den Studierenden wird eine Ergebnisübersicht als EXCEL-Tabelle zur Verfügung gestellt, in der die Berechnungsergebnisse eingetragen werden können (Abb. 3). Diese Datei kann in der Lernplattform OPAL in einen Abgabebüchler bis zu einer festgelegten Abgabefrist hochgeladen werden.

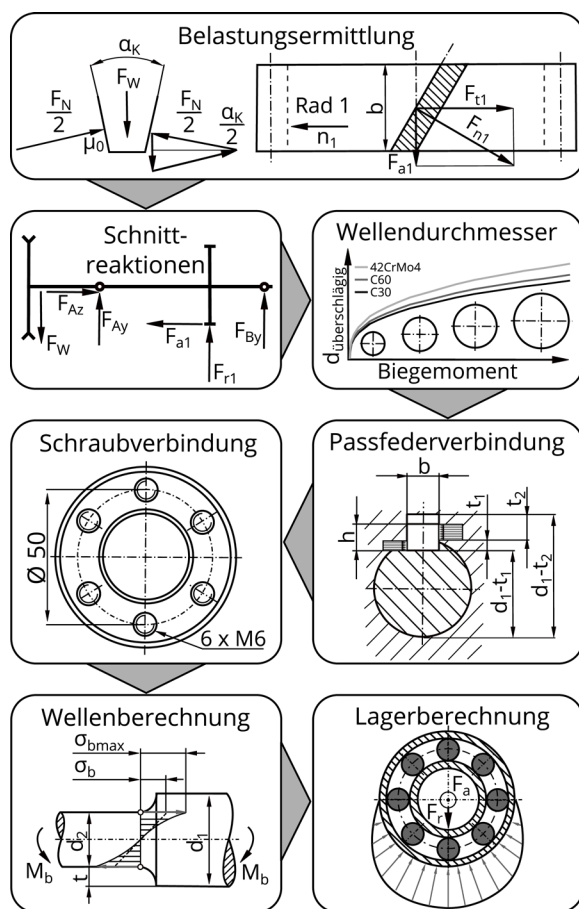


Abb. 2: Schematischer Ablauf der Bearbeitung

Abgegeben wird der Beleg mit der vollständigen Dokumentation der Berechnung, den Zeichnungen, einer Stückliste und einer Montagebeschreibung. Die Betreuung der Belegarbeit erfolgt in den Übungen, in einem Forum in der Lernplattform OPAL und zum Teil individuell nach Lehrveranstaltungen, in persönlichen Gesprächen und E-Mails. Aufgrund der langen Bearbeitungszeit über die gesamte Modullaufzeit haben die Studierenden in der Vergangen-

Das Herunterladen der Dateien muss anschließend manuell erfolgen. Die Ergebnisübersichten liegen in einer komplexen Ordnerstruktur in einem komprimierten Archiv vor. Mit Hilfe von MATLAB werden diese Archive automatisch entpackt, eine Liste der Studierenden erstellt, die eine Datei hochgeladen haben, die Ergebnisübersichten einzeln geladen, Angaben zur Person sowie die wesentlichen Eingabedaten ausgelesen, mit Hilfe dieser Daten die Ergebnisse für die jeweilige Belegvariante berechnet, diese mit den eingetragenen Werten verglichen und die Richtigkeit mit rot bzw. grün in der Übersicht gekennzeichnet. Gleichzeitig

wird eine Bewertungstabelle erstellt, in der die Ergebnisse der Korrektur für jeden Studierenden gespeichert werden. Nach erfolgreicher Korrektur der Übersichten kann mit Hilfe eines weiteren Skriptes das Versenden der Belege als E-Mail automatisch erfolgen. Bei einem fehlerfreien Durchlauf des Korrekturprozesses ist vor allem der Umgang mit den EXCEL-Dateien rechenintensiv, so dass in Abhängigkeit von der verfügbaren Rechentechnik die Korrekturzeit zwischen 15 und 30 Sekunden pro Beleg beträgt. Eine rechenzeitorientierte Optimierung der Skripte erfolgte bisher nicht.

Ergebnisübersicht zum Beleg

Vorname:	<i>eintragen!</i>	Nachname:	<i>eintragen!</i>	Matr.-Nr.	<i>eintragen!</i>
----------	-------------------	-----------	-------------------	-----------	-------------------

Vorname (1. Z.)		a=	0 mm	M _{tan} =	0,00 Nm, Nennwert
Nachname (1. Z.)		b=	0 mm	F _w =	0,00 N für M _{tan}
		c=	0 mm	F _t =	0,00 N für M _{tan}
				F _r =	0,00 N für M _{tan}
				F _a =	0,00 N für M _{tan}

Lagerkräfte aus der Antriebsleistung berechnet:

Breite des Lagers A:	0,0 mm	Zahnradmitte - Stelle 2	0,0 mm
----------------------	--------	-------------------------	--------

Nennlast [N]		mit Betriebsfaktor [N]		mit Stoßfaktor [N]	
F _{Ax} =	0,00	F _{Bx} =	0,00	F _{Ax} =	0,00
F _{Ay} =	0,00	F _{By} =	0,00	F _{Ay} =	0,00
F _A =	0,00	F _B =	0,00	F _A =	0,00

Abb. 3: Ausschnitt aus der Ergebnisübersicht

4. Einsatz in der Praxis

Im Wintersemester 2022/23 wurde die Kontrolle der Zwischenergebnisse für Studierende im Fach Konstruktionslehre erstmalig angeboten. Um Probleme beim Ausfüllen und Austausch der Datenblätter zu vermeiden, wird die Vorlage zum Eintragen der Zwischenergebnisse zu Beginn ungeschützt zur Verfügung gestellt. Erste Herausforderungen ergeben sich in der Angabe der entsprechenden Variante zur Kontrolle der namensabhängigen Parameter. Die Angabe soll mit der Variantenummer erfolgen, häufig werden jedoch die Anfangsbuchstaben oder der Buchstabenbereich eingetragen, so dass zeitnah die freie Eingabe durch eine Auswahlliste ersetzt wird. Eine vergleichbare Vorgehensweise ist für die Eingabe der Wellen- und Bohrungstoleranzen (bspw.

H7) zum Nachrechnen des Querpresssitzes erforderlich. Weitere Herausforderungen ergeben sich durch die Verwendung des Punktes anstelle des Kommas als Dezimaltrennzeichen in den Ergebnisübersichten, da dies in dem Skript nicht von Beginn an geprüft und anstelle numerischer Werte, Text übergeben wird. Nachträglich wird eine Prüfung der Eingabewerte und ggf. eine Konvertierung in dem Skript ergänzt. Zusätzlich werden die Zellen zur Eingabe der Werte in die Ergebnisübersichten formatiert und die Arbeitsblätter geschützt. Häufige Nachfragen zur ausstehenden Rücksendung der Belegkorrektur ergeben sich aufgrund des Hochladens von PDF-Dateien anstatt der EXCEL-Übersichten, durch fehlende Angabe des Namens, Vertauschen des Vor- und Nachnamens und fehlende oder falsche Matrikelnummern, die zur Ermittlung

der E-Mail-Adressen für die Rücksendung erforderlich sind.

Während der Erarbeitung des Skriptes werden eine EXCEL-Datei zur Berechnung von Zwischenergebnissen für den Beleg sowie verschiedene Übungsaufgaben genutzt, um die programmierten Bausteine zu prüfen. Trotz der intensiven Vorbereitung und Kontrolle des Skriptes müssen im Laufe der Zwischenkontrollen Korrekturen an den Berechnungen vorgenommen werden. In den Gesprächen mit einzelnen Studierenden und der Diskussion des Rechenweges konnten Fehler gefunden und in den Skripten korrigiert werden. Die vorgenommenen Korrekturen führten jedoch zum Teil dazu, dass die korrekten Ergebnisse der Vorwoche in der nachfolgenden Korrektur falsch waren. Der Unmut der Studierenden ist mit zusätzlichen Terminen zur Zwischenabgabe zu besänftigen gewesen.

5. Auswertung

Der mit der Korrektur der Ergebnisübersichten verbundene zeitliche Aufwand war im Wintersemester 2022/23 sehr hoch. Mindestens einmal pro Woche war neben der Durchführung der Korrekturen die Anpassung des Skriptes zum Abfangen von falschen Eingaben oder Formatierungsfehlern erforderlich. Hinzu kamen umfangreiche Fragen im Forum, als E-Mail und in persönlichen Gesprächen. Das erarbeitete Skript und die Vorlage kommen seit dem Sommersemester 2023 auch im Fach Maschinenelemente zum Einsatz. Der damit verbundene zeitliche Aufwand hat sich deutlich reduziert.

Im Studienjahr 2023/24 wurde erstmalig die Zwischenabgabe der Ergebnisübersichten über die Moduldauer von zwei Semestern zwischen Anfang November und Ende Mai insgesamt 19-mal angeboten. Die Auswertung der vorliegenden Informationen zu den einzelnen Einreichungen der Studierenden und des jeweils erreichten Fortschritts erfolgte im ersten Schritt händisch. Aufgrund der umfangreichen Daten und der Zielstellung einer kontinuierlichen Auswertung in jedem Semester wurde die Erhebung statistischer Kenngröße ebenfalls skriptbasiert umgesetzt.

Die Anzahl der Studierenden, die Ihre Ergebnisübersicht abgegeben haben ist in Abb. 4 über den Abgabeterminen aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die ersten elf Möglichkeiten zur Abgabe im WiSe 2023/24 nur von ca. einem Fünftel der Studierenden genutzt wurden. Ab Beginn des Sommersemesters (Balken 12) stieg die Teilnehmendenzahl deutlich bis 3 Wochen vor dem Abgabetermin an und blieb auch bei den letzten beiden Abgabemöglichkeiten auf hohem Niveau.

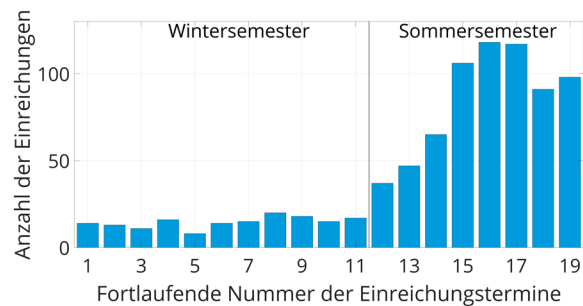


Abb. 4: Anzahl der eingereichten Ergebnisübersichten zu den insgesamt 19 Terminen, eine mehrfache Einreichung war möglich

Insgesamt haben 165 Studierende ihren Beleg abgegeben und mehr als 91 % der Studierenden die Möglichkeit zur Zwischenabgabe mindestens einmal wahrgenommen. Im Durchschnitt haben die Studierenden die Zwischenabgabe 5,1-mal genutzt. Abb. 5 zeigt die Verteilung der Studierenden auf die Anzahl der möglichen Einreichungen und veranschaulicht den sich ergebenden Durchschnitt.

Anhand der Verteilung wird wiederum deutlich, dass ein Großteil der Studierenden erst im Sommersemester mit der Belegbearbeitung begonnen hat und damit maximal acht Einreichungen möglich waren. Nur ca. 8 % der Studierenden nutzte die Möglichkeit zur Einreichung mehr als 9-mal. Dagegen haben 20 % der Studierenden das Angebot weniger als 3-mal in Anspruch genommen. Die zu erkennende Verteilung der Anzahl der Studierenden, aufgetragen über der Häufigkeit der Einreichung, ist interessanterweise mit der Verteilung der Klausurnoten vergleichbar. Im mittleren Notenbereich liegt ansatzweise eine Normalverteilung vor. Die Anzahl der Studierenden die nicht bestehen ist dagegen überproportional hoch.

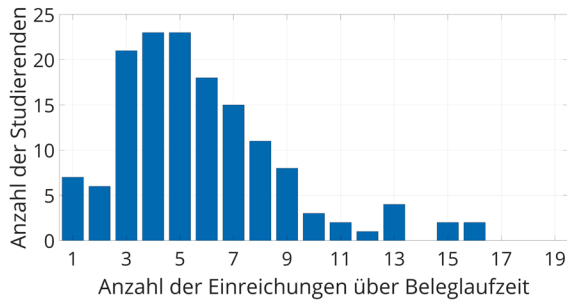


Abb. 5: Anzahl der Studierenden, dargestellt über der Häufigkeit der Nutzung der Zwischenabgaben

Anhand der Verteilung wird wiederum deutlich, dass ein Großteil der Studierenden erst im Sommersemester mit der Belegbearbeitung begonnen hat und damit maximal acht Einreichungen möglich waren. Nur ca. 8 % der Studierenden nutzte die Möglichkeit zur Einreichung mehr als 9-mal. Dagegen haben 20 % der Studierenden das Angebot weniger als 3-mal in Anspruch genommen. Die zu erkennende Verteilung der Anzahl der Studierenden, aufgetragen über der Häufigkeit der Einreichung, ist interessanterweise mit der Verteilung der Klausurnoten vergleichbar. Im mittleren Notenbereich liegt ansatzweise eine Normalverteilung vor. Die Anzahl der Studierenden die nicht bestehen ist dagegen überproportional hoch.

Eine exemplarische Auswertung der erreichten Leistungen in Bezug auf die Anzahl der genutzten Zwischenabgaben für den genannten Zeitraum zeigt (Abb. 6), dass durchschnittlich mindestens zwei Abgaben erforderlich waren, um mindestens 50 % der Punkte zu erreichen und die durchschnittlichen prozentualen Punkte bis zur zehnmaligen Nutzung der Zwischenabgaben nahezu kontinuierlich bis auf 100 % angestiegen sind.

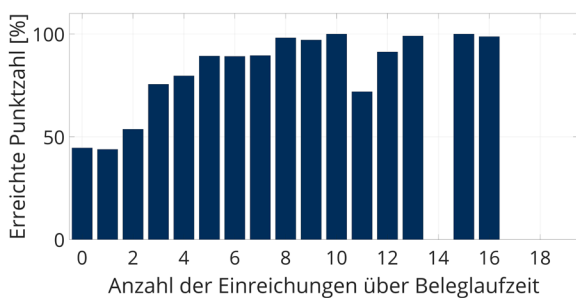


Abb. 6: Ergebnisse der Belegbewertung in Bezug zur Anzahl der eingereichten Zwischenabgaben

Fast 80 % der Studierenden, die bereits im Wintersemester angefangen haben, erreichten 90 % der Punktzahl bei der Berechnung. Nur 40 % der Studierenden erreichten diese Bewertung, wenn Sie erst im Sommersemester angefangen haben. Die Benotung ergibt sich zu gleichen Anteilen aus den korrigierten Berechnungsergebnissen und den Zeichnungen. Aufgrund der geringen Anzahl an Studierenden, die ihre Zwischenergebnisse mehr als 9-mal eingereicht haben, sind die angegebenen Werte für den Punktedurchschnitt nicht repräsentativ. Eine statistische Auswertung im Längsschnitt wird in Zukunft möglich sein.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die angebotene Zwischenkontrolle der Berechnungsergebnisse wird von einem Großteil der Studierenden intensiv genutzt und eröffnet gleichzeitig die Möglichkeit eines besseren Überblicks zum Stand, Fortschritt und zu den Herausforderungen bei der Bearbeitung. Das Vorgehen zur Lösung der Teilaufgaben wird bei Rückmeldung falscher Ergebnisse durch die Studierenden genauer hinterfragt. Dies bietet gute Ansätze sicherzustellen, dass das zu erlernende Wissen gezielter vermittelt werden kann. Nach Fertigstellung des Beleges ist das Interesse an der korrigierten Berechnung oftmals gering und Ursachen für Fehler werden nicht hinterfragt. Durch die Einführung der Zwischenkorrekturen wurde es möglich den Erkenntnisprozess in die Bearbeitungszeit zu verlegen. Durch die Nutzung des Angebotes der Zwischenabgaben können die Studierenden die erreichbare Punktzahl in Berechnungsteil nachweislich verbessern. Die vorliegenden Erkenntnisse und Ergebnisse werden in die Kommunikation mit den Studierenden einfließen und sollen in den Übungen als Anreiz für einen frühzeitigen Bearbeitungsbeginn genutzt werden.



Blickmuster: Untersuchung von Strategien beim Umgang mit indirekt proportionalen Funktionsgraphen im thermodynamischen Kontext

P. Fehlinger^{1*}, S. Becker-Genschow², B. Watzka¹

¹RWTH Aachen University, Institute of Physics IA, Didactics of Physics and Technics, Sommerfeldstraße 16, 52074 Aachen, Germany

²University of Cologne, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Digital Education Research, Herbert-Lewin-Straße 10, 50931 Cologne, Germany

Abstract

Die Unterscheidung mathematischer Funktionen ist entscheidend für das Verständnis komplexer Konzepte in Mathematik und Physik. Besonders die Differenzierung von Graphen indirekt proportionaler und anderer Potenzfunktionen stellt viele Lernende vor Herausforderungen, die sich in den Strategien der Lernenden widerspiegeln. Diese Studie untersuchte das Blickverhalten von 80 Zehntklässler*innen bei der Identifikation isothermer Zustandsänderungen in p - V -Diagrammen. Mithilfe von Eye-Tracking und retrospektiven Interviews wurden zwei Strategien identifiziert: der Fokus auf Wertepaare, bei dem Druck- und Volumenwerte verglichen werden, und der Fokus auf den Funktionsgraphen, bei dem der Kurvenverlauf analysiert wird. Lernende, die sich auf Wertepaare konzentrierten, zeigten vorwiegend horizontale und vertikale Blickbewegungen, während der Fokus auf den Funktionsgraphen mit diagonalen Blicksprüngen einherging. Viele Lernende fokussierten sich beim Betrachten des Funktionsgraphen jedoch auf irrelevante Aspekte, wie die Lage der Kurve, was zu Verwechslungen zwischen isothermen und adiabatischen Zustandsänderungen führte. Die Ergebnisse liefern wichtige Hinweise für die Entwicklung adaptiver Lehrmethoden, die an die spezifischen Strategien und Blickbewegungsmuster der Lernenden angepasst sind, um das Verständnis thermodynamischer Funktionsgraphen zu verbessern.

The ability to distinguish mathematical functions is crucial for understanding complex concepts in mathematics and physics. Differentiating graphs of indirectly proportional functions from other power functions poses significant challenges for many students, which is reflected in their strategies. This study examined the gaze behavior of 80 tenth-grade students when identifying isothermal changes of state in p - V diagrams. Using gaze data and retrospective interviews, two primary strategies were identified: a focus on value pairs, where pressure and volume values were compared, and a focus on the graph of function, where the curve's trajectory was analyzed. Students who focused on value pairs exhibited mostly horizontal and vertical gaze movements, while those concentrating on the graph of function demonstrated diagonal saccades. However, many students focusing on the graph of function paid attention to irrelevant aspects, such as the position of the curve, which led to confusion between isothermal and adiabatic changes of state. The results provide insights essential for developing adaptive teaching methods that are aligned with learners' specific strategies and eye movement patterns to improve their understanding of thermodynamic function graphs.

*Corresponding author: fehlinger@physik.rwth-aachen.de

1. Einleitung

Die aktuelle Bildungsforschung beschäftigt sich zunehmend mit der Frage, wie digitale Lernmethoden effektiv in den Unterricht integriert werden können, um individuelle Lernprozesse besser zu unterstützen. Ein zentrales Ziel besteht darin, zu untersuchen, wie Lernende unterschiedliche Darstellungsformen nutzen, um komplexe Informationen erfolgreich zu verarbeiten. Funktionsgraphen spielen in den MINT-Fächern eine zentrale Rolle, da sie Lernende beim Verstehen funktionaler Beziehungen unterstützen.

Ein typisches Beispiel hierfür sind indirekt proportionale Funktionen in der Thermodynamik, die isotherme Zustandsänderungen in p - V -Diagrammen beschreiben. Sie nehmen sowohl im Mathematik- als auch im Physikunterricht der Sekundarstufe eine zentrale Stellung ein.

Lernende haben jedoch oft Schwierigkeiten, die Bedeutung solcher Funktionsgraphen zu erfassen [1-3]. Im thermodynamischen Bereich zeigt sich dies insbesondere darin, dass Lernende Schwierigkeiten haben, isotherme und adiabatische Zustandsänderungen in einem p - V -Diagramm korrekt zu unterscheiden [2, 3]. Dies wird auch an den gewählten Bearbeitungsstrategien deutlich, die nicht immer zielführend sind, wenn es darum geht, den funktionalen Zusammenhang zu erfassen – wie exemplarisch in diesem Artikel gezeigt wird [1]. Problematisch ist dabei, dass Lehrkräfte vor der Herausforderung stehen, die Lernhindernisse ihrer Schülerinnen und Schüler zutreffend einzuschätzen [4].

Blickdatenanalysen bieten wertvolle Einblicke in die Strategien der Lernenden und können zur Optimierung von Lehrmethoden beitragen. In dieser Studie werden sie zusammen mit verbalen Daten genutzt, um zu untersuchen, wie Lernende isotherme Zustandsänderungen erkennen und von adiabatischen Zustandsänderungen unterscheiden.

2. Isotherme Zustandsänderung

Bei einer reversiblen, isothermen Zustandsänderung bleibt die Temperatur des Systems konstant, während der Druck sich umgekehrt proportional zum Volumen verhält.

Das Produkt aus Druck und Volumen bleibt dabei konstant. Im p - V -Diagramm wird eine solche isotherme Zustandsänderung als rechtwinklige Hyperbel dargestellt (siehe Abb. 1A). Bei reversiblen adiabatischen Zustandsänderungen findet kein Wärmeaustausch mit der Umgebung statt, da das System thermisch isoliert ist [5]. Im p - V -Diagramm werden solche adiabatischen Zustandsänderungen als Potenzfunktionen dargestellt, die keine indirekte Proportionalität zwischen Druck und Volumen zeigen (siehe Abb. 1B).

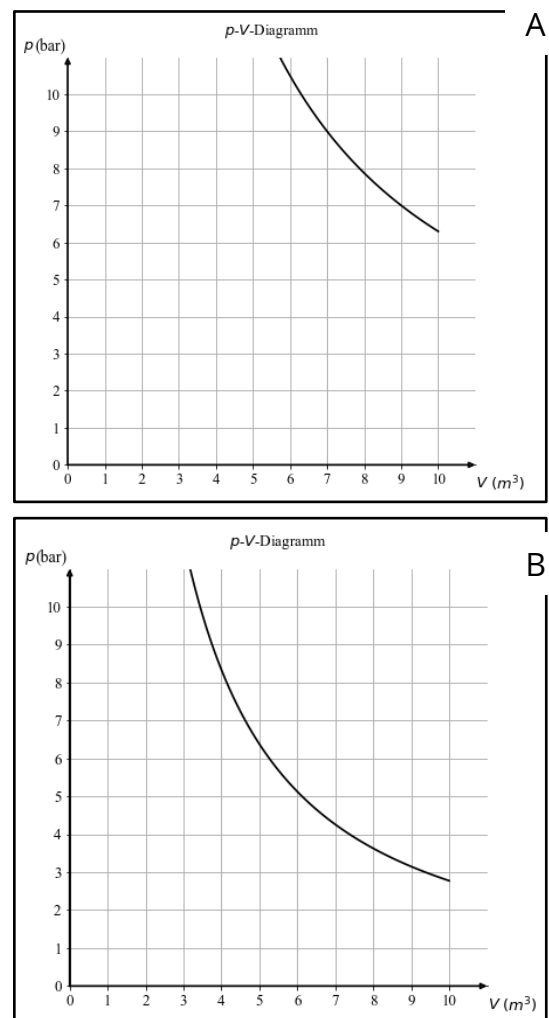


Abb. 1: Darstellung einer isothermen Zustandsänderung (A) und einer adiabatischen Zustandsänderung (B) im p - V -Diagramm.

Zur Interpretation thermodynamischer Zustandsänderungen reichen physikalische Kenntnisse allein nicht aus. Erforderlich ist darüber hinaus ein funktionales Denken, das auch mathematisches Verständnis umfasst.

Dazu zählen insbesondere Kenntnisse über Proportionalitätszusammenhänge, den Ver-

lauf und die Interpretation von Funktionsgraphen sowie der Zusammenhang zwischen Variablen wie Druck und Volumen.

Pinker [6] postuliert, dass das Verständnis zur Interpretation eines Funktionsgraphen als ein Diagrammschema im Gedächtnis gespeichert wird. Dieses Diagrammschema wird von Pinker [6] als eine Wissensstruktur beschrieben, die Informationen über Operatoren umfasst, welche es ermöglichen, relevante Daten aus einem Funktionsgraphen zu extrahieren. Dabei spielen sowohl wesentliche Elemente der Wahrnehmung als auch Prozesse des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses eine entscheidende Rolle [6].

3. Untersuchung von Strategien

Ein tiefes Verständnis der kognitiven Prozesse, die Lernende bei der Bearbeitung von Aufgaben anwenden, ist entscheidend für die Optimierung von Lehr- und Lernprozessen. Eye-Tracking und retrospektive Laut-Denk-Protokolle (RLDP) sind effektive Methoden zur Aufdeckung der Strategien, die beim Lösen von Aufgaben eingesetzt werden. Diese Methoden erlauben Rückschlüsse auf die zugrunde liegenden kognitiven Prozesse [7-11].

Beim Eye-Tracking zur Analyse von Bearbeitungsstrategien sind neben Transitionen und Fixationen auch Sakkadenrichtungen wichtig [7, 8]. Transitionen zeigen Wechsel zwischen fixierten Bereichen, während Sakkaden schnelle Augenbewegungen zwischen Fixationspunkten darstellen. Die Richtung der Sakkaden liefert Hinweise darauf, wie Texte oder Diagramme gelesen und interpretiert werden [8]. Die Triangulation mit RLDP ermöglicht eine weitergehende Optimierung der Analyse von Bearbeitungsstrategien [9], indem die Teilnehmenden nach Abschluss einer Aufgabe ihre Handlungen reflektieren [10].

In einer Studie von Thomanek et al. [11] wurden Blickdaten und verbale Daten genutzt, um Strategien bei der Analyse des Änderungsverhaltens von Graphen in realen Kontexten zu untersuchen. Dadurch konnten zwei Hauptstrategien identifiziert werden.

Zum einen die Analyse des gesamten Funktionsgraphenverlaufs und die abschnittsweise Betrachtung anhand konkreter Wertepaare. Die verbalen Daten stimmten gut mit den

Blickdaten überein und lieferten zudem wertvolle Einblicke in die Vorgehensweisen im situativen Kontext [10].

Dies unterstreicht die Bedeutung von Eye-Tracking und unterstützenden Interviews zur Anregung RLDP.

4. Ziel

Basierend auf den Erkenntnissen von Thomanek et al. [11] zielt diese Untersuchung darauf ab, die Bearbeitungsstrategien von Lernenden bei der Identifikation von Graphen indirekt proportionaler Funktionen in einem thermodynamischen Kontext zu klassifizieren und die Sakkadenrichtungen in den jeweiligen Bearbeitungsstrategien zu analysieren. Ziel ist es, die Bearbeitungsstrategien im Umgang mit indirekt proportionalen Funktionsgraphen zu analysieren und diese mit den Sakkadenrichtungen in Beziehung zu setzen, da diese für die Untersuchung kognitiver Prozesse eine wichtige Rolle spielen. Dabei stellt sich die folgende Forschungsfrage: *Wie lassen sich die Bearbeitungsstrategien von Lernenden bei der Identifikation indirekt proportionaler Funktionsgraphen im thermodynamischen Kontext klassifizieren, und welche charakteristischen Sakkadenrichtungen sind diesen Strategien zuzuordnen?*

Durch die Kombination von Eye-Tracking-Daten und verbalen Äußerungen soll ein tieferes Verständnis der kognitiven Prozesse gewonnen werden.

5. Methodisches Vorgehen

Insgesamt nahmen 80 Lernende der 10. Klasse aus weiterführenden Schulen einer mittelgroßen deutschen Stadt an der Studie teil (45 weiblich, 34 männlich, 1 keine Angabe). Das durchschnittliche Alter betrug 15,47 Jahre ($SD = 1,66$); eine Person gab das Alter nicht an. Die Untersuchung gliederte sich in drei Teile (siehe Abb. 2). Im ersten Schritt wiederholten die Lernenden eigenständig thermodynamische Zustandsänderungen, um ihr Wissen aus der 8. Klasse anhand eines Handouts zu reaktivieren. Anschließend wurde ein Funktionsgraphentest (siehe Abschnitt 6) durchgeführt, während gleichzeitig Blickdaten mithilfe eines stationären Eye-Trackers (Tobii Pro Fusion) erfasst wurden.

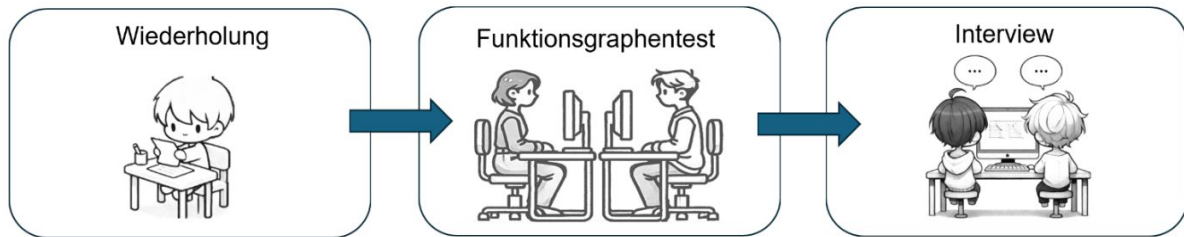


Abb. 2: Ablauf der Studie zur Untersuchung von Blickbewegungsmustern bei der Identifikation isothermer Zustandsänderungen im p-V-Diagramm. Das Bild wurde mithilfe von ChatGPT-4o erstellt.

Danach wurden den Lernenden Fragen zu ihren Vorgehensweisen gestellt, um ihre Bearbeitungsstrategien genauer zu erfassen und die Blickdaten zu validieren. Zur Unterstützung wurde den Teilnehmenden während des Interviews eine Aufzeichnung ihrer Blickbewegungen anhand eines Blickpfades gezeigt, um so ihr Erinnerungsvermögen zu fördern. Ein zentraler Vorteil von Blickpfaden besteht darin, dass sie den Bearbeitungsverlauf Schritt für Schritt abbilden und so eine detaillierte Rekonstruktion kognitiver Prozesse ermöglichen. Weitere Details können in der Studie von Fehlinger et al. [1] nachgelesen werden.

6. Funktionsgraphentest

Grundlage der Untersuchung ist ein Testinstrument mit drei Items im thermodynamischen Kontext, das zur Erfassung des Verständnisses von Funktionsgraphen entwickelt wurde (Cronbachs Alpha = 0,75). Für die hier vorliegende Analyse wurde ein repräsentatives Item ausgewählt, das exemplarisch Einblick in die Bearbeitungsstrategien der Lernenden gibt. Eine weiterführende Auswertung aller Items ist bei Fehlinger et al. [1] dokumentiert.

Die jeweiligen Items des Testinstruments wurden als Multiple-Choice-Aufgabe konzipiert, in denen zwischen isothermen und adiabatischen Zustandsänderungen unterschieden werden musste; das analysierte Beispielitem stellt dabei eine charakteristische Ausprägung dieses Aufgabenformats dar (siehe Abbildung 4). Ziel war es, die isotherme Zustandsänderung korrekt zu identifizieren.

Die Teilnehmenden sollten ihr Blickverhalten möglichst gezielt steuern, sodass ein Außenstehender anhand der aufgezeichneten Blickpfade nachvollziehen konnte, wie die Lösung der Aufgabe zustande kam. Um dies zu erleichtern, wurde ihnen zu Beginn der Untersuchung

eine Aufzeichnung ihrer eigenen Blickpfade aus einer vorherigen Aufgabe gezeigt. Auf diese Weise sollten die Teilnehmenden ein Verständnis dafür entwickeln, wie typische Blickpfade aussehen und wie ihr eigenes Blickverhalten durch diese Blickpfade dargestellt werden kann.

Der Test wurde digital durchgeführt, während das Blickverhalten der Lernenden mithilfe des Eye-Trackers Tobii Pro Fusion aufgezeichnet wurde. Das Szenario ist in Abbildung 3 detailliert dargestellt. Die Studienleitung und die teilnehmende Person saßen jeweils vor einem Bildschirm. Die teilnehmende Person bearbeitete die Aufgaben an einem Bildschirm mit Eye-Tracker, während die Studienleitung das Vorgehen in Echtzeit auf einem anderen Bildschirm anhand der Blickpfade verfolgte.

Dies ermöglichte es, erste Auffälligkeiten in der Bearbeitung zu erkennen und zu dokumentieren, um daraus gezielte Fragen für das anschließende Interview mithilfe eines standardisierten Fragekatalogs abzuleiten. Detaillierte Darstellungen zur methodischen Vorgehensweise finden sich im Artikel von Fehlinger et al. [1].

7. Auswertungsmethode

Für die Auswertung des oben definierten Teilziels wurde exemplarisch ein Item herangezogen, da dieses besonders repräsentativ für die zu untersuchenden Bearbeitungsstrategien und kognitiven Prozesse ist.

Die Kategorisierung der Bearbeitungsstrategien beim Umgang mit dem Graphen der indirekt proportionalen Funktion basierte auf den Blickdaten.

Dazu wurde das entsprechende Diagramm in relevante Bereiche wie Achsen, Ursprung, Beschriftungen, Argumente, Funktionswerte und den Funktionsgraphen selbst unterteilt, so-

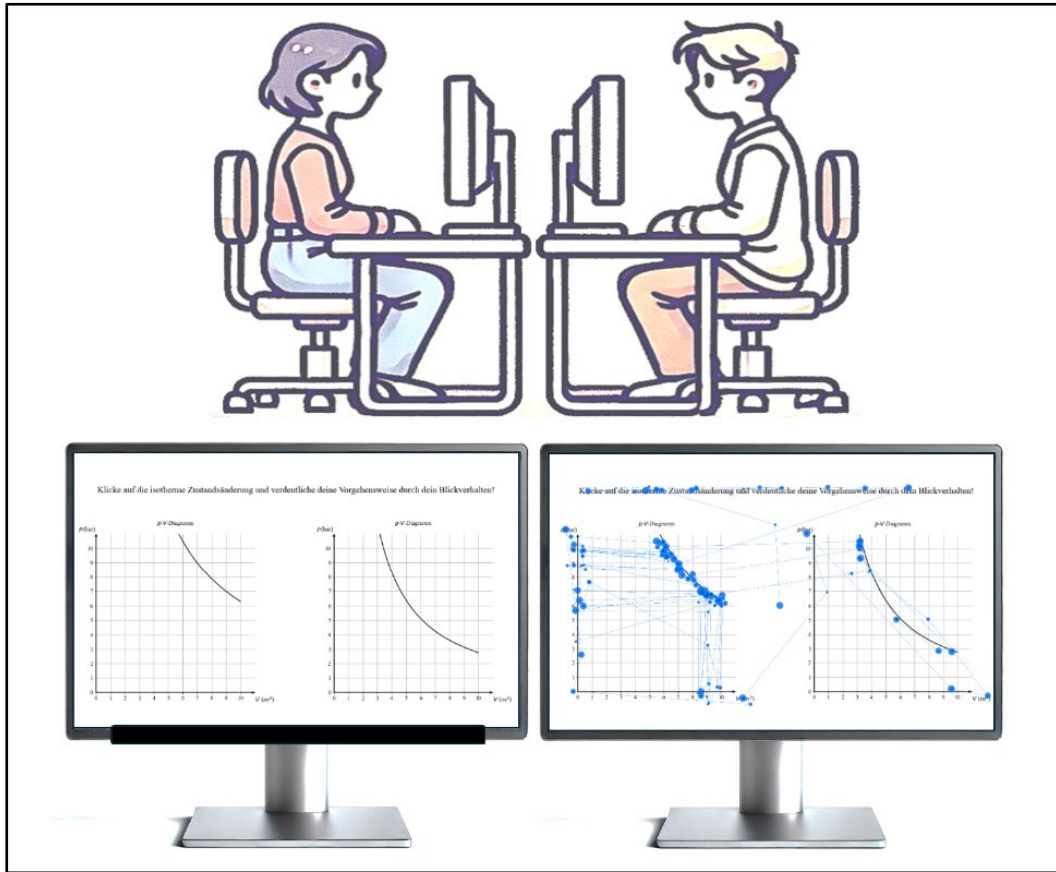


Abb. 3: Empirischer Versuchsaufbau zur Untersuchung der Blickbewegungsmuster bei der Identifikation isothermer Zustandsänderungen im p - V -Diagramm. Links bearbeitet ein Proband Aufgaben zur Identifikation isothermer Zustandsänderungen, während sein Blickverhalten mithilfe eines Eyetrackers aufgezeichnet wird. Rechts verfolgt die Studienleitung die Blickpfade des Probanden in Echtzeit. Die Bildschirme zeigen exemplarisch die jeweilige Sicht eines Probanden und der Studienleitung. Das Bild wurde mithilfe von ChatGPT-4o erstellt.

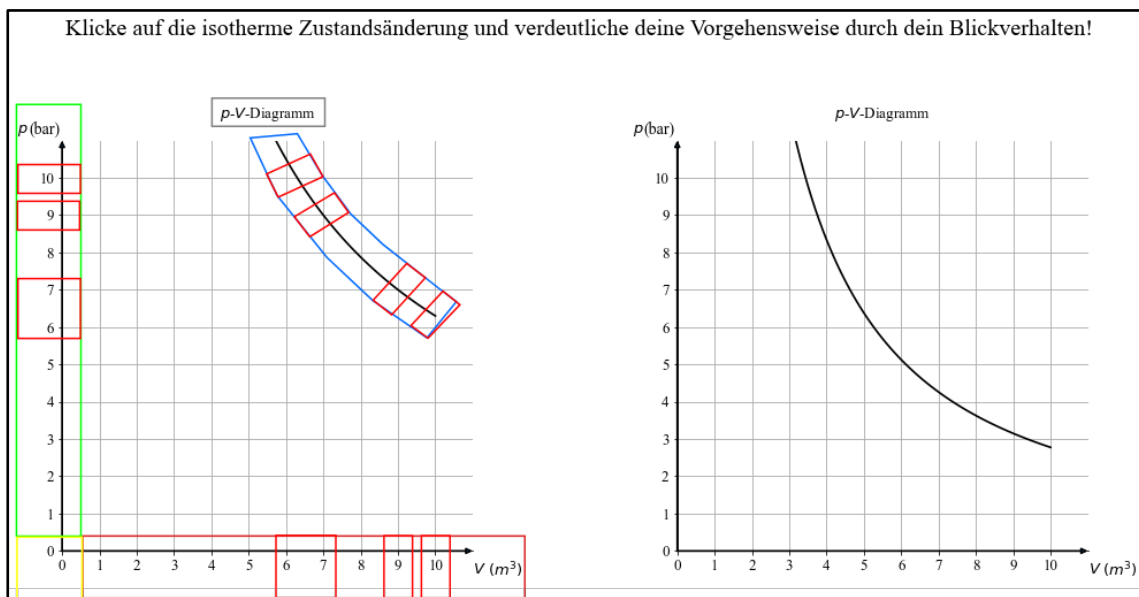


Abb. 4: Darstellung der Areas of Interests (AOIs) im p - V -Diagramm mit isothermer Zustandsänderung zur Untersuchung von Strategien.

genannte AOIs (Areas of Interest) (siehe Abb. 4).

Die relevanten Bereiche wurden basierend auf der Darstellung der Fixationen in den Heatmaps festgelegt (siehe Abb. 5).

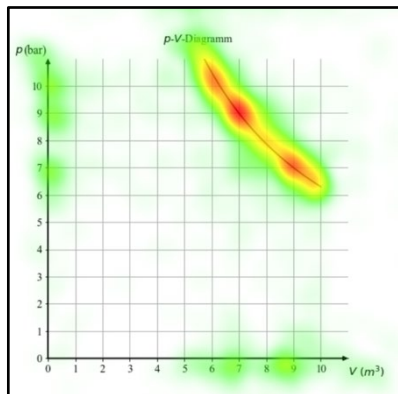


Abb. 5: Heatmap zur Darstellung der kumulierten Gesamtfixationszeit über die gesamte Bearbeitungszeit von 80 Lernenden. Rot = hohe, Grün = mittlere, Gelb = geringe Fixationsdauer.

Zur Kategorisierung der Strategien wurden die Anzahl der Transitionen, Fixationen und Sakkadenrichtungen basierend auf den AOIs analysiert und eine hierarchische Clusteranalyse (Ward-Methode) durchgeführt [12]. Ergänzend wurden die verbalen Daten verwendet. Dazu wurden die Interviews transkribiert und einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen [13].

Anschließend wurden die relevanten Passagen den geclusterten Bearbeitungsstrategien zugeordnet.

Um einen detaillierten Einblick in die Blickdaten der Bearbeitungsstrategien zu erhalten, wurden die Sakkadenrichtungen aller Teilnehmenden genauer untersucht, da diese Hinweise auf die Art und Weise geben, wie das Diagramm gelesen und interpretiert wird [8].

Hierfür wurde eine Kerndichteschätzung auf die Sakkadenrichtungen angewendet, um diese kontinuierlich darzustellen.

8. Ergebnisse

Bereits in der Heatmap in Abbildung 5 ist zu erkennen, dass bei der Lösung der Aufgabe insbesondere der Funktionsgraph, bestimmte

Punkte darauf sowie die Achsen mit den jeweiligen Werten genutzt wurden.

Abbildung 6 zeigt exemplarisch die Blickpfade, die den klassifizierten Bearbeitungsstrategien zugeordnet sind, sowie die Ergebnisse der Kerndichteschätzungen der Sakkadenrichtungen in Polardiagrammen. Durch die Clusteranalyse wurden zwei Strategien identifiziert: die 'Strategie des Fokus auf Wertepaare' (siehe Abb. 6A) und die 'Strategie des Fokus auf den Funktionsgraphen' (siehe Abb. 6B)

Beim „Fokus auf Wertepaare“ wechseln die Lernenden zwischen Punkten auf dem Funktionsgraphen und den Achsen (siehe Abb. 6A). Aus den Interviews geht hervor, dass sie zwei Zustände der Zustandsänderung analysieren, indem sie die Druck- und Volumenwerte vergleichen. Dabei prüfen sie, ob der Druck des ersten Zustands dem Volumen des zweiten Zustands entspricht und umgekehrt. Ein Proband erläutert dazu:

„Habe die Punkte abgeglichen, ob die sich mit dem gleichen Faktor verändern. Und das war so. Deswegen habe ich mich dafür entschieden.“

Die Blickbewegungen verlaufen dabei überwiegend horizontal und vertikal (siehe Abb. 6A, Polardiagramm).

Die Strategie „Fokus auf den Funktionsgraphen“ konzentriert sich auf den Verlauf des Funktionsgraphen (siehe Abb. 6B).

Laut Interviews analysieren die Lernenden vor allem den Verlauf und die Lage der Kurve, um typische Merkmale der isothermen Zustandsänderung zu identifizieren. Ein Proband sagt beispielsweise:

„... aber es verläuft halt kurviger als das andere. Das andere ist halt schon fast eine Gerade, also fast. Und deswegen habe ich das andere ausgewählt.“

Dabei verlaufen die Sakkadenrichtungen diagonal (siehe Abb. 6B, Polardiagramm). Die Blickmuster und verbalen Daten offenbaren unterschiedliche Herangehensweisen und Schwierigkeiten.

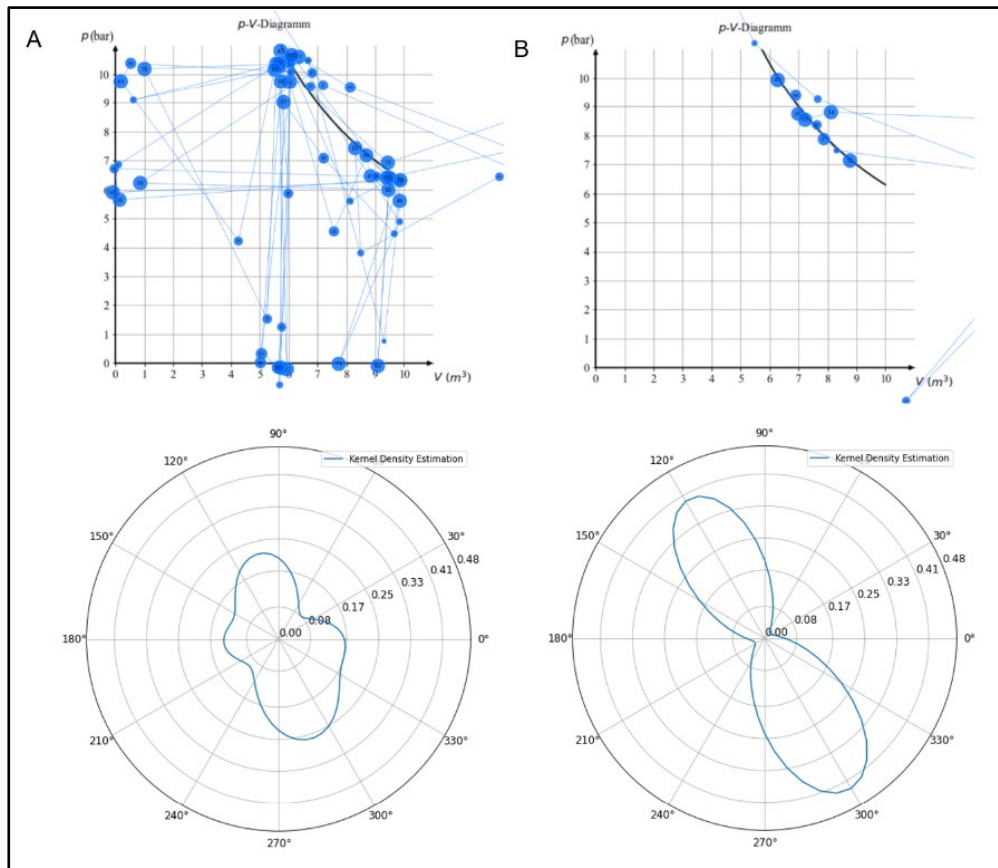


Abb. 6: Exemplarische Blickpfade der Bearbeitungsstrategien Fokus auf Wertepaare (A) und Fokus auf Funktionsgraphen (B). Die unteren Abbildungen zeigen jeweils die Kerndichteschätzungen (KDS) der Sakkadenrichtungen für die jeweiligen Bearbeitungsstrategien.

9. Diskussion

Die Clusterbildung basierend auf den Blickdaten sowie die Analyse der Sakkadenrichtungen liefern wertvolle Einblicke in die Bearbeitungsstrategien der Lernenden bei der Identifikation isothermer Zustandsänderungen im p - V -Diagramm. Ergänzend dazu bieten die verbalen Daten tiefere Einblicke in die Bearbeitungsstrategien und offenbaren Lernschwierigkeiten, die eine erfolgreiche Identifikation erschweren.

Es konnten zwei Bearbeitungsstrategien identifiziert werden, die jenen aus der Studie von Thomanek et al. [11] ähneln. Die Teilnehmenden verteilten sich dabei gleichmäßig auf beide Strategien (jeweils 50 %). Zum einen wurde der Funktionsgraph abschnittsweise anhand konkreter Wertepaare analysiert, was sich in überwiegend waagerechten und senkrechten Sakkaden widerspiegelt. Zum anderen wurde der Graph in seiner Gesamtheit betrachtet, wobei vor allem diagonale Sakkaden auf eine ganzheitliche Erfassung des Funktionsverlaufs hindeuten.

Besonders die Analyse der Wertepaare stellt eine solide Bearbeitungsstrategie dar, die dem Test einer Produktgleichheit nahekommt. Der Fokus auf den Funktionsgraphen erweist sich als erfolgreiche Strategie, wenn die Lernenden überprüfen, ob der Graph den Verlauf einer rechtwinkligen Hyperbel aufweist. Diese Strategie zur Identifikation isothermer Zustandsänderungen wird jedoch fehleranfällig, wenn der Schwerpunkt beispielsweise auf die Lage des Graphen gelegt wird. Die ausschließliche Orientierung an der Lage des Graphen – etwa daran, ob er „oben“ oder „unten“ im Diagramm verläuft – kann zu Fehlinterpretationen führen, da sich isotherme und adiabatische Zustandsänderungen in ihrer graphischen Darstellung unter bestimmten Bedingungen ähneln können. Der entscheidende Unterschied liegt jedoch im funktionalen Verlauf der Kurve, der nicht allein durch die Lage im Diagramm bestimmt werden kann. Dies deutet auf Schwierigkeiten der Lernenden im Umgang mit Graphen indirekt proportionaler Funktionen hin.

Detaillierte Informationen zu den Bearbeitungsstrategien finden sich in der Studie von Fehlinger et al [1].

Aus einer zukunftsorientierten Perspektive für adaptive Unterstützungssysteme ist es von großem Vorteil, dass die Sakkadenrichtungen spezifische Merkmale in den jeweiligen Bearbeitungsstrategien aufweisen. Diese ermöglichen es, anhand der Blickbewegungsmuster präzise Rückschlüsse auf die Herangehensweise der Lernenden zu ziehen, wodurch individuell angepasste Hilfestellungen gezielt implementiert werden können.

10. Fazit

Vorangegangene Studien belegen, dass Lernende häufig Probleme bei der Analyse von Funktionsgraphen haben, während Lehrkräfte diese Schwierigkeiten oftmals nur unzureichend wahrnehmen [2–4]. Dabei existieren grundsätzlich geeignete didaktische Ansätze – wie der Einsatz multipler Darstellungsformen, der bewusste Wechsel zwischen verschiedenen Repräsentationen oder der Einsatz interaktiver Visualisierungstools –, die gezielt zur Förderung dieser Kompetenzen beitragen können.

Die Analyse der Blickbewegungen und verbalen Daten bietet wertvolle Einblicke in die Bearbeitungsstrategien und spezifischen Lernschwierigkeiten der Lernenden.

Ein zentrales Lesson Learned ist, dass Lernende beim Betrachten des Graphenverlaufs oft irrelevante Aspekte fokussieren und daher isotherme von adiabatischen Prozessen schwer unterscheiden können. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit gezielter Hilfestellungen für ein besseres Verständnis thermodynamischer Zustandsänderungen.

Literatur

- [1] Fehlinger, P., Becker-Genschow, S. & Watzka, B. Gaze behavior as a key to revealing strategies for identifying indirectly proportional graphs in thermodynamic and mathematical context. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 21. 020129.
- [2] Adila, A. S. D., Sutopo & Wartono (2018). Students' reasoning in analyzing temperature from PV diagram representing unfamiliar thermodynamics process. *Journal of Physics Conference*, 1097(1), 012012.
- [3] Saepuzaman, D., Sriyansyah, S. P. & Karim, S. (2019). Unpacking Pre-service Physics Teachers' Understanding of the PVT Diagram and the Associated Mathematics. *Journal of Physics Conference Series* 1204, No. 1, 012032
- [4] Ostermann, A., Leuders, T. & Nückles, M. (2018). Improving the judgment of task difficulties: prospective teachers' diagnostic competence in the area of functions and graphs. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 21, 579-605.
- [5] Fermi, E. (2012). *Thermodynamics*. Courier Corporation.
- [6] Pinker, S. (1990). A theory of graph comprehension. In R. Freedle (Hrsg.), *Artificial intelligence and the future of testing* (S. 73-126). Erlbaum.
- [7] Unema, P. J. A., Pannasch, S., Joos, M. & Velichkovsky, B. M. (2005). Time course of information processing during scene perception: The relationship between saccade amplitude and fixation duration. *Visual Cognition*, 12(3), 473-494.
- [8] Klein, P., Hahn, L., & Kuhn, J. (2021). Einfluss visueller Hilfen und räumlicher Fähigkeiten auf die graphische Interpretation von Vektorfeldern: Eine Eye-Tracking-Untersuchung. *ZfDN*, 27, 181-201.
- [9] Kiili, K., Ketamo, H., Koivisto, A., & Finn, E. (2014). Studying the user experience of a tablet based math game. *International Journal of Game-Based Learning (IJGBL)*, 4(1), 60-77.
- [10] Guan, Z., Lee, S., Cuddihy, E., & Ramey, J. (2006, April). The validity of the stimulated retrospective think-aloud method as measured by eye tracking. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems* (pp. 1253-1262).
- [11] Thomaneck, A., Vollstedt, M., & Schindler, M. (2023). Eye-Tracking und Stimulated Recall Interviews zur Strategieanalyse bei der Erfassung der Änderung von Graphen.
- [12] Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58 (301), 236–244.
- [13] Kuckartz, U. (2019). Qualitative text analysis: A systematic approach. In G. Kaiser & N. Presmeg (Eds.), *Compendium for early career researchers in mathematics education* (pp. 181-197). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15636-7_6