

Erarbeitung eines spiralcurricularen Blended Learning Konzepts für die Mathematik- ausbildung der Studiengänge Lehramt Physik

Lydia Kämpf*, Frank Stallmach*

*Universität Leipzig, Institut für Didaktik der Physik, Abteilung Hochschuldidaktik Physik, Prager Straße 36,
04317 Leipzig
lydia.kaempf@uni-leipzig.de; stallmac@physik.uni-leipzig.de

Kurzfassung

In den Staatsexamensstudiengängen Lehramt Physik in Sachsen sind in den ersten vier Semestern durch die Kombination zweier Lehramtsfächer nur jeweils zehn Leistungspunkte pro Semester für die Physik-Fachausbildung vorgesehen. Eine hinreichende Mathematik-Ausbildung wird durch die Integration der Mathematikausbildung in Form Mathematischer Methoden Seminare in die Physik-Module sichergestellt. Sie sind an den aktuellen physikalischen Problemen ausgerichtet und geben den Studierenden just-in-time das benötigte mathematische Hintergrundwissen.

Im vorgestellten Projekt werden die Mathematischen Methoden der ersten beiden Semester der Lehramtsstudiengänge Physik an der Universität Leipzig in ein Blended Learning Format überführt, in dem über digitale Lehrformate wie Lehrvideos und Simulationen, sowie Präsenzseminare die mathematischen Inhalte vermittelt und mit den physikalischen Anwendungen verknüpft werden. Die Videos dienen der Strukturierung des Selbststudiums. Sie enthalten u. a. interaktive Aufgabenstellungen und formative Tests, um den Studierenden ein Feedback mit konkreten Handlungsvorschlägen zu geben. Gleichzeitig zeigen Sie dem Lehrenden Defizite des Selbststudiums zur Planung der Präsenzseminare auf. Die Anwendung der Mathematik auf konkrete physikalische Probleme geschieht in den vertiefenden Mathematikseminaren mittels kollaborativer Lehr-Lern-Sequenzen.

1. Einleitung

In der Studieneingangsphase der Lehramtsstudiengänge Physik stehen die Studierenden vor der Herausforderung eine gewisse Studierfähigkeit zu entwickeln und den Übergang von induktiven, fremdgesteuerten Lehrmethoden der Schule zum deduktiven, selbstregulierten Vorgehen in der Universität erfolgreich zu vollziehen [5,11]. Dieser Übergang fällt den Studierenden in den naturwissenschaftlichen Fächern und besonders in Mathematikmodulen sehr schwer, sodass von einem regelrechten Mathematikshock zu Beginn des Studiums gesprochen werden kann [1, 14,9]. In Physikstudiengängen schlägt der Transfer erlernter Rechenstrategien der Mathematikmodule in die Physik zur Beschreibung verschiedener Phänomene oft fehlt [3]. Dafür muss die Verzahnung der Physik und Mathematik als Language of Science verdeutlicht und der Übergang in das selbstregulierte Lernen unterstützt werden.

Eine didaktische Aufarbeitung der Studieneingangsphase ist essenziell, um den Lernenden mit ihren heterogenen Lernvoraussetzungen bei dem Sprung in ein selbstorganisiertes universitäres Lernen zu unterstützen [5,10]. Blended Learning Ansätze bieten die Möglichkeit, ein hohes Maß an Differenzierung anzubieten. Die Nutzer dieser Angebote sind in der Lage, ihr Lerntempo, ihre Lernzeit, mögliche Wiederholungen und die Nutzung angebotener Materialien an ihre individuellen Lernstrategien anzupassen und damit mit einer gewissen Hilfestellung im Laufe des Kurses selbstreguliertes Lernen zu erlernen [20,2,4].

Das Konzept des Flipped Classrooms als eine Form des Blended Learnings wird in schulischen und universitären Kontexten derzeit stark beforscht, wobei potenzielle Gelingfaktoren, wie beispielsweise das Potential zur kognitiven Aktivierung, Angemessenheit der Inhalte und Bearbeitungszeit, Methodenvielfalt, Spontanität und eine positive Haltung der Lehrperson, sowie die konstruktive Unterstützung der Lernenden, benannt werden [20,4,15,2]. Im Folgenden wird der Entwicklungsstand unseres spiralcurricularen Blended Learning Ansatzes für die Mathematikausbildung der Lehramtsstudiengänge Physik in der Studieneingangsphase an der Universität Leipzig vorgestellt. Dabei wird auf den Kursaufbau und die zentralen Elemente des Kurses eingegangen. Am Beispiel der Rechnung mit komplexen Zahlen wird das Konzept im Detail erläutert und erste Ergebnisse der Evaluation vorgestellt.

2. Das allgemeine Kursdesign

Mit der Neugestaltung der Studienordnung der Staatsexamensstudiengänge für das Lehramt der Universität Leipzig sind die Lehramtsstudiengänge und die Bachelor of Science Studiengänge für die Physik vollständig getrennt worden. Damit entstand Freiraum, um ein spezielles Angebot für die Staatsexamensstudiengänge Lehramt Physik zu schaffen, das auf die Anforderungen bezüglich der Fachausbildung in Physik und Mathematik für Studierende mit dem Berufsziel Physiklehrende zugeschnitten werden konnte. Allerdings limitiert die universitär streng vorgegebene Drittelung der Leistungspunkte zwischen

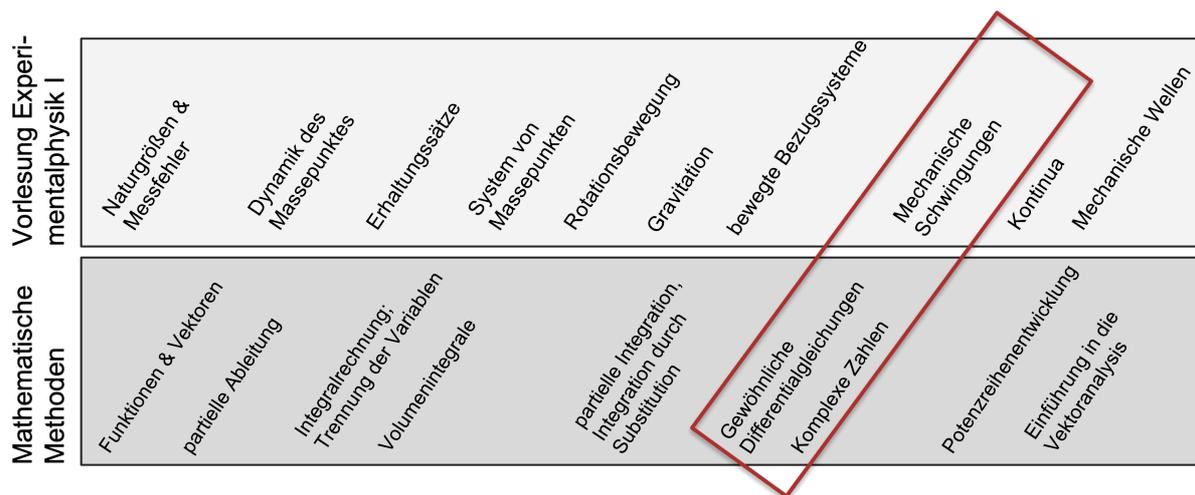


Abb. 1: In den mathematischen Methoden werden Inhalte der Physikvorlesung mathematisiert und gelöst. So werden parallel zur Behandlung der mechanischen Schwingungen Differentialgleichungen und komplexe Zahlen eingeführt, um die Schwingungsgleichung zu lösen.

der Physik, dem frei wählbaren zweiten Lehramtsfach und der Bildungswissenschaften diesen Freiraum bezüglich des Umfangs an Lehrveranstaltungen für die Physik und die dazu notwendige Mathematikausbildung. Deshalb wurde die Entscheidung getroffen, die mathematische Ausbildung in den Lehramtsstudiengängen Physik in die Experimentalphysikmodule der ersten beiden Semester durch semesterbegleitende Mathematische Methoden Seminare zu integrieren [17,18]. Die Einbindung der mathematischen Inhalte in die Physikveranstaltungen hat den Vorteil der Behandlung wichtiger mathematischer Konzepte parallel zu ihrer Anwendung in physikalischen Problemen der zugehörigen Physikvorlesung (siehe Abb. 1). Diese verzahnte Lehre macht die mathematischen Themenkomplexe für die Studierenden relevant, anschlussfähig und fördert das Durchdenken sowohl der mathematischen als auch physikalischen Lerninhalte [3]. Der extraneous cognitive load wird durch einheitliche Notation und Sprachgebrauch im Vergleich zu getrennten Physik- und Mathematikmodulen reduziert [16].

Die Module Experimentalphysik I und II sind so konzipiert, dass in einem zweiwöchigen Turnus die Mathematischen Methoden die Inhalte der Physikvorlesung mit ihrer mathematischen Beschreibung aufgreifen. Mathematik, die an verschiedenen Stellen der Physikausbildung relevant ist, wird spiralcurricular an diesen Stellen unter anderen Gesichtspunkten betrachtet. So werden mathematische Werkzeuge, wie die komplexen Zahlen, in der Experimentalphysik I zur Beschreibung von Schwingungen und in der Experimentalphysik II zur Beschreibung von Wechselstromwiderständen unter verschiedenen Gesichtspunkten wiederholt und damit vertieft und gefestigt. Um die Fülle der relevanten mathematischen Themenkomplexe in den zweiwöchigen Seminaren zu vermitteln, wurden bisher die Mathematischen Methoden Seminare vorlesungsartig gestaltet und die

Studierenden mit der Vertiefung und Anwendung in physikalischen Aufgaben im Selbststudium alleingelassen. Auch der Übergang vom ersten zum zweiten Semester, der oft mit einem Wechsel der Lehrenden einhergeht, ist für die begleitende Mathematikausbildung aus Sicht der Studierenden oft nicht optimal, weil das Anforderungsniveau wechselt und auch das Vorwissen aus dem ersten Modul nicht immer in adäquater Form genutzt wurde.

3. Die Umstrukturierung der Mathematischen Methoden in ein Blended Learning Format

Viele Studienanfänger geben eine hohe Belastung durch die für die Physik benötigte Mathematik an [1, 14,9], da sie noch nicht geübt sind, in einem selbstregulierten Selbststudium komplexe Inhalte zu erarbeiten. Um das Studium in den ersten Semestern besser zu begleiten und zu strukturieren, werden die Mathematischen Methoden Seminare seit dem Wintersemester 2022/2023 schrittweise in ein Blended Learning Format überführt (siehe Abb. 2). Das Selbststudium wird durch interaktive Erklärvideos, einem zugehörigen Skript, ersten Aufgaben in formativen Tests, sowie weiterführender Literatur unterstützt. Die Studierenden erlernen durch die Videos die wichtigsten Grundlagen der verschiedenen mathematischen Themenkomplexe in Eigenregie und testen ihr Wissen in ersten leichten Aufgaben. Nach deren Beantwortung erhalten sie formatives Feedback über das weitere Vorgehen in ihrem persönlichen Lernweg. Das erlernte Wissen wird im anschließenden Präsenzseminar vertieft und auf konkrete physikalische Anwendungen der parallelen Physikvorlesung übertragen. Um den Transfer in die Physik weiterzuführen, bearbeiten die Studierenden auf den physikalischen Übungsblättern Aufgaben, die mittels der neu erlernten Mathematik am effektivsten zu lösen sind. Das erste Selbststudium wird damit zum Lernraum, das Seminar zum Übungsraum und das anschließende Selbststudium, in dem physikalische Inhalte mit der

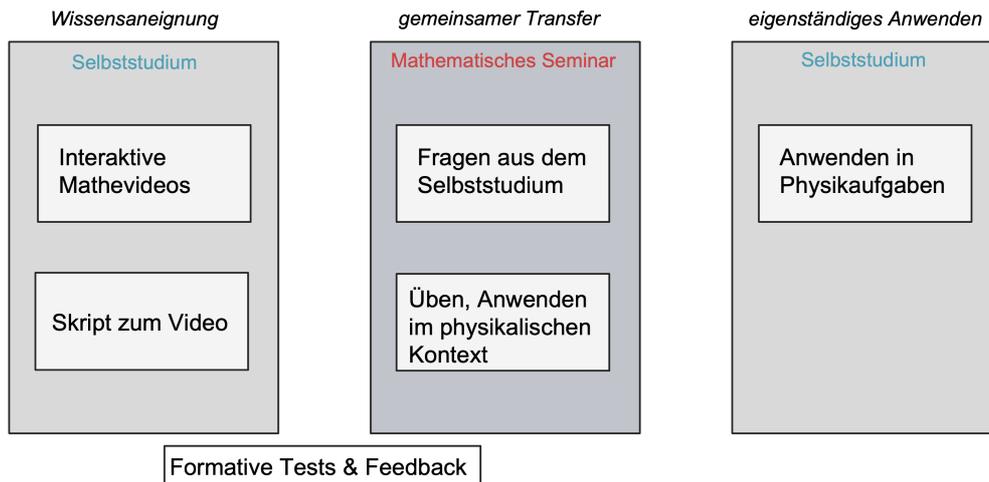


Abb.2: Der Lern- und Übungsraum der Mathematischen Methoden Seminare werden durch interaktive Erklärvideos für das Selbststudium und einem anwendungsorientierten Seminar als Präsenzveranstaltung getauscht.

neu erlernten Mathematik gelöst werden zum weiteren Übungs- und Transfer-Raum. Das aufgezeigte Konzept der Mathematischen Methoden Seminare entspricht damit dem Konzept des Flipped Classrooms.

4. Elemente des modulübergreifenden spirallcurricularen Blended Learning Mathematikurses

Das Selbststudium des Blended Learning Kurses der Mathematischen Methoden Seminare wird vor allem durch die interaktiven Videos strukturiert, in denen die mathematischen Inhalte eingeführt werden. Die dadurch freigewordene Lernzeit der Präsenzseminare wird für Fragen und Probleme aus dem Selbststudium und vor allem für Festigungs- und Transferaufgaben genutzt.

4.1. Interaktive H5P-Mathematikvideos

Das zentrale Element des Selbststudiums stellen interaktive Erklärvideos dar. Sie sind eigens für die Lehramtsstudiengänge Physik nach Gütekriterien guter Erklärvideos [8, 7] konzipiert und beinhalten alle wichtigen und verständnisförderlichen Grundlagen der zu behandelnden Themen sowie erste Verständnisfragen. Die Forschung zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos kritisiert oft die fehlende Aktivierung der Lernenden und ein folgliches "sich berieseln lassen", ohne das Dargebotene zu durchdringen [12]. Unter Nutzung einer frei zugänglichen Software, wie z.B. H5P, werden die Mathematikvideos des Kurses mit verschiedenen Interaktionen versehen. H5P ist eine offene Software zum Erstellen verschiedenster interaktiver Lerninhalte, die in Lehr-Lern-Management Plattformen, wie Moodle, eingebunden werden können. In unserem Mathematik-Szenario werden interaktive H5P-Inhalte genutzt, um nach zentralen Aussagen der Videos Verständnisfragen oder kurze Rechenaufgaben zu stellen, die das gerade Gesehene thematisieren und die Studierenden damit die neu gelernten Inhalte anwenden lassen (siehe Abb. 3). Der Wissenstransfer wird dadurch noch während das

Video bearbeitet wird initiiert. Die Interaktionen fordern die Lernenden zum Mitdenken und sprichwörtlichen Interagieren mit dem Video auf. Ein individuelles Feedback zeigt den Lernenden ihren Lernstand auf. Da die verschiedenen Antworten den Lehrenden einsehbar sind, können diese Aussagen zu Verständnisschwierigkeiten treffen und ihr Seminar auf die Bedürfnisse der Studierenden anpassen.

Weitere interaktive Schaltflächen, wie das Springen im Video je nach Beantwortung von Fragen oder Buttons mit versteckten grundlegenden beziehungsweise weiterführenden Informationen (siehe Abb. 3), bieten ein breites Differenzierungsangebot für die heterogene Lerngruppe der Studienanfänger [20,2,4]. Die Studierenden sind frei in ihrer Entscheidung, wann, wo oder wie oft sie ein Video schauen. Damit sind interaktive Lehr-Lern-Szenarien für die individuellen Bedürfnisse der Studieneingangsphase sehr gut geeignet.

4.2. Formativer Abschlusstest

Am Ende einer jeden Themeneinheit wird ein abschließendes Quiz bearbeitet. Es fasst die Themen der Videos zusammen, wendet die Mathematik in einem ersten leichten physikalischen Beispiel an und gibt den Studierenden einen Ausblick auf das kommende Seminar. In dem personalisierten Feedback erhalten die Lernenden Auskunft über ihren individuellen Lernstand und die Lehrende anonymisierte Informationen über den erreichten Kenntnisstand der gesamten Gruppe.

4.3. Das Präsenzseminar

Das Seminar zu einem Themengebiet bereiten die Lehrenden mit den Informationen zum Kenntnisstand aus den anonymisierten formativen Tests vor. Sie beginnen es mit einer Fragerunde zu allen Schwierigkeiten des Selbststudiums. Um die Studierenden zu aktivieren und die behandelten Themen ins Gedächtnis zu rufen, wird diese mit wenigen kurzen Fragen zu den Inhalten der Videos unterstützt. Anschließend

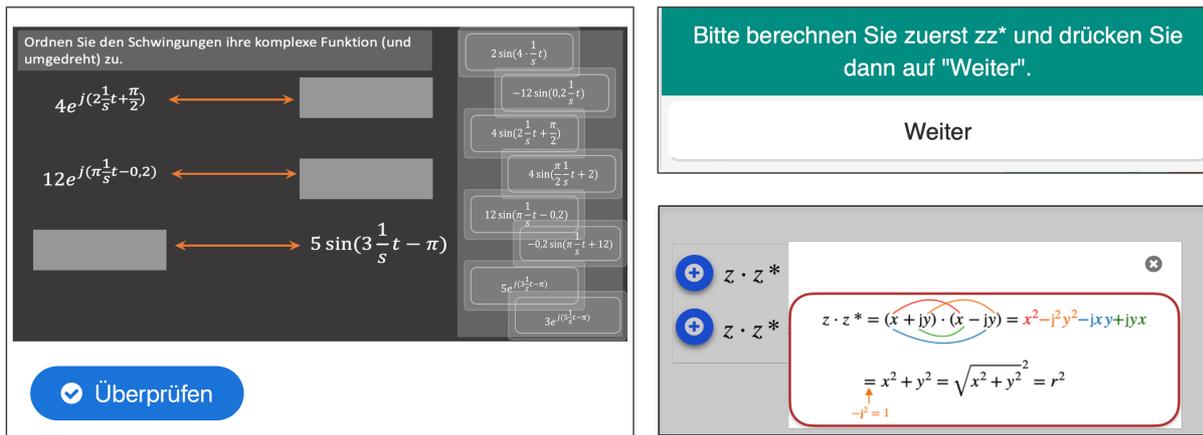


Abb.3: Aufgaben, Arbeitsaufträge, Verzweigungen und weiterführende Informationen regen die aktive Mitarbeit der Zuschauenden an.

werden alle Fragen, die nicht das Wiederholen des Videos verlangen, beantwortet.

Der Fokus des Seminars liegt im Üben und im Transfer des mathematischen Gerüsts auf relevante physikalische Anwendungen. Im Seminar werden verschiedene physikalische Phänomene mathematisch beschrieben, die sie in der zugrundeliegenden Experimentalphysikvorlesung derzeit thematisieren. Damit wird die Relevanz der Mathematik und die Übertragbarkeit der Language of Science in die Physik verdeutlicht. In der Bearbeitung verschiedener Aufgaben werden die Studierenden immer selbstständiger und die Lehrperson nimmt im Laufe des Seminars die Rolle eines Lernbegleiters und Mentors ein [4].

4.4. Physikalisch-mathematische Übungsaufgaben

Um die Vernetzung der Mathematik und Physik weiter voranzutreiben, werden auf den physikalischen Übungsblättern solche Aufgaben gestellt, die die Studierenden mittels erlernter Mathematik lösen müssen. Diese bewerteten Übungsblätter geben darüber hinaus einen Aufschluss über die individuelle Anwendbarkeit der Mathematik.

5. Ergebnisse erster Szenarien im Blended Learning Format

Im Wintersemester 2022/23 wurden erstmals drei Themengebiete in einem Blended Learning Format durchgeführt, sowie die Akzeptanz der neuen Materialien und die Wissensstände direkt nach dem Schauen der Videos und nach dem Besuchen des Präsenz-Seminars überprüft. In dieser Zeit entstanden Szenarien zu komplexen Zahlen, zur Potenzreihenentwicklung und Näherungsfunktionen, sowie zur Einführung in die Vektoranalysis. Alle drei Szenarien wurden im Zeitraum vom Dezember 2022 bis Januar 2023 erprobt. Die Umfrage zur Qualität und Akzeptanz der Videos wurde nach der Lektion zu den Komplexen Zahlen erhoben. Die vorgestellten Daten zur Qualität der Videos und dem Lernstand konzentrieren sich auf das Szenario zu komplexen Zahlen und ihrer Anwendung zur Beschreibung von mechanischen Schwingungen, die in den Experimentalphysikvorlesung

unmittelbar nach der vorlesungsfreien Zeit zum Jahreswechsel behandelt wurden. Auf die entsprechend umfragebasierten Datenerhebungen zu den Szenarien Potenzreihenentwicklung und Einführung in die Vektoralgebra wurde in diesem Durchgang der Entwicklung des neuen Blended Learning Konzepts verzichtet, da die Studierenden in ihrer ersten Prüfungszeit keinen großen Mehraufwand durch Erprobungen ausgesetzt werden sollten.

5.1. Umfrage zur Qualität der Erklärvideos

Da die Akzeptanz der neuen Materialien und Lehrformen eine Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung des Kurses ist, wurde zu Beginn eine Umfrage zu den zwei Erklärvideos über die komplexen Zahlen zu den Gütekriterien guter Erklärvideos in Anlehnung an den Fragenkatalog von Kulgemeyer [8, 7] durchgeführt. In der Umfrage gaben die Studierenden die Passung des Videos an die Qualitätskriterien mittels einer vierstufigen Likert-Skala an. Jedes der untersuchten Qualitätsmerkmale wurde aus Studierendensicht gut bis sehr gut in den Erklärvideos umgesetzt (siehe Abb. 4), was für eine hohe Qualität des Lehr-Lern-Materials in der ersten Erprobung spricht.

Neben den allgemeinen Kriterien guter Erklärvideos wurde darüber hinaus die Innovation der interaktiven Elemente als Aktivierungs- und Fokussierungshilfe der Erklärvideos erfragt. Ein Anteil von 78% der Befragten gaben an, dass sie das Video durch seine interaktiven Elemente zur aktiven Bearbeitung der Inhalte animierte. Diese Aussage ist ein Indikator, dass die Interaktionen einen Mehrwert für die Qualität von instruktionalen Videos haben kann, und die Studierenden entgegen einigen Kritiken [12] zur aktiven Bearbeitung der Themen gelenkt werden können.

Ein zweiter wichtiger Punkt im vorgestellten Konzept der Mathematischen Methoden ist die parallele Erarbeitung der Mathematik und Physik, die die Relevanz und Anschlussfähigkeit der Mathematischen Methoden stärkt. Die Relevanz der Mathematischen Methoden für die Physik am Beispiel der komplexen Zahlen für die Beschreibung Schwingungen erkennen 90%

Daten der Qualitätsstudie der Videos zu komplexen Zahlen (N=42)

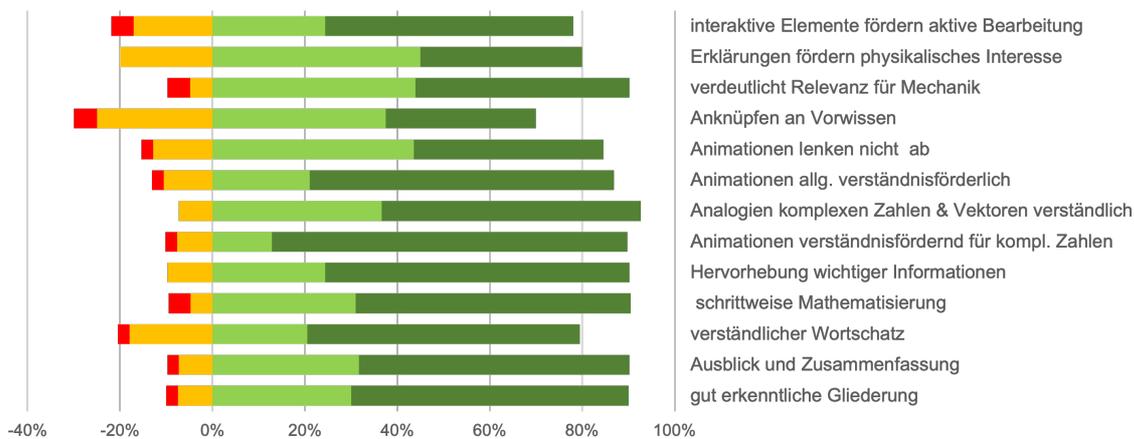


Abb.4: Die Umfrage zu den Qualitätskriterien der Mathematikvideos zeigt, dass die Mehrheit der Zuschauer diese als gut bis sehr gut bewerten.

der Studierenden, sodass die Verzahnung für die Studierenden als sehr ersichtlich eingestuft werden kann. Der dritte wichtige Pfeiler des vorgestellten Konzepts ist der spiralcurriculare Aufbau des Kurses. Ein Anteil von 93% der Befragten beurteilten die Analogie der komplexen Zahlen zur Vektorrechnung im Zweidimensionalen, welche als Vorwissen aus der Oberstufe bekannt ist, als verständlich. Damit sind die drei wichtigen Pfeiler, das spiralcurriculare Prinzip, die Verzahnung mit der Physik und die Aktivierung durch Interaktionen im Video in der ersten Erprobung erfolgreich in unserem Lehr-Lern-Szenario umgesetzt worden.

5.2. Lernstandserhebung nach dem einführenden Selbststudium

Die Qualität der Mathematikvideos des Selbststudiums lässt sich nicht nur ausschließlich durch äußere Kriterien detektieren, sondern beinhaltet auch das Verständnis der Studierenden. Um den Wissenstransfer der Videos zu untersuchen, wurde ein unangekündigter Test T1 (siehe Abb. 2) zu Beginn des zugehörigen Präsenzseminars und damit vor einer gemeinsamen Vertiefung durchgeführt. Da der Test wenigstens eine Nacht nach der Bearbeitung der Videos durchgeführt wurde, untersucht dieser Test das Langzeitgedächtnis [6,19]. Von einem Pre-Post-Test-Design wurde abgesehen, da die Studierenden kein bis kaum Vorwissen zu den komplexen Zahlen haben da diese nicht mehr verpflichtend laut Lehrplänen der Sekundarstufe II in Sachsen und den meisten anderen Bundesländern gelehrt werden [13].

Der Test zur Überprüfung des Wissenstandes nach dem Bearbeiten der Videos beinhaltete kurze Rechenaufgaben zu den Grundrechenoperationen und der Darstellung von Schwingungen als komplexe Funktionen und wurde ohne Hilfsmittel gelöst. Abb. 5 zeigt die Testergebnisse der im Seminar anwesenden Studierenden. Die Lernziele des Beherrschens der

jeweiligen Grundrechenoperationen mit komplexen Zahlen an einfachen Beispielen wurden erreicht. Allein bei der Arbeit mit dem komplex Konjugierten haben die Studierende Defizite.

Alle im Test abgefragten Themenkomplexe wurden durch zusammenfassende Drag-and-Drop oder Multiple-Choice-Aufgaben im Video gesichert (siehe Abb. 3). Nur die Berechnungen mit dem komplex Konjugierten wurden hinter Stopps versteckt, sodass das Video auch ohne aktive Beantwortung fortfährt. Obwohl die Musterlösung im Video gegeben ist, wurde diese Testaufgabe nicht gut gelöst. Damit eröffnet sich eine Forschungsfrage nach möglichen Qualitätskriterien für implementierte Aufgaben und dem generellen Impact von Interaktionen auf das Verständnis der im Video gezeigten Inhalte.

5.3. Lernstandserhebung nach dem vertiefenden Seminar

Um die in den Mathematischen Methoden Seminaren behandelten Themen weiter in die Physik zu transferieren, werden auf den physikalischen Übungsblättern Aufgaben gestellt, zu deren Lösung das mathematische Wissen der vorherigen Seminare nötig ist. In der Übungsserie nach dem Seminar zu komplexen Zahlen wurde daher eine Aufgabe zu diesem Thema gestellt. Deren Beantwortung war sehr gut. Die Studierenden sind in der Lage, mit den im Szenario erlernten Wissen zu komplexen Zahlen unter Nutzung von Hilfsmitteln zu operieren.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Erprobung dreier Blended Learning Szenarien der Mathematischen Methoden zeigt, dass die Studierenden mit den erstellten Materialien gut arbeiten konnten, sie als qualitativ ansprechend empfanden und gute Ergebnisse in ersten Tests zum Wissenstand erzielten. Um die Einflussstärke der Videos und des Blended Learning-Konzepts auf den Lernerfolg

Wissensstand nach den einführenden Videos zu komplexen Zahlen (N=24)

T1

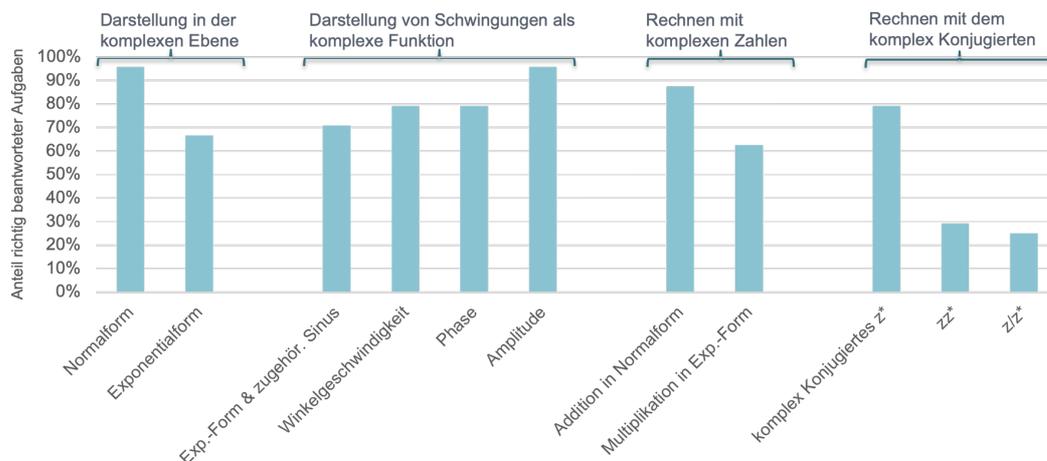


Abb.5: Nach der Bearbeitung der Videos wurde das Verständnis der Kernaussagen des Videos unangekündigt getestet.

festzustellen, muss in der nächsten Erprobungsphase eine valide Studie designend werden. Das Langzeitwissen zu den komplexen Zahlen dieser Kohorte wird beim spiralcurricularen Aufgreifen dieser Thematik im folgenden Modul Experimentalphysik II bei der Behandlung von Wechselstromwiderständen geprüft. Dieses spiralcurriculare Vorgehen wird auf die gesamten mathematischen Themen der ersten beiden Semester übertragen. Alle fehlenden Materialien werden erstellt und erstmals erprobt

7. Literatur

- [1] Bausch, Isabell u.a. (2014): *Mathematische Vor- und Brückenkurse*. Springer
- [2] Diekjürgen, Diana; Minah, Margitta (2021): *Blended Learning*.
- [3] Dunn, Jason W.; Barbanel, Julius (2000): One model for an integrated math/physics course focusing on electricity and magnetism and related calculus topics. *American Journal of Physics*, 68(8), 749-757.
- [4] Finkenberger, Frank (2018): *Flipped Classroom im Physikunterricht*. Logos Verlag Berlin.
- [5] Fischer, Pascal Rolf (2014): *Mathematische Vorkurse im Blended-Learning-Format: Konstruktion, Implementation und wissenschaftliche Evaluation*. Springer-Verlag.
- [6] Karnath, Hans Otto; Thier, Peter (2012): *Kognitive Neurowissenschaften*. Berlin: Springer.
- [7] Kulgemeyer, Christoph (2020): A framework of effective science explanation videos informed by criteria for instructional explanations. *Research in Science Education*, 50(6), 2441-2462.
- [8] Kulgemeyer, Christoph (2020): Didaktische Kriterien für gute Erklärvideos. *Lehren und Lernen mit Tutorials und Erklärvideos*. Weinheim: Beltz, 70-75.
- [9] Lumpe, Matthias (2019): Studienabbruch in den MINT-Fächern: Fallstudien an der Universität Potsdam und mögliche Folgerungen. *Alles auf Anfang! Befunde und Perspektiven zum Studieneingang*, 177-192.
- [10] Pilotto, Lisa Maria (2021): "Blended Learning." *Innere Differenzierung in der Erwachsenenbildung*. Wiesbaden
- [11] Quinn, Diana; Jorge Aarão (2020): "Blended learning in first year engineering mathematics." *ZDM* 52. S.927-941.
- [12] Richtberg, Stefan; Girwidz, Raimund (2019): Learning physics with interactive videos—possibilities, perception, and challenges. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1287, No. 1, p. 012057). IOP Publishing.
- [13] Sächsisches Staatsministerium für Kultus (2019): *Lehrplan Gymnasium Mathematik*. (siehe: <https://www.schulportal.sachsen.de/lplandb/>)
- [14] Schild, Nikola (2021): *Eignung von domänenspezifischen Studiengangvariablen als Prädiktoren für Studienerfolg im Fach und Lehramt Physik (Volume 307)*. Logos Verlag Berlin.
- [15] Sharma, Pete (2017): Blended learning design and practice. In *Digital Language Learning and Teaching* (pp. 167-178). Routledge.
- [16] Tindall-Ford, Sharon; Agostinho, Shirley; Sweller, John (2020): *Advances in cognitive load theory*. London: Routledge.
- [17] Fakultät Physik und Geowissenschaften Universität Leipzig (2018): *Prüfungsordnung für den Lehramtsstudiengang mit dem Abschluss Erste Staatsprüfung für das Höhere Lehramt an Gymnasien*.
- [18] Fakultät Physik und Geowissenschaften Universität Leipzig (2018) *Studienordnung für den Lehramtsstudiengang mit dem Abschluss Erste Staatsprüfung für das Lehramt an Oberschulen*.
- [19] Urhahne, Detlef; Dresel, Markus; Fischer, Frank (Eds.) (2019): *Psychologie für den Lehrberuf*. Springer Berlin Heidelberg.

- [20] Volk, Benno (2020): Vorlesungen vor dem Hintergrund aktueller Flipped Classroom-Ansätze. *Lob der Vorlesung: Vorschläge zur Verständigung über Form, Funktion und Ziele universitärer Lehre*, 205-226.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. W. Oehme und Herrn Dr. P. Rieger (Didaktik der Physik) gilt unser Dank für ihre ausdauernde Unterstützung bei der Integration der Mathematikausbildung in die Experimentalphysikmodule der Physik Lehramtsstudierenden. Die Umsetzung unseres Blended Learning Konzepts wird von der Universität Leipzig und dem Freistaat Sachsen im Rahmen der Gewährung eines Landesgraduiertenstipendiums seit Oktober 2022 gefördert.