

Modulübergreifendes Blended Learning in der Mathematikausbildung zur Experimentalphysik im Lehramtsstudium Physik

Lydia Kämpf*, Frank Stallmach*

*Universität Leipzig, Institut für Didaktik der Physik, Vor dem Hospitalore 1, 04103 Leipzig
lydia.kaempf@uni-leipzig.de, stallmac@physik.uni-leipzig.de

Kurzfassung

Zu einer guten Physikausbildung gehört auch eine gute und transferfähige Mathematikausbildung. An der Universität Leipzig ist die Mathematikausbildung als mathematisches Methodenseminar in die Physikvorlesungen der ersten beiden Semester des Lehramtsstudiums Physik eingebettet. Die Mathematikseminare werden in einem Blended Learning Format durchgeführt, das sich an Gestaltungskriterien für digitale Lehr-Lern-Sequenzen orientiert und auf drei Säulen ruht: Parallelität zur Physikvorlesung, Spiralcurricularität zum Vorwissen und Interaktivität in Videos, Übungen und Seminaren. Eine erste Studie zeigte eine hohe Akzeptanz des Blended Learning Ansatzes bei den Studierenden und befriedigende bis gute Lernergebnisse in zwei ausgewählten Lernszenarien. Dieser Artikel stellt die Konzeption und erste Ergebnisse der Erprobung dieses Blended Learning Konzepts für die mathematischen Methodenseminare in den Lehramtsstudiengängen Physik vor.

1. Einleitung

Die Studieneingangsphase im Lehramtsstudium Physik ist für die meisten Studierenden schwierig. Sie ist gekennzeichnet durch hohe Abbrecherquoten und hohe Arbeitsbelastung [1]. Die Studierenden wünschen sich eine didaktische Aufarbeitung und Unterstützung in dieser Eingangsphase. Um eine adäquate und lernerzentrierte Ausbildung zu gewährleisten, verfolgt die Universität Leipzig seit 2014 als eine von sechs deutschen Universitäten das Modell sui generis mit Veranstaltungen, die speziell auf Lehramtsstudierende zugeschnitten sind [1,2]. Die experimentalphysikalischen Anfangsmodule zur Mechanik und Elektrodynamik beinhalten neben der lehramtspezifischen Vorlesung eigene Übungen und Tutorien sowie eigene mathematische Methodenseminare (MaMes). Alle Veranstaltungen werden von Lehrenden durchgeführt und didaktisch aufbereitet, die der Arbeitsgruppe Hochschuldidaktik Physik angehören oder schon lange in der Lehre mit Lehramtsstudierenden tätig sind.

Da nur etwa die Hälfte der Lehramtsstudierenden Mathematik als Zweitfach wählt [1], werden an der Universität Leipzig in die 10 Leistungspunkte starken Experimentalphysikmodule zur Mechanik und Elektrodynamik eigene mathematische Methodenseminare integriert, die schrittweise die notwendige Mathematik zur Beschreibung physikalischer Phänomene just-in-time einführen. Seit dem Wintersemester 2022/23 werden diese im Blended Learning Format durchgeführt, um der heterogenen Studierendenschaft ein möglichst hohes Maß an Differenzierung zu bieten. So können die Studierenden ihr Tempo, ihre Lernzeit, mögliche Wiederholungen und die verwendeten Lernmaterialien an ihre eigene Lernstrategie anpassen [3,4,5,6,7].

In diesem Beitrag stellen wir den spiralcurricularen Blended Learning Ansatz für die mathematische Ausbildung in unseren Lehramtsstudiengängen Physik in den ersten beiden Modulen der Experimentalphysik vor. Er ist an die mathematischen Anforderungen der physikalischen Grundlagenvorlesungen angepasst. Das Kursdesign wird mit Hilfe der drei innovativen Säulen: Spiralcurricularität, Parallelität und Interaktivität beschrieben.

Anhand der Lernsequenzen zum Rechnen mit komplexen Zahlen und zur Einführung von Lösungsverfahren von Differentialgleichungen diskutieren wir erste Ergebnisse zur Lernwirksamkeit und zum Aufbau von anwendbarem Langzeitwissen durch unser Konzept der integrierten Mathematikausbildung.

2. Vorstellung des Kursdesigns

Das Lehramtsstudium an den meisten Universitäten in Deutschland erfordert die gleichzeitige Ausbildung in zwei von den Studenten frei wählbaren Wissenschaften, die ihre beiden Hauptunterrichtsfächer als zukünftige Lehrkräfte sein werden. Da nur etwa die Hälfte der Studierenden Mathematik als Zweitfach wählt [1], ist ein auf die Lehrveranstaltungen der Experimentalphysik für Lehramtsstudiengänge angepasstes mathematisches Methodenseminare (MaMe) unabdingbar. Als gemeinsames Grundwissen aller Studierenden kann und werden daher die Bildungsstandards im Fach Mathematik für die allgemeine Hochschulreife [8] genutzt.

Auf dieser Grundlage wurden MaMes parallel zur Physikvorlesung entwickelt. Die Seminare folgen dem Blended Learning Ansatz, bei dem der theoretische Input durch zwei interaktive Lehr-Lernvideos,

Tab. 1: Kapitelüberschriften der Physikvorlesungen und Übungen zur Experimentalphysik I und II und die in den zugehörigen MaMe-Seminaren behandelten mathematischen Themen.

Themenliste der MaMe-Seminare zu den Vorlesung Mechanik (EP1) und Elektrodynamik (EP2)				
Nr.	Themen der Mechanikvorlesung	Themen der MaMes 1	Themen der Elektrodynamikvorlesung	Themen der MaMes 2
1	Einführung in den Mechanikkurs	Einführung in die Mathematischen Methoden	Einführung in den Elektrodynamikkurs	Funktionen mehrerer Veränderlicher
2	Mechanik des Massepunkts	Funktionen & Vektoren zur Beschreibung physikalischer Gesetze & Bahnkurven	Das elektrische Feld einer Punktladung	Das kartesische, Zylinder- & Kugelkoordinatensystem
3	Newton'sche Axiome & Erhaltungssätze der Mechanik	Einführung in Differentialgleichungen & Trennung der Variablen zur Lösung von Bewegungsgleichungen	Das elektrische Feld und das elektrische Potential von Punktladungen - Energieerhaltung	Die Differentialoperatoren Divergenz und Laplace
4	Bewegung mit nicht-konstanter Beschleunigung	Partielle Integration & Integration durch Substitution	Das elektrische Feld von Ladungsverteilungen & der elektrische Fluss	Oberflächenintegrale & der Integralsatz von Gauß
5	Systeme von Massepunkten	Volumenintegrale zur Bestimmung von Schwerpunkten	Das elektrostatische Feld eines Kondensators und seine Kraftwirkung auf Ladungen	Linienintegrale zur Berechnung von Potential und Arbeit, die im Kondensator am Elektron verrichtet wird
6	Dynamik starrer Körper	Massen- und Volumenintegrale zur Berechnung des Trägheitsmoments für starre Körper	Netzwerke (dc) & Kirchhoff'sche Regeln	Inhomogene Differentialgleichungen zur Herleitung der Ladekurve der RC-Reihenschaltung
7	Mechanische Schwingungen	Einführung der komplexen Zahlen: Formen der arithmetischen und grafischen Darstellung, Rechenoperationen, das komplex Konjugierte	Magnetfelder stationärer Ströme	Anwendung des Biot-Savart-Gesetz
8	Der freie gedämpfte Oszillator	Klassifizierung von Differentialgleichungen & Exponentialansatz zur Lösung für den frei gedämpften Oszillator	Faraday'sches Gesetz und Lenz'sche Regel	Stokes'scher Integralsatz zur Umformung der 3. & 4. Maxwellgleichung
9	Mechanik deformierbarer Körper, Flüssigkeiten & Gase	Potenzreihenentwicklung & Näherungspolynome	Wechselstromkreise mit komplexen Widerständen, Zeigerdiagramme	Vertiefung komplexe Zahlen zur Beschreibung von Impedanzen im Wechselstromkreis
10	Die Gravitationskraft als konservatives Kraftfeld	Einführung in die Vektoranalysis: Die Differentialoperatoren Rotation und Gradient	Die Entstehung elektromagnetischer Wellen, der Hertz'sche Dipol	Zusammenfassung des Kurses

einem Skript und erster gamifizierter Übungsaufgaben im Selbststudium erfolgt. Im anschließenden Präsenzseminar wird das erlernte mathematische Wissen genutzt und auf weitere aktuell relevante physikalische Beispiele gemeinsam angewendet. Dieses

Wissen können die Studierenden im anschließenden Selbststudium in Aufgaben ihrer Physikübungsblättern festigen, bei denen die Lösung mit der neu erlernten Mathematik besonders elegant erfolgen kann.

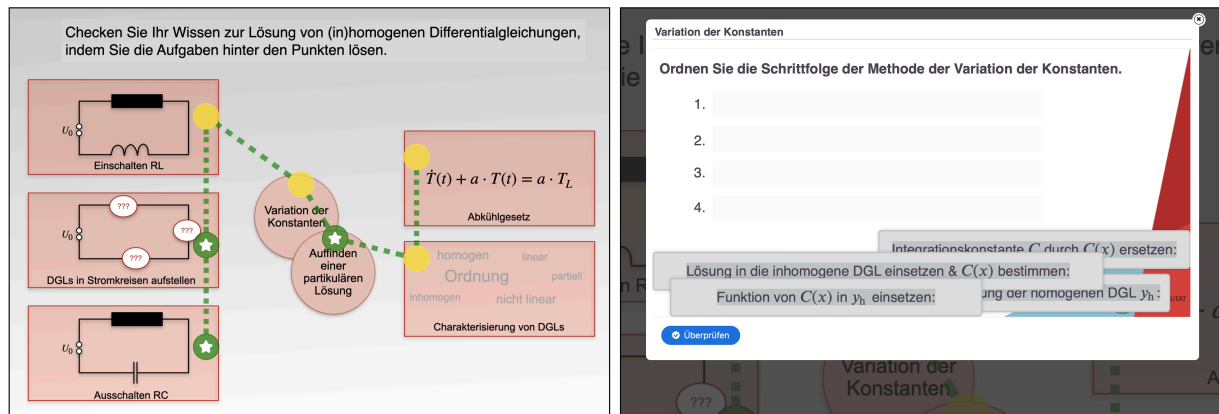


Abb. 1: Game Map mit verschiedenen Übungen zum Lösen (in)homogener Differentialgleichungen zum MaMe-Seminar 06 „Inhomogene Differentialgleichungen zur Herleitung der Ladekurve der RC-Reihenschaltung“.

Die MaMes sind didaktisch so aufgearbeitet, dass der Transfer in die Physik begünstigt wird. Für einen geringen cognitive load sind die Notationen in den Physik- und Mathematikveranstaltungen aufeinander abgestimmt [9] und die beiden Veranstaltungen parallel verwoben, damit die in den MaMes eingeführte Mathematik zeitnah in einem relevanten physikalischen Beispiel geübt werden kann.

2.1. Parallelität zur Physikvorlesung

Wie Dunn und Barbanel [10] anhand eines integrierten Mathematik-/Physikkurses mit den Schwerpunkten Elektrizität und Magnetismus gezeigt haben, macht eine solche verzahnte Lehre die mathematischen Themen für Studierende relevant, stellt eine Verbindung zu physikalischen Problemen her und fördert das Denken über mathematische und physikalische Lerninhalte.

Die Tabelle 1 zeigt den idealen Ablauf, wann die Mathematik verzahnt zu den entsprechenden physikalischen Themen im ersten Jahr des Physiklehramtsstudiums behandelt werden sollte. Die Reihenfolge der Themen der zwei Vorlesungen pro Woche in den beiden Experimentalphysik-Modulen (Mechanik EP 1 und Elektrodynamik EP 2) bestimmt die Themen, die in den entsprechenden integrierten MaMe Seminaren behandelt werden [2, 11].

Im Sinne des Blended Learnings findet die Selbstlernphase über die ganze Zeit zwischen den jeweiligen Präsenzseminaren statt, vom Erlernen der theoretischen Grundlagen in interaktiven Videos vor dem Präsenzseminar bis zum Anwenden der Mathematik in den physikalischen Übungsblättern nach dem Seminar.

2.2. Spiralcurricularität bezüglich allgemeiner Hochschulreife und der beiden Module

In Tabelle 1 ist am Beispiel der Seminare zu Differentialgleichungen erkennbar, dass sich das mathematische Wissen spiralcurricular im Laufe des Semesters vertieft. Aufbauend auf dem Wissen zur Differential- und Integralrechnung der allgemeinen Hochschulreife [8] werden im Seminar 03 Differentialgleichungen und die erste Lösungsmethode der Trennung der Variablen eingeführt. Dieses

mathematische Wissen wird physikalisch zur Lösung erster einfacher Bewegungsgleichungen, wie z.B. zur Herleitung der kosmischen Geschwindigkeit, angewendet und geübt.

Die erste vertiefende Schleife zu Differentialgleichungen wird im gleichen Semester im Seminar 08 mit der Klassifizierung von Differentialgleichungen und der Lösungsmethode des Exponentialansatz durchlaufen. In den MaMes zur Elektrodynamikvorlesung werden im Seminar 06 diese Lösungsmethoden für inhomogene Differentialgleichungen erweitert, um die zeitlichen Verläufe von Spannung und Stromstärke bei Ein- und Ausschaltvorgängen in verschiedenen Netzwerken herzuleiten.

Die Lerneinheiten zu Differentialgleichungen sind aufeinander aufbauend. Sie werden dreimal nacheinander aufgegriffen, gefestigt und vertieft. Analoges gilt für die anderen Themen der MaMes.

2.3. Interaktivität in Videos, Aufgaben und im Präsenzseminar

Interaktive H5P Videos und interaktive H5P Game Maps sind das Herzstück des ersten einführenden Selbststudiums der MaMes.

2.3.1. Interaktivität in den Videos

Für jede der Lernsequenzen wurden jeweils zwei Videos bereitgestellt. Das erste Video führt in die reine Mathematik ein. Das zweite Video wendet die neu erlernte Mathematik an, um ein physikalisches Problem zu lösen oder eine wichtige Gleichung aus der Physikvorlesung herzuleiten. Die Videos der MaMes zur Mechanik sind im Durchschnitt 12 min 43 s lang. Dabei sind die rein mathematischen Videos im Durchschnitt 1min 12s kürzer als die zweiten Videos.

Bei der Gestaltung der interaktiven Erklärvideos wurden die Qualitätskriterien für gute Erklärvideos von Kulgemeyer et al. [12,13] berücksichtigt. Bei der Planung und Produktion der Videos wurde darauf geachtet, dass sie gut strukturiert sind, nur die präzisesten und minimalen Erklärungen enthalten, die zum Verständnis der mathematischen Prinzipien notwendig sind, und dass die Inhalte eine hohe Relevanz für die Physikvorlesung haben. Der Inhalt der Videos orientiert

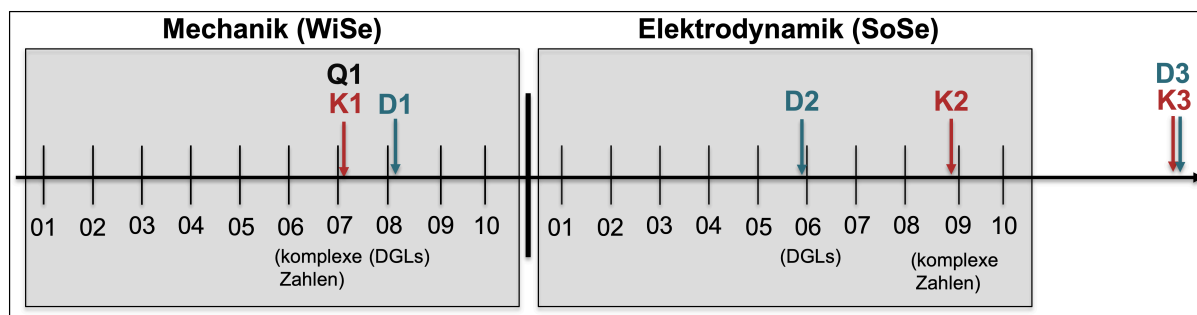


Abb. 2: Zeitplan der MaMe Seminare in den beiden aufeinanderfolgenden Semestern. Die Zahlen beziehen sich auf die in Tabelle 1 angegebenen Themen der jeweiligen Seminare. Angegeben sind die Zeitpunkte der Tests zur Untersuchung des Langzeitwissens zu den Themen Komplexe Zahlen (K1-K3), Differentialgleichungen (D1-D3) und eine Qualitätsumfrage Q1.

sich immer am Vorwissen der Studierenden, an relevanten physikalischen Beispielen, Analogien oder Modellen.

Chong et al. [14] haben herausgefunden, dass interaktive Videos die wertvollsten Komponenten eines gut angenommenen Flipped Classroom sind. Daran anlehnend enthalten unsere Videos zusätzlich interaktive Lernaufgaben, die die Lernenden dazu anregen, die neuen Informationen aktiv zu nutzen [12, 13, 15]. Diese interaktiven Elemente wurden den Videos mit Hilfe des Softwaretools H5P hinzugefügt. In jedem mathematischen Video zur Mechanik gibt es zwei bis drei Interaktionen. In den ersten Videos erfolgt die erste Interaktion nach durchschnittlich 3 min 35 s und in den zweiten Videos nach 6 min 45 s. Die Interaktionen befinden sich nach wichtigen Aussagen, neu gelernten arithmetischen Operationen oder längeren algebraischen Umformungen, so dass die Lernenden aufgefordert sind, das Video aktiv zu verfolgen und den Inhalt sofort anzuwenden.

Individuelle Rückmeldungen zu den Aufgaben zeigen den Lernenden ihren Lernstand auf und schlagen Wege vor, wie sie mit dem Video weiterlernen können. So beginnt der Wissenstransfer bereits während der Bearbeitung des Videos. Weitere interaktive Buttons, wie z.B. das Springen im Video in Abhängigkeit von der Beantwortung der Fragen oder Buttons mit versteckten Basis- oder weiterführenden Informationen, bieten ein breites Differenzierungsspektrum für die heterogene Lerngruppe [3,4].

2.3.2. Interaktivität in Aufgaben

Um den Transfer weiter zu fördern, können die Studierenden nach der Bearbeitung der Videos optional weitere formative interaktive Aufgaben lösen. Um die Studierenden zur Bearbeitung der Aufgaben zu motivieren, wurden mit den H5P-Modulen interaktive Präsentationen und Game Maps [16,17] abwechslungsreiche gamifizierte und interaktive Umgebungen gestaltet. Die implementierten Aufgaben beziehen sich immer auf die Hauptinhalte der Videos. Sie verlangen von den Studierenden die Anwendung der gerade gelernten Mathematik in einfachen Beispielen und bereiten auf die kommende Präsenzveranstaltung vor [15].

In Abbildung 1 ist eine solche gamifizierte Umgebung zum Thema Lösungsmethoden inhomogener Differentialgleichungen dargestellt. Im linken Bild ist die interaktive Umgebung zu sehen, in der sich hinter jedem gelben Punkt eine Aufgabe verbirgt. Die Verbindungslinien zeigen mögliche Lernwege an. Die Lernenden können ihren individuellen Lernweg bestimmen. Wurde eine Aufgabe richtig gelöst, färbt sich der Ort grün. Bei den Aufgaben handelt es sich in der Regel um Drag-and-Drop-Aufgaben, Textfelder und Multiple- oder Single-Choice-Fragen. Ein Beispiel einer Drag-and-Drop Aufgabe ist im rechten Fenster von Abbildung 1 zu sehen. Bei schwierigen Aufgaben sind als Differenzierungsmöglichkeit gestufte Hilfen implementiert [3,4]. In diesem Fall verborgen sich hinter den gelben Punkten interaktive Präsentationen, die die Aufgabe und die gestuften Hilfen als folgende, verlinkte Folien enthalten.

Nach der Beantwortung der Aufgaben erhalten die Studierenden wiederum Feedback. Dieses Feedback können sie freiwillig mit den Lehrenden teilen, um das folgende Präsenzseminar auf den aktuellen Lernstand abzustimmen. Die Abgabe ist freiwillig, um den Lern- und Leistungsraum voneinander zu trennen [17].

2.3.3. Interaktivität im Präsenzseminar

Das anschließende Präsenzseminar wird auch möglichst interaktiv gestaltet, indem eine anfängliche Frageunde oft durch ein Quiz motiviert wird und die Lerngruppe gemeinsam mit dem Lehrenden weitere physikalische Phänomene mathematisch beschreibt. Im Laufe des Seminars zieht sich der Lehrende immer mehr zurück und übernimmt die Rolle eines Moderators.

3. Evaluation des Kurses

Die Akzeptanz des neuen Kursdesigns mit den drei Säulen Parallelität, Spiralcurricularität und Interaktivität wurde mit Hilfe einer Befragung in zwei Kohorten C1 und C2 erhoben, die im Wintersemester 2022/23 bzw. Wintersemester 2023/24 ihr Physik-Lehramtsstudium begannen. Um neben der Akzeptanz auch den Wissenstransfer zu überprüfen, wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten Wissenstests zum Langzeitwissen zu den Themen komplexe Zahlen und

Tab. 2: Ergebnisse der Umfrage zur Qualität der Kurspfeiler Parallelität, Spiralcurricularität und Interaktivität mit mittleren Zustimmungswerten μ und Standardabweichungen σ .

Item		Stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme vollkommen zu	μ	σ	μ	σ
Die Videos verdeutlichen die Relevanz der Mathematischen Methoden für den Mechanikkurs.	C2	0	4	11	6	3,10	0,47	3,24	0,57
	C1	2	2	18	19	3,32	0,61		
Die Analogie zwischen der Vektoralgebra und komplexen Zahlen ist verständlich.	C2	0	2	11	8	3,29	0,39	3,42	0,40
	C1	0	3	15	23	3,49	0,40		
Die Videos animieren mich durch interaktive Elemente zur aktiven Bearbeitung der Inhalte.	C2	1	1	6	13	3,48	0,63	3,34	0,77
	C1	2	7	10	22	3,27	0,83		

Einführung in die Differentialgleichungen durchgeführt (siehe Abb. 2).

3.1. Evaluation der drei Pfeiler Parallelität, Spiralcurricularität und Interaktivität

Abbildung 2 zeigt den Zeitpunkt der Evaluation Q1 der drei Säulen des Kurses. Sie erfolgte zusammen mit einer Befragung der Studierenden zur Qualität der interaktiven Videos im ersten Semester des Kurses zum Zeitpunkt des Seminars 07 [6]. Für jede Säule wurde ein eigenes Item am Beispiel der komplexen Zahlen formuliert, um Missverständnisse über die Dimension der Säulen zu vermeiden. So wird die Spiralcurricularität untersucht, indem die Studierenden die Aussage bewerten, dass sie die Analogien zwischen komplexen Zahlen und dem Vorwissen über Vektoren verstanden haben. Die Studierenden bewerten diese Aussage auf einer vierstufigen Likert-Skala. Die vier Antwortmöglichkeiten der Likert Skala wurden einem Zahlenwert gleichgesetzt (stimme überhaupt nicht zu $\hat{=}$ 1, stimme eher nicht zu $\hat{=}$ 2, stimme eher zu $\hat{=}$ 3, stimme vollkommen zu $\hat{=}$ 4). Auf diese Weise wurde für jedes Item ein mittlerer Zustimmungswert μ und eine Standardabweichung σ berechnet [19]. Tabelle 2 zeigt die Verteilung der Antworten für die Kohorten C1 ($N = 41$) und C2 ($N = 21$).

Die parallele Entwicklung von Mathematik und Physikvorlesung soll die Relevanz und Anschlussfähigkeit der mathematischen Methoden und der Physikvorlesung stärken. Tabelle 2 zeigt, dass 90% der Studierenden der Kohorte C1 und 81% der Studierenden der Kohorte C2 die Relevanz der MaMes für ihr Physikstudium erkennen. Die hohen Zustimmungswerte von $\mu_{C1} = 3,32$ ($\sigma = 0,61$) und $\mu_{C2} = 3,10$ ($\sigma = 0,47$) verdeutlichen die hohe Relevanz und durch die geringe Standardabweichung auch ein homogenes positives Empfinden der gesamten an der Umfrage teilnehmenden Studierendenschaft.

Der zweite wichtige Pfeiler der Spiralcurricularität wurde in dieser Umfrage am Beispiel des Aufgreifens des Vorwissens zur Vektoralgebra untersucht. 57 der 62 Befragten empfand das spiralcurriculare Aufgreifen anhand der Analogie zwischen komplexen Zahlen und Vektoren als verständlich. Die hohen mittleren Zustimmungswerte $\mu_{C1} = 3,49$ ($\sigma = 0,40$) und $\mu_{C2} = 3,29$ ($\sigma = 0,36$) zeigen, dass der Blended

Learning Kurs unsere Intentionen in Bezug auf die spiralcurriculare Erweiterung des Wissens der Studierenden erfüllt. Die Wissenserweiterung wird durch die Wissenstests K1-K3 und D1-D2 belegt.

Der letzte untersuchte Kurspfeiler stellt die Interaktivität des Kurses dar. Die Studierenden bewerteten die interaktiven Elemente im Video als motivierend, den Inhalten aktiv zu folgen ($\mu_{ges} = 3,34$; $\sigma_{ges} = 0,77$). Im optionalen Freitextfeld der Umfrage lobten 27 der insgesamt 62 Befragten die Interaktionen noch einmal explizit als motivierend und verständnisfördernd.

3.2. Leistungserhebung zum Kurz- & Langzeitwissen zu komplexen Zahlen

Abbildung 2 zeigt den Zeitpunkt, zu dem die Wissenstests zu komplexen Zahlen durchgeführt wurden. Der Test K1 wurde direkt nach den Einführungsvideos zu den komplexen Zahlen im Seminar 07 als Paper-Pencil-Test geschrieben. Der zweite Test K2 wurde im Sommersemester direkt vor dem Seminar 09 durchgeführt, bevor die komplexen Zahlen nochmals zur Beschreibung komplexer Impedanzen vertieft wurden. Der dritte Test K3 wurde ein Jahr nach der ersten Einführung der komplexen Zahlen geschrieben, um das langfristig behaltene und anwendbare Wissen nach der gesamten Intervention zu untersuchen. Alle drei Tests enthielten ähnliche Aufgaben zu Schlüsselaspekten der komplexen Zahlen, wie die komplexe Ebene, arithmetische Operationen, die komplexe Konjugation und die Darstellung von Schwingungen als komplexe Funktionen. Um die Unterschiede zwischen den Testergebnissen zu veranschaulichen, wurden die Gesamtpunktzahlen mit einem Mann-Whitney-U-Test verglichen, Einzelheiten siehe [20].

Abbildung 3 zeigt Boxplots der prozentualen Antwortverteilung der Kohorte C1 für die drei Tests K1, K2 und K3. Die Kohorte C2 hat bisher nicht alle Tests absolviert. Die Kohorte C1 hat im Durchschnitt befriedigende Ergebnisse in K1 ($\mu_{K1} \approx 70\%$) und K2 ($\mu_{K2} \approx 77,3\%$) und nach einem Jahr in K3 gute Ergebnisse ($\mu_{K3} = 80,3\%$) erzielt. Die 50%-Boxen werden im Laufe des Untersuchungszeitraumes immer schmaler, die unteren Whisker nehmen ab. Trotzdem konnten mit dem Mann-Whitney U Test keine

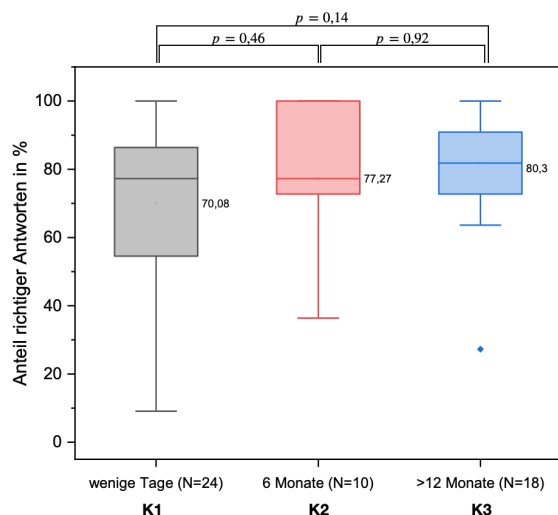


Abb. 3: Boxplots der Ergebnisse der drei Wissenstests K1-K3 zu komplexen Zahlen der Kohorte C1.

signifikanten Unterschiede zwischen den Testergebnissen festgestellt werden. Die Tests ergaben, dass die Unterschiede der erreichten Punkte sowohl zwischen K1 und K2 ($U(N_{K1} = 24, N_{K2} = 10) = 100, p = 0,46$), als auch zwischen K1 und K3 ($U(N_{K1} = 24, N_{K3} = 18) = 158, p = 0,14$) statistisch nicht signifikant sind. Dies bedeutet aber auch, dass das Wissen in das Langzeitgedächtnis übertragen wurde und über den Kurs hinaus anwendbar bleibt.

3.3. Leistungserhebung zum Kurz- & Langzeitwissen zur Einführung in gewöhnliche Differentialgleichungen

Analog zu den Wissenstests K1-K3 zum Thema komplexe Zahlen werden mit der Kohorte C2 zu drei verschiedenen Zeitpunkten Wissenstests D1-D3 zum Thema Lösungsmethoden für Differentialgleichungen durchgeführt (siehe Abb. 2). Derzeit hat die Kohorte C2 zwei der drei Tests absolviert, den freiwilligen Online-Test D1 nach dem Seminar 08 zur Einführung in die Charakterisierung von Differentialgleichungen und den Exponentialansatz und den Test D2 vor dem Seminar 06 im zweiten Semester zur Einführung in Lösungsmethoden für inhomogene Differentialgleichungen. D2 wurde in einer Übungsstunde durchgeführt, sodass dort die im zweiten Semester noch aktiven 28 Studierenden getestet wurden, womit ein gutes Bild des Wissensspektrums der gesamten Kohorte C2 entstanden ist. Beide Tests enthalten ähnliche Aufgaben zur Charakterisierung von Differentialgleichungen, zur Trennung von Variablen, zum Exponentialansatz und zum Finden der speziellen Lösung einer Differentialgleichung. Die teilweise gepaarten Testergebnisse wurden analog mit dem Mann-Whitney U-Test verglichen, da er die gesamte Stichprobe berücksichtigt [21]. Um seinen größeren α -Fehler zu relativieren, wurden mit den 13 gepaarten Stichproben beider Tests deshalb noch ein Wilcoxon-Test durchgeführt, der den α -Fehler minimiert, jedoch einzelne Testergebnisse ignoriert [21].

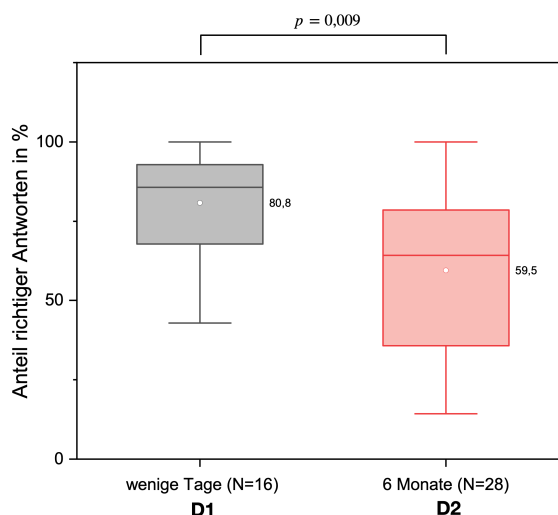


Abb. 4: Boxplots der Ergebnisse der zwei Wissenstests D1 & D2 zu Differentialgleichungen der Kohorte C2.

Abbildung 4 zeigt die Boxplots der prozentualen Verteilung der Antworten der Testergebnisse der Tests D1 und D2 der Kohorte C2. Im Test D1 haben die Studierenden das noch frische Wissen über Differentialgleichungen im Durchschnitt gut angewendet ($\mu_{D1} \approx 80,5\%$). Das im Gedächtnis gebliebene Wissen hat bis zum Test D2 abgenommen, so dass im Test D2 durchschnittlich nur noch ausreichende bis befriedigende Kenntnisse ($\mu_{D2} \approx 59,5\%$) nachgewiesen wurden. Die Spannweite der Testergebnisse ist wegen der größeren Teilnehmerzahl breiter. Ein Mann-Whitney U-Test zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Tests, $U(N_{D1} = 16, N_{D2} = 28) = 118, p = 0,009$, was auf eine signifikante Abnahme des Wissens schließen lässt.

In absoluten Zahlen haben jedoch sowohl in D1 als auch in D2 elf Teilnehmende mit mindestens 80% der Antworten gute Ergebnisse erzielt. In D2 gibt es zusätzlich größere Ausreißer nach unten, die wahrscheinlich durch die repräsentativere Stichprobengröße entsteht. Die 13 Studierenden, die an beiden Tests teilgenommen haben, haben mit durchschnittlich 83% in D1 und 78% in D2 in einem Wilcoxon-Test nicht signifikant unterschiedliche Ergebnisse erzielt ($W = 23, p = 0,14$). Bei dieser ausgewählten Gruppe kann davon ausgegangen werden, dass das Wissen zu Lösungsalgorithmen von Differentialgleichungen behalten wurde.

Im Hinblick aller Ergebnisse des Tests D2 ist das behaltene Wissen zur Lösung homogener Differentialgleichungen sehr heterogen, so dass für das kommende Seminar 06 im zweiten Fachsemester sehr differenziertes Material benötigt wird. Der Test D3 wird im weiteren Verlauf dieser Studie mit der Kohorte C2 im Wintersemester 2024/25 durchgeführt.

4. Zusammenfassung und Ausblick

An der Universität Leipzig sind seit 2014 die Lehramtsstudiengänge Physik aus den Bachelorstudiengängen Physik mit eigens zugeschnittenen Modulen

entkoppelt. Um eine adäquate mathematische Ausbildung aller Lehramtsstudierenden zu gewährleisten, werden die ersten beiden Experimentalphysik-Module zur Mechanik und Elektrodynamik durch integrierte mathematische Methodenseminare ergänzt, die seit dem Wintersemester 2022/23 im Blended Learning Format durchgeführt werden. Sie finden parallel zu den Physikvorlesungen statt und sind spiralcurricular auf den Wissensstand der Allgemeinen Hochschulreife und der vorangegangenen Sequenzen abgestimmt. Kernelemente des Selbststudiums sind interaktive Erklärvideos und Übungsaufgaben.

Bei einer Umfrage zur Qualität des Kurses wurden die drei Säulen Parallelität, Spiralcurricularität und Interaktivität sehr positiv bewertet. Die Kohorte C1 hat bisher das erste Studienjahr mit den umgestalteten MaMes absolviert. Sie haben sich in dieser Zeit ein durchschnittlich befriedigendes bis gutes Wissen über die Grundlagen der komplexen Zahlen zur Beschreibung von Schwingungen angeeignet und dieses auch ein Jahr nach der Einführung beibehalten. Eine zweite Kohorte C2 erprobt derzeit den Kurs. Sie nimmt an einer zusätzlichen Studie zum Langzeitwissen über Differentialgleichungen teil, bei der die ersten beiden Tests bereits durchgeführt wurden. Die Studierenden erzielten unmittelbar nach der Einführung in Differentialgleichungen durchschnittlich gute Ergebnisse. Die Testergebnisse eines ähnlichen Tests zum Langzeitwissen nach sechs Monaten ergaben sehr heterogene und nur noch durchschnittlich ausreichende bis befriedigende Ergebnisse im Vergleich zum ersten Test, wobei jedoch die Anzahl der guten Ergebnisse konstant blieb. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines differenzierten Lehr-/Lernangebots in der dritten Schleife zu Differentialgleichungen im Seminar 06 der Elektrodynamik.

Im nächsten Schritt werden die Erhebungen D1 und D2 durch einen weiteren Langzeitwissenstest D3 ergänzt, der ein Jahr nach der Einführung der Differentialgleichungen durchgeführt wird. Um das Langzeitwissen der Studierenden über komplexe Zahlen besser zu verstehen, werden die Tests K1-K3 auch in der Kohorte C2 durchgeführt und mit den bisherigen Ergebnissen verglichen. Die Kursmaterialien werden stetig weiterentwickelt und ihre Lernwirksamkeit weiter untersucht.

5. Literatur

- [1] Woitzik, Andreas; Mencke, Klaus; Düchs, Georg (2023): Das Lehramtsstudium Physik in Deutschland, Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V 2023. Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.
- [2] Universität Leipzig (2014): Modulbeschreibungen Staatsexamen Höheres Lehramt an Gymnasien Physik, Url: https://amb.uni-leipzig.de/?kat_id=826 (Stand 1/2022)
- [3] Diekjürgen, Diana; Minah, Margitta (2021): Blended Learning, In: SLE Discussion Paper 01/2021, Humboldt-Universität zu Berlin
- [4] Finkenberg, Frank (2018): Flipped Classroom im Physikunterricht. Berlin: Logos Verlag
- [5] Nouri, Jalal (2016): The flipped classroom: for active, effective and increased learning—especially for low achievers. In: International Journal of Educational Technology in Higher Education, 13. Jg., S. 1-10.
- [6] Kämpf, Lydia; Stallmach, Frank (2023): Erarbeitung eines spiralcurricularen Blended Learning Konzepts für die Mathematikausbildung der Studiengänge Lehramt Physik, In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, S. 79-85, Url: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1361> (Stand 05/2024)
- [7] Bitzenbauer, Philipp; Henning, Fabian (2023): Flipped Classroom in physics teacher education: (how) can students' expectations be met?. In: Frontiers in Education, vol. 8 (2023), 1194963
- [8] Kultusministerkonferenz (2012): Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife, Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland
- [9] Tindall-Ford, Sharon; Agostinho, Shirley; Sweller, John (2020): Advances in cognitive load theory. London: Routledge
- [10] Dunn, Jason W.; Barbanel, Julius (2000): One model for an integrated math/physics course focusing on electricity and magnetism and related calculus topics. In: American Journal of Physics 68, S. 749–757
- [11] Kaps, Andreas; Rieger, Peter; Stallmach, Frank (2020): Lehren und Lernen mit dem smarten Physikkolabor. In: PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, S. 69-76
- [12] Kulgemeyer, Christoph (2020): Didaktische Kriterien für gute Erklärvideos. Lehren und Lernen mit Tutorials und Erklärvideos. Weinheim: Beltz, S. 70-75
- [13] Kulgemeyer, Christoph (2020): A framework of effective science explanation videos informed by criteria for instructional explanations. In: Research in Science Education 50.6, S. 2441-2462
- [14] Chong Katie E., *et al.* (2019): Flipped-classroom with interactive videos in first year undergraduate physics course in Hong Kong. In: Education and Training in Optics and Photonics. Optica Publishing Group. S. 11143-11146.
- [15] Kim, Min Kyu, *et al.* (2014): The experience of three flipped classrooms in an urban university: An exploration of design principles. In: The Internet and higher education 22, S. 37–50
- [16] Manzano-León, Ana, *et al.* (2021): Between level up and game over: A systematic literature review of gamification in education. In: Sustainability, 13. Jg., Nr. 4, S. 2247

- [17] Ariffin, Noor Amalina Nisa, *et al.* (2022): Effectiveness of gamification in teaching and learning mathematics. In: *Journal on Mathematics Education*, 13. Jg., Nr. 1, S. 173-190
- [18] Helmke, Andreas; Schrader, Friedrich-Wilhelm (2015): Qualitätsmerkmale „guten Unterrichts“. In: *Handbuch der Erziehungswissenschaft*. Brill Schöningh. S. 701-712.
- [19] Veith, Joaquin Marc; Bitzenbauer, Philipp; Girnat, Boris (2022): Assessing learners' conceptual understanding of introductory group theory using the CI2GT: Development and analysis of a concept inventory. In: *Education Sciences*, 12. Assessing learners' conceptual understanding of introductory group theory using the CI2GT: Development and analysis of a concept inventory. 12. Jg., Nr. 6, S. 376.
- [20] Nachar, Nadim, *et al.* (2004): The Mann-Whitney U: A test for assessing whether two independent samples come from the same distribution. In: *Tutorials in quantitative Methods for Psychology*, 4. Jg., Nr. 1, S. 13-20.
- [21] Guo, B., & Yuan, Y. (2017): A comparative review of methods for comparing means using partially paired data. *Statistical methods in medical research*, 26(3), 1323-1340.

Danksagung

Wir danken den Lehrenden der Experimentalphysikmodule zur Mechanik und Elektrodynamik für ihre Unterstützung in der Konzeption und Durchführung der mathematischen Methoden Seminaren. Herrn Dr. Veith gilt unser Dank für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Test- und Umfrageergebnissen.

Weiterhin gilt unser Dank der Universität Leipzig und dem Freistaat Sachsen, die im Rahmen eines Landesgraduiertenstipendiums seit Oktober 2022 die Umsetzung unseres Blended Learning Konzepts für die Mathematischen Methodenseminare fördern.