

# Vergleichende Analyse der Lernleistung zwischen einem digitalen Selbstlernkurs und einer inhaltsgleichen Präsenzeinheit zur Ingenieurmathematik

---

Katja Dechant-Herrera, Mike Altieri, Stephan Bach

**Zusammenfassung/Abstract** *Im Beitrag wird die Entwicklung und Erprobung eines digitalen Selbstlernkurses zu einem abgegrenzten Themengebiet der Ingenieurmathematik beleuchtet. Der Selbstlernkurs enthält neben Videos und textuellen Inhalten verschiedene Elemente zur kognitiven Aktivierung und zur Bereitstellung von Feedback. Für die Analyse der Lernleistung wurden die Klausurergebnisse mit denen einer früheren Kohorte verglichen, bei der dieselben Inhalte in einer Präsenzveranstaltung behandelt wurden. Die Ergebnisse zeigen einen negativen Trend in allen betrachteten Themengebieten, der ausschließlich im digitalen Setting nicht signifikant ist. Das Potenzial des Selbstlernkurses zur Abschwächung dieses Negativtrends eröffnet Möglichkeiten für eine Weiterentwicklung digitaler Lehre.*

*This article examines the development and testing of a digital self-study course on a specific topic in engineering mathematics. In addition to videos and textual content, the course contains various elements for cognitive activation and the provision of feedback. To analyze achievement, exam results were compared with those of a previous cohort, using partly the same exam tasks that covered the same content in an in-person setting. The results show a negative trend in all subject areas analyzed, which is not significant exclusively in the digital setting. The potential of the self-study course to mitigate this negative trend opens up possibilities for the further development of digital teaching.*

**Schlüsselwörter/Keywords** *Ingenieurmathematik; Selbstlernkurs; Lernleistung; digitales Lernen; MINT; Interaktivität; Engineering mathematics; self-study course; learning performance; E-learning; STEM; interactivity*

## 1. Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung prägt maßgeblich Bildungsprozesse und eröffnet Lehrenden sowie Lernenden eine breite Palette an Möglichkeiten des Lehrens und Lernens. Die Bildungstransformation wird aber nicht nur durch technologische Fortschritte vorangetrieben, sondern auch durch studentische Diversität. Vor diesem

Hintergrund stellt sich die Frage nach der Lernwirksamkeit digitaler Selbstlernkurse, die das Potenzial besitzen bei zeitlicher und örtlicher Flexibilität ein Lernen im eigenen Tempo angepasst an individuelle Bedarfe zu ermöglichen.

Für viele Studierende in WiMINT-Studiengängen stellt insbesondere die Mathematik eine bedeutsame Herausforderung dar. Unter anderem in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen ist sie als Grundlage für das weitere Studium von besonderer Wichtigkeit. Heublein et al. (2022) berichten allerdings von Durchfallquoten an Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) von 39 % in der Fächergruppe Mathematik und Naturwissenschaften sowie von 30 % in den Ingenieurwissenschaften.

Gleichzeitig sehen sich Dozierende in der Praxis zunehmend mit unterschiedlichen Lernbedarfen konfrontiert. Studentische Diversität ist geprägt durch unterschiedliche Lernstile, Bildungsbiografien und demografische Daten und gewinnt immer mehr an Bedeutung wie von Kroher et al. (2023) in der 22. Sozialerhebung dargelegt wurde.

Das interdisziplinäre Projekt IdeaL (Innovationsnetzwerk für digitale adaptive Lehre) an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden adressiert die beschriebenen Herausforderungen durch die Entwicklung digitaler Selbstlernkurse für die Ingenieurmathematik. Diese berücksichtigen die breitgefächerten Bedarfe einer diversitätsgeprägten Studierendenschaft unter anderem durch elaborierte individuelle Rückmeldungen, die Möglichkeit zum Lernen im eigenen Tempo sowie die zeitliche und räumliche Flexibilität des Lernangebotes. Dabei werden didaktische Aspekte wie kognitive Aktivierung und Interaktivität (Mayer, 2019) sowie Grundlagen effektiven Feedbacks (Hattie, 2010) konsequent in die digitale Selbstlernumgebung integriert. Der Forschungsschwerpunkt des vorliegenden Beitrags liegt auf dem Vergleich der Lernleistung in solch einer digitalen Selbstlernumgebung im Vergleich zur Lernleistung nach klassischer Präsenzlehre.

Der weitere Verlauf des Beitrags gliedert sich in theoretische Grundlagen zu Potenzialen, Herausforderungen und Gelingensbedingungen von (digitaler) Lehre (Kapitel 2). Anschließend werden der digitale Selbstlernkurs und die Forschungsfrage dargelegt (Kapitel 3), gefolgt von der Beschreibung der methodischen Vorgehensweise (Kapitel 4). An die Vorstellung der Ergebnisse (Kapitel 5) schließt sich deren Interpretation und Diskussion an, auch mit Blick auf Limitationen der Studie (Kapitel 6). Abschließend erfolgt eine kurze Zusammenfassung in Kapitel 7.

## 2. Theoretische Grundlagen

Die vorliegende Arbeit fokussiert auf den Vergleich zwischen der Lernleistung nach Absolvieren eines digitalen Selbstlernkurses und der Lernleistung nach Präsenzlehre. Im Folgenden werden dazu zunächst Herausforderungen und Potenziale von (digitaler) Lehre (2.1) sowie Gelingensbedingungen (2.2) aus theoretischer und empirischer Sicht beleuchtet.

## 2.1 Herausforderungen und Potenziale der (digitalen) Lehre

In der Metaanalyse zum hochschulischen Lernen von Schneider und Preckl (2017) wurden 105 Variablen heuristisch 11 Kategorien zugeordnet, die als maßgeblich für den Lernerfolg identifiziert wurden. Im Bereich Instruktion erwies sich dabei besonders die Kategorie der sozialen Interaktion als relevant. Bei der digitalen Lehre manifestiert sich in diesem Bereich eine deutliche Limitation. Nichtsdestotrotz haben auch die Kategorien Präsentation und anregendes bedeutendes Lernen erhebliche Bedeutung für den hochschulischen Lernerfolg. In diesen beiden Kategorien offenbart die digitale Lehre durch ihre adaptiven Möglichkeiten substantielles Potenzial zur Optimierung des Lernprozesses. Die Autor:innen betonen, dass sich ein Ausbau digitaler Lehre zulasten anderer Lehrformen nachteilig auf den Lernerfolg auswirken kann. Sie weisen aber auch auf das Potenzial von Lernarrangements hin, die Präsenz- und Onlinebestandteile verbinden. Die Ergebnisse bieten Einblicke in die Voraussetzungen für erfolgreiches Lernen in der hochschulischen Bildung und entsprechen den Basisdimensionen der Unterrichtsqualität (inhaltliche Verständlichkeit, kognitive Aktivierung, Strukturiertheit, unterstützendes Unterrichtsklima), die bei der fachlich anspruchsvollen Auseinandersetzung mit Inhalten als Gelingensbedingungen für erfolgreiches Lernen gelten (Lipowsky, 2020). Als weitere Voraussetzungen für erfolgreiches Lernen gelten eine gute Selbstregulation Studierender (Brünken et al., 2019) sowie Motivation (Krapp et al., 2014). Hattie (2010) unterstreicht die Bedeutung von Feedback für den Lernerfolg.

Für die Gestaltung digitaler Lehre sind zudem theoretische Grundlagen des Wissenserwerbs, wie die Cognitive Load Theory (CLT, Sweller & van Merriënboer, 1998) relevant. Beispielsweise lautet eine wesentliche Gestaltungsempfehlung der CLT die Belastung durch für das Lernen unwesentliche Elemente zu minimieren, sodass dem Arbeitsgedächtnis möglichst viel Kapazität zur Verarbeitung der wesentlichen Elemente zur Verfügung steht.

Die breite Verfügbarkeit digitaler Lehrangebote kann als Mittel zur Erweiterung des Bildungszugangs gesehen werden. Gleichzeitig gibt es Warnungen vor einem unkritischen Einsatz der Digitalisierung (Castañeda & Selwyn, 2018). Laufer et al. (2021) unterstreichen diese Ambivalenz in ihrem Artikel »Digital higher education: a divider or bridge builder?«. Während Uneinigkeit über den effektiven Einsatz und die Effekte des Lehrens und Lernens mit digitalen Medien herrscht (Stegmann et al., 2018), besteht Einigkeit darüber, dass differenzierte Studien Aufschluss über die Wirkung von digitaler Lehre geben können und sollten.

## 2.2 Gelingensbedingungen digitaler Lehre

Diverse empirische Studien im Bereich der MINT- und Mathematiklehre haben sich mit der praktischen Umsetzung der digitalen Lehre auseinandergesetzt.

Als eine Gelingensbedingung wird die Einbindung von aktivierenden Elementen gesehen, die kognitive Aktivierung durch die aktive Auseinandersetzung mit fachlich anspruchsvollen Inhalten fördert. Bellhäuser et al. (2016) wiesen signifikante positive Effekte digitaler Lehrtechnologien, insbesondere webbasierter Trainings zum selbstregulierten Lernen, auf Wissenstests und Selbstwirksamkeit nach. Diese Ergebnisse

entstanden durch den Vergleich von vier Gruppen, wobei in der kombinierten Gruppe aus webbasiertem Training und einem Tagebuch als aktivierendes Element die positivsten Ergebnisse auftraten. Auch in Virtual-Reality-Lernumgebungen (VR) wurde die Wirkung der aktivierenden Elemente (Parong & Mayer, 2018) nachgewiesen. Eine segmentierte virtuelle Lernumgebung konnte durch das aktivierende Element der Zusammenfassungsaufforderungen die gleiche Lernleistung wie die Wissensvermittlung durch eine selbstgesteuerte Slideshow erreichen. Die VR erreichte höhere Werte bei Spaß, Engagement und Motivation, aber erforderte durch die Zugabe der Zusammenfassungsaufgaben auch mehr Lernzeit. Ohne Zusammenfassungsaufforderung erzielten die Teilnehmer:innen der Slideshow-Gruppe bessere Ergebnisse in einer Multiple-Choice-Prüfung.

Eine weitere Gelingensbedingung ist die Nutzung von Selbstregulationsstrategien. Quesada-Pallarés et al. (2019) stellten fest, dass Lernende, die sich für Online-Lernprogramme eingeschrieben hatten, sich hinsichtlich metakognitiver Selbstregulierung und Anstrengungsregulierungsstrategien besser eingeschätzten, als diejenigen, die sich für Präsenzlernprogramme eingeschrieben hatten. Diese positive Selbstwahrnehmung kann einen Beitrag zum akademischen Erfolg leisten. Die Integration digitaler Elemente in den asynchronen Lernprozess wirkte sich in der Studie zudem positiv auf den Lernerfolg aus.

Für den Kontext videobasierten Lernens weist Loviscach (2018) jedoch auch auf die Grenzen selbstregulierten asynchronen Lernens hin. So bliebe die Wirksamkeit hinter den Erwartungen zurück da, da hohe Abbruchraten und geringe Wiedergabedauern auf begrenzte Aufmerksamkeit und nur kurz anhaltendes Engagement Studierender hinweisen. Andererseits bietet gerade der Einsatz von Lernvideos – wegen ihres dynamischen Charakters und der flexiblen Nutzungsmöglichkeiten – auch Potenzial zur Verbesserung der Hochschullehre (vgl. Persike, 2019).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es für den Erfolg digitaler Lehrangebote wesentlich ist, Herausforderungen, etwa in den Bereichen Selbstregulation und Aktivierung, zu identifizieren und gezielt zu adressieren. Hierfür bieten heutige technologische Möglichkeiten zahlreiche Ansatzpunkte. Diversitätssensible Gestaltungsprinzipien wie interaktive Elemente und individuelles Feedback, können genutzt werden, um individuellen (Lern)Bedürfnissen einer vielfältigen Studierendenschaft gerecht zu werden.

### 3. Digitaler Selbstlernkurs und Forschungsfrage

Im folgenden Abschnitt wird zunächst der digitale Selbstlernkurs, der Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist, beschrieben. Der Selbstlernkurs wurde als Selbstlernumgebung beschrieben, wobei diese Benennungen synonym verwendet werden. Anschließend wird die Forschungsfrage formuliert.

#### 3.1 Der digitale Selbstlernkurs

In dem untersuchten Selbstlernkurs wird mit den komplexen Zahlen ein abgegrenztes und grundlegendes Themengebiet der Ingenieurmathematik thematisiert. Der Selbst-

lernkurs soll Studierenden in Zeiten, in denen keine Vorlesung angeboten wird oder diese nicht besucht werden kann, als flexibel nutzbare Alternative zur Verfügung stehen. Die Lernumgebung wurde daher als vollständig digitales Angebot konzipiert und als Kurs im Lernmanagementsystem Moodle<sup>1</sup> umgesetzt. Der durchschnittliche Workload ist mit ca. 10 Stunden angesetzt.

Um einen aktiven Wissensaufbau in Verbindung mit individuellem Feedback zu ermöglichen, kam – auch für die Erarbeitung von Inhalten – die Moodle-Aktivität »Test« zum Einsatz. Diese Integration überbrückt die traditionelle Trennung zwischen dem Erwerb unbekannter Lerninhalte und dem Üben, was als effektiver gilt (Lipowski, 2020). Zudem wurde die Nutzung verschiedener MINT-spezifischer (STACK<sup>2</sup>, JSXGraph<sup>3</sup>) und fachübergreifender Tools (H5P<sup>4</sup>) innerhalb der digitalen Selbstlernumgebung realisiert. Dies ist unter anderem sinnvoll, da das langfristige Behalten gesteigert werden kann, wenn Aufgabenarten variieren (Rohrer & Taylor, 2007).

Das übergeordnete Ziel war es, den passiven Wissenskonsument zu minimieren und stattdessen den aktiven selbstgesteuerten Lernprozess zu fördern. So ermöglicht die Open-Source-Software H5P die Anreicherung von Lernvideos und Präsentationen mit interaktiven Elementen wie Quiz-Aufgaben. Die Anwendungsszenarien reichen von motivierender Ansprache bis zu detaillierter Erklärung komplexer Zusammenhänge. STACK-Aufgaben erlauben die Eingabe verschiedener mathematischer Ausdrücke und deren Auswertung mithilfe eines Computeralgebrasystems. Basierend auf Fehlvorstellungen der Studierenden kann detailliertes, individuelles Feedback gegeben werden (Kinnear, 2019). Die JavaScript-Bibliothek JSXGraph ermöglicht in Verbindung mit STACK die Erstellung komplexer, darstellungsnetzender Aufgaben mit grafischem In- und Output (Miller & Wassermann, 2023). Die Verbindung von STACK und JSXGraph ist in der Lernumgebung ein zentrales Element, um in Verbindung mit formativem Feedback einen aktiven Wissensaufbau zu ermöglichen.

## 3.2 Forschungsfrage

Obwohl bei der Entwicklung des Selbstlernkurses ein besonderes Augenmerk auf wichtige lernförderliche Aspekte wie kognitive Aktivierung und Feedback gelegt wurde, stellt sich mit Blick auf die in Abschnitt 2 beschriebenen Limitationen digitaler Lehre die Frage, wie effektiv das vorgestellte Angebot für den Lernerfolg ist. Erzielen Studierende bei eigenständiger Erarbeitung eines abgegrenzten mathematischen Themas mithilfe einer vollständig digitalen Lernumgebung einen vergleichbaren Lernerfolg wie nach herkömmlichen Präsenzlehre? Und inwiefern kann der erwartete Mehrwert in Bereichen wie Aktivierung, Feedback und synchrone Darstellungsnetzung in einer digitalen Lernumgebung Limitationen, etwa bei der sozialen Interaktion, ausgleichen? Nur in diesem Fall käme das diversitätsfördernde Potenzial einer digitalen Selbstlern-

---

1 <https://moodle.de>

2 <https://stack-assessment.org/>

3 <https://jsxgraph.org/docs/index.html>

4 <https://h5p.org/https://h5p.org/>

umgebung zum Tragen. Aus diesen Überlegungen leitet sich folgende Forschungsfrage ab:

*»Inwieweit unterscheiden sich die Klausurergebnisse in einem abgegrenzten Themenbereich der Ingenieurmathematik zwischen einer Gruppe Studierender, bei der die Stoffvermittlung im Präsenzunterricht stattfindet, und einer Gruppe, die sich denselben Themenbereich mithilfe einer digitalen Selbstlernumgebung aneignet?«*

## 4. Methodik

Die digitale Selbstlernumgebung wurde im Wintersemester 2022/23 in einer Vorlesung »Mathematik I für Ingenieure« an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden erstmalig eingesetzt. Dabei wurde das klassische Präsenzlehrangebot bei der Behandlung der komplexen Zahlen durch die digitale Selbstlernumgebung ersetzt. Zum Vergleich des Lernerfolgs wurde eine frühere Kohorte vor der Corona-Pandemie aus dem Wintersemester 2017/18 herangezogen, bei der das Thema in einer Präsenzveranstaltung vermittelt wurde. Zudem wurde die Leistung in weiteren Themengebieten kontrolliert.

### 4.1 Stichprobe

Die Studienteilnehmer:innen der Vorlesung »Mathematik I für Ingenieure« im Wintersemester 2022/23 setzten sich aus Studierenden der Bachelorstudiengänge Maschinenbau, Kunststofftechnik, Motorsport Engineering, Ingenieurpädagogik und Mechatronik zusammen. Sie bildeten die Interventionsgruppe (IG), da hier die digitale Lernumgebung zum Einsatz kam. Im Vergleich dazu setzte sich die Kontrollgruppe (KG) aus Studierenden der Kohorte des Wintersemesters 2017/18 aus den Studiengängen Maschinenbau und Kunststofftechnik zusammen. Diese umfasste 81 Studierende (weiblich = 9, männlich = 72) mit einer mittleren Hochschulzugangsberechtigungsnote (HZBNote) von 2.46 (SD = 0.58), während sich die Interventionsgruppe aus 86 Studierenden (weiblich = 8, männlich = 78 %) mit einer durchschnittlichen HZBNote von 2.43 (SD = 0.72) zusammensetzte. In beiden Kohorten waren Schulabgänger des Gymnasiums (IG: 41,6 %; KG: 43,5 %), der Berufsoberschule (IG: 11,2 %; KG: 14,5 %), der Fachoberschule (IG: 29,2 %; KG: 36,2 %) sowie Studierende mit sonstigen Hochschulzugangsberechtigungen (IG<sup>5</sup>: 14,6 %; KG<sup>6</sup>: 5,8 %) vertreten.

### 4.2 Erhebungsinstrumente

Die *Lernleistung* wurde durch die erreichte Punktzahl in der Klausur in den entsprechenden Themengebieten operationalisiert. Die metrischen Daten wurden auf Basis der jeweils maximal erreichbaren Punkte in relative Werte umgewandelt. Die Klausuraufgabe

---

5 (Berufs-)Fachschiule (4), Allg. HZB im Ausland erworben (3), Fachgymnasium (5), Meister:in/Fachwirt:innen (4)

6 Meister:innen/Fachwirt:innen (2) sowie Abgänger:innen von Fachschule (2)

zu den komplexen Zahlen sowie, als Kontrollvariable, eine weitere Aufgabe (lineare Algebra) waren in Interventions- und Kontrollgruppe identisch. Die übrigen Aufgaben waren strukturgleich und umfassten zwei andere Themengebiete der Veranstaltung. Zur Operationalisierung der allgemeinen Mathematikleistung wurde außerdem die Variable *modifiziertes Gesamtergebnis* gebildet, indem die Gesamtpunktzahl der Klausur um die erreichten Punkte im Themengebiet der komplexen Zahlen reduziert wurde. Das modifizierte Gesamtergebnis umfasst also die identische Aufgabe des Themengebietes lineare Algebra und strukturgleiche Aufgaben aus zwei weiteren Themengebieten.

### 4.3 Erhebungsdesign

Die quasi-experimentelle Studie verwendete ein Between-Subjects-Design, bei dem die Lernleistung (Klausurergebnis in den Themengebieten komplexe Zahlen, lineare Algebra, allgemeine Mathematikleistung) als abhängige Variablen und die Lehrform (Präsenzlehre, digitaler Selbstlernkurs) als Between-Subjects-Factor diente.

Die Klausur bestand aus Aufgaben über vier mathematische Themengebiete mit identischen (komplexe Zahlen, lineare Algebra) oder strukturgleichen Aufgaben (übrige Themen) in den beiden Gruppen. Alle Klausuraufgaben waren in einem offenen Antwortformat konzipiert. In der Interventionsgruppe wurde das Thema der komplexen Zahlen durch den digitalen Selbstlernkurs vermittelt.

In der Aufgabe zu den komplexen Zahlen konnten 11 Punkte und in der zur linearen Algebra 10 Punkte erreicht werden. Die maximal möglichen Punkte in der Klausur betrugen im Wintersemester 2017/18 69 Punkte und im Wintersemester 2022/23 60 Punkte. Die gegenübergestellten Klausuren wurden durch den gleichen Dozierenden erstellt und korrigiert. Die Klausur fand als Paper-Pencil-Klausur in Präsenz statt und die Bearbeitungszeit betrug in beiden Gruppen 90 Minuten.

Während des Semesters ersetzte der digitale Selbstlernkurs für die Dauer der Behandlung der komplexen Zahlen die Präsenzvorlesung (vier Unterrichtsstunden wöchentlich für zwei Vorlesungswochen). Anstelle der sonst angebotenen Übung (zwei Unterrichtsstunden wöchentlich) fand während des Interventionszeitraums eine wöchentliche digitale Fragestunde statt, in der Studierende fachliche Fragen an den Dozierenden der Veranstaltung stellen konnten.

### 4.4 Auswertungsmethodik

Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurden Mittelwertvergleiche zwischen den abhängigen Variablen bei der Interventions- und Kontrollgruppe durchgeführt und mit einem Welch-Two-Sample t-Test für unabhängige Stichproben auf Signifikanz untersucht (Döring, 2023). Die zur Durchführung eines t-Tests nötigen Voraussetzungen der Normalverteilung sowie der Varianzhomogenität wurden geprüft. Cohens *d* wurde als Maß für die Effektstärke verwendet (Cohen, 1988).

## 5. Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte in den verglichenen mathematischen Themengebieten und der allgemeinen Mathematikleistung dargestellt.

*Tabelle 1: Unterschiede in der Lernleistung nach Präsenzlehre und nach Lernen in einer digitalen Selbstlernumgebung (eigene Darstellung).*

Themengebiet	Kontrollgruppe <i>n</i> = 81		Interventionsgruppe <i>n</i> = 86		<i>T</i>	<i>p</i>	Cohens <i>d</i>
	rel. M	rel. SD	rel. M	rel. SD			
Komplexe Zahlen	45.36 %	70.34 %	43.00 %	79.07 %	0.45	.65	0.07
Lineare Algebra	62.72 %	35.09 %	54.00 %	49.26 %	2.31	.02	0.36
Allgemeine Mathematikleistung	52.45 %	43.49 %	47.82 %	56.72 %	3.41	< .001	0.53

Der Welch-Test für unabhängige Stichproben ergab, dass in der Interventionsgruppe sowohl die Lernleistung in der linearen Algebra als auch die allgemeine Mathematikleistung signifikant niedriger waren als in der Kontrollgruppe (lineare Algebra:  $p = .02$ , allgemeine Mathematikleistung:  $p < .001$ ). Die Effektstärken liegen im geringen (lineare Algebra,  $d = 0.36$ ) bzw. mittleren Bereich (allgemeine Mathematikleistung,  $d = 0.53$ ). Im Themengebiet der komplexen Zahlen, das in der Interventionsgruppe durch die digitale Selbstlernumgebung vermittelt wurde, wurden keine signifikanten Leistungsunterschiede ( $p = .65$ ) zwischen den Gruppen festgestellt.

## 6. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse und Limitationen der Studie

In der hier beschriebenen Studie wurde die Lernleistung von Studierenden in Abhängigkeit vom eingesetzten Lehrszenario verglichen. Die Forschungsfrage fokussiert darauf, inwiefern sich die Klausurergebnisse in einem spezifischen Themenbereich der Ingenieurmathematik zwischen einer Kohorte Studierender, denen das Thema im Präsenzunterricht vermittelt wurde, und einer Kohorte Studierender, die sich denselben Themenbereich durch eine digitale Selbstlernumgebung erarbeiten, unterscheiden.

### 6.1 Vergleich der Lernleistungen

Die empirische Analyse der Klausurergebnisse ergab, dass im Themengebiet der komplexen Zahlen kein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der In-

terventionsgruppe besteht. Dies könnte darauf hindeuten, dass die digitale Selbstlernumgebung dazu beitrug, den negativen Leistungstrend, der in den übrigen mathematischen Themenbereichen deutlich wurde, zu reduzieren. So waren in der linearen Algebra die Ergebnisse der Interventionsgruppe signifikant niedriger als die der Kontrollgruppe, begleitet von einer moderaten Effektstärke. Auch bei der allgemeinen Mathematikleistung zeigten die Ergebnisse in die gleiche Richtung: Dabei wurde ein hochsignifikanter Unterschied zwischen den Gruppen beobachtet, und eine mittlere Effektstärke deutet darauf hin, dass dieser Unterschied auch in der Praxis von Relevanz ist. Im Themenbereich lineare Algebra und bei der allgemeinen Mathematikleistung gab es also – anders als bei den in der Interventionsgruppe digital vermittelten komplexen Zahlen – einen signifikanten Leistungsabfall.

Trotz des auch bei den komplexen Zahlen beobachteten negativen Leistungstrends, scheint die digitale Selbstlernumgebung also insgesamt hilfreich für die Lernenden zu sein. Die gezielte Anpassung an individuelle Lernbedürfnisse könnte eine vielversprechende Strategie sein, um den Selbstlernkurs weiter zu verbessern und den unterschiedlichen Lernvoraussetzungen Studierender gerecht zu werden.

Der beobachtete Rückgang bei der allgemeinen Mathematikleistung steht im Einklang mit den Ergebnissen der neuen PISA-Studie (OECD, 2023), die ebenfalls einen negativen Leistungstrend in der Mathematik berichtet. Im hier untersuchten hochschulischen Kontext erscheint die digitale Lernumgebung aber als Chance, diesen Negativtrend abzufedern.

## 6.2 Notwendigkeit für differenzierte Forschungsansätze

Während die durchgeführten Mittelwertvergleiche zwar Leistungsunterschiede und -trends aufzeigen können, blieben in der Studie insbesondere diversitätssensitive Aspekte noch unberücksichtigt. Insbesondere bleibt unklar, ob bestimmte Studierende stark von dem digitalen Selbstlernkurs profitieren, während das bei anderen möglicherweise kaum oder gar nicht der Fall ist. Unklar ist bleibt auch, wie sich diese Studierendengruppen gegebenenfalls charakterisieren lassen. Vor dem Hintergrund der studentischen Diversität ist eine detaillierte Analyse von persönlichen Erfolgs- und Misserfolgsk Faktoren unabdingbar. Digitale Lehrumgebungen in der Hochschulbildung werden von unterschiedlichen Lernenden im Kontext von Selbstregulation (Brünken et al., 2019), Motivation und Emotionen (Krapp et al., 2014) und Selbstkonzept (Möller & Trautwein, 2020) unterschiedlich genutzt. Daher ist es sinnvoll die Nutzung und die daraus entstehende Lernleistung im Zusammenhang mit den genannten Einflussfaktoren zu betrachten. Zudem ist eine Analyse der einzelnen (medialen) Bestandteile der Selbstlernumgebung erforderlich, um die Wirksamkeit digitaler Lehrformen auch unter Berücksichtigung von Neuheitseffekten als Störvariablen empirisch fundiert bewerten zu können. Dies kann wichtige Erkenntnisse für das Instruktionsdesign liefern. Die Forschung sollte demnach daran arbeiten, besonders lernwirksame Elemente innerhalb digitaler Lernumgebungen zu identifizieren (Meyer, 2019). Wesentlich – und eine didaktische Entscheidung – bleibt das sinnvolle Auswählen von nützlichen und nötigen Tools bei guter Kenntnis der studentischen Diversität.

Die Erkenntnisse verdeutlichen, dass eine digitale Selbstlernumgebung möglicherweise nicht universell wirkungsvoll ist und sich auf den Lernerfolg verschiedener Studierender unterschiedlich auswirken kann. Differenzierte Forschungsansätze könnten dazu beitragen, die Gestaltung und Implementierung digitaler Lehransätze gezielter auf die Bedarfe unterschiedlicher Fachbereiche bei studentischer Diversität auszurichten.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellte Studie vergleicht die Lernleistung von Studierenden nach zeit- und ortsunabhängigem Lernen in einer digitalen Selbstlernumgebung zur Ingenieurmathematik mit der Lernleistung nach Präsenzlehre. Die identifizierten Befunde weisen darauf hin, dass die digitale Selbstlernumgebung als Instrument zur Verbesserung der Lernleistung in einem abgegrenzten mathematischen Themengebiet dienen kann. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass künftige Forschung eine vertiefte Analyse der individuellen Lernbedürfnisse und Vorwissensstände der Studierenden beinhalten sollte, um die Anpassung digitaler Lernumgebungen weiter zu optimieren. Die Integration adaptiver Elemente könnte dabei helfen, die vielfältigen Bedürfnisse der Lernenden noch besser zu berücksichtigen und somit den Erfolg der digitalen Lehre weiter zu steigern.

Die Entwicklung wirkungsvoller Lernumgebungen zur Verbesserung der Studienleistung in der Mathematik stellt aktuell eine bedeutende Herausforderung an den tertiären Bildungsbereich dar. Eine gelungene Bewältigung dieser Herausforderung erfordert nicht nur eine Integration von digitalen und Präsenzelementen, sondern vielmehr eine geschickte und abgestimmte Mischung beider Ansätze.

## Literatur

- Bellhäuser, H., Lösch, T., Winter, C., & Schmitz, B. (2016). Applying a web-based training to foster self-regulated learning — Effects of an intervention for large numbers of participants. *The Internet and Higher Education*, 31, 87–100. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2016.07.002>
- Brünken, R., Münzer, S., & Spinath, B. (Ed.). (2019). *Pädagogische Psychologie: Lernen und Lehren*. Hogrefe Verlag. <http://doi.org/10.1026/02214-000>, »Selbstreguliertes Lernen« (S. 206–230).
- Castañeda, L., & Selwyn, N. (2018). More than tools? Making sense of the ongoing digitizations of higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-018-0109-y>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Döring, N. (2023). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (6., vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-64762-2>
- Hattie, J. (2010). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement* (Reprinted.). Routledge.

- Heublein, U., Hutzsch, C., & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*. [https://doi.org/10.34878/2022.05.DZHW\\_BRIEF](https://doi.org/10.34878/2022.05.DZHW_BRIEF)
- Kinnear, G. (2019). *Delivering an online course using STACK*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.2565968>
- Krapp, A., Geyer, C., & Lewalter, D. (2014). Motivation und Emotion. In T. Seidel & A. Krapp (Hg.), *Pädagogische Psychologie* (6. Aufl., S. 193–222). Beltz Verlag.
- Kroher, M., Beuße, M., Isleib, S., Becker, K., Ehrhardt, M.-C., & Buchholz, S. (2023). Die Studierendenbefragung in Deutschland: 22. *Sozialerhebung. Die wirtschaftliche und soziale Lage der Studierenden in Deutschland 2021*. Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Laufer, M., Leiser, A., Deacon, B., Perrin de Brichambaut, P., Fecher, B., Kobsda, C., & Hesse, F. (2021). Digital higher education: A divider or bridge builder? Leadership perspectives on edtech in a COVID-19 reality. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(1), 51. <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00287-6>
- Lipowsky, F. (2020). Unterricht. In E. Wild & J. Möller (Hg.), *Lehrbuch. Pädagogische Psychologie* (3., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, S. 69–118). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7_4)
- Loviscach, J. (2018). Gelehrt ist noch nicht gelernt – auch in Zeiten digitaler Medien. In Fachgruppe Didaktik der Mathematik der Universität Paderborn, *Vorträge zur Mathematikdidaktik und zur Schnittstelle Mathematik/Mathematikdidaktik auf der gemeinsamen Jahrestagung GDM und DMV 2018*, 1195–98. <https://doi.org/10.17877/DE290R-19516>
- Mayer, R. E. (2019). Thirty years of research on online learning. *Applied Cognitive Psychology*, 33(2), 152–159. <https://doi.org/10.1002/acp.3482>
- Miller, C., & Wassermann, A. (Hg.) (2023). *1st International JSXGraph Conference – Book of Abstracts*. [https://doi.org/10.15495/EPUB\\_UBT\\_00007209](https://doi.org/10.15495/EPUB_UBT_00007209)
- Möller, J., & Trautwein, U. (2020). Selbstkonzept. In E. Wild & J. Möller (Hg.), *Lehrbuch. Pädagogische Psychologie* (3., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, S. 187–209). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7_8)
- OECD (2023). *PISA 2022 Ergebnisse (Band I): Lernstände und Bildungsgerechtigkeit*, PISA, wbv Media, Bielefeld, <https://doi.org/10.3278/6004956w>.
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 110(6), 785–797. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
- Persike, M. (2019). Videos in der Lehre: Wirkungen und Nebenwirkungen. In H. Niegemann & A. Weinberger (Hg.), *Handbuch Bildungstechnologie* (S. 271–301). Springer.
- Quesada-Pallarés, C., Sánchez-Martí, A., Ciraso-Calí, A., & Pineda-Herrero, P. (2019). Online vs. Classroom Learning: Examining Motivational and Self-Regulated Learning Strategies Among Vocational Education and Training Students. *Frontiers in Psychology*, 10, 2795. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02795>
- Rohrer, D., & Taylor, K. (2007). The shuffling of mathematics problems improves learning. *Instructional Science*, 35(6), 481–498. <https://doi.org/10.1007/s11251-007-9015-8>
- Schneider, M., & Preckel, F. (2017). Variables associated with achievement in higher education: A systematic review of meta-analyses. *Psychological Bulletin*, 143(6), 565–600. <https://doi.org/10.1037/bul0000098>
- Stegmann, K., Wecker, C., Mandl, H., & Fischer, F. (2018). Lehren und Lernen mit digitalen Medien. In R. Tippelt & B. Schmidt-Hertha (Hg.), *Springer Reference Sozialwis-*

- senschaften. Handbuch Bildungsforschung* (4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, S. 967–988). Springer VS. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-19981-8\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-531-19981-8_42)
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>