

Technische Universität Dortmund
Fakultät Erziehungswissenschaft,
Psychologie und Soziologie (12)

Institut für Psychologie
Lehrstuhl für Pädagogische
Psychologie

TU Dortmund | Institut für Psychologie | 44221 Dortmund

Prof. Dr. Ricarda Steinmayr

Kontakt:

Emil-Figge-Straße 50
44227 Dortmund

ricarda.steinmayr@tu-dortmund.de

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

**Projekträger für das Bundesministerium für Forschung,
Technologie und Raumfahrt**

**Steinplatz 1
10623 Berlin**

Diktatzeichen

Aktenzeichen

Ort

Datum

Dortmund

6. August 2025

Betreff: Schlussbericht zum Teilvorhaben

Zuwendungsempfänger: TU Dortmund, Prof. Dr. Ricarda Steinmayr

Förderkennzeichen: FederLeicht 16SV8665

Vorhabensbezeichnung: „FederLeicht: Lernunterstützung in der erweiterten Realität mit Hilfe eines intelligenten Sensorstiftes“ (16SV8667)

Laufzeit: 01.08.2021 – 31.12.2024

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Im Rahmen des *FederLeicht*-Forschungsverbundes wurde untersucht, wie sich eine erweiterte Realität auf das Lernen von Schulkindern auswirkt. *FederLeicht* zielte darauf ab, das eigenständige Lernen von Schülerinnen und Schülern (SuS) zu unterstützen, während sie darüber hinaus noch eine größere Motivation während ihres Lernprozesses erleben sollten.

Inhaltlich wurden die folgenden Ziele verfolgt:

- 1) Die Erstellung eines Lernsystems, dass mittels erweiterter Realität (engl. Augmented Reality - AR) physische Lernmaterialien um digitale Informationen erweitert. Dabei soll das

Lernsystem (*Pro-Lamp*) individuell auf die Lernsituation der Lernenden eingehen und gezielte, individuelle Unterstützung geben.

- 2) Zur Datenerfassung sollte ein intelligenter Stift (*Smart-Pen*) entwickelt werden, der über Sensoren relevante Informationen zum Kontext der Lernsituation erfasst. Dabei soll es mit dem Stift möglich sein, verschiedene physische und physiologische Parameter zu erheben.
- 3) Eine Fallstudie sollte evaluieren, in wieweit das Lernsystem lernförderlich, bezogen auf Lernleistung und Lernmotivation wirkt.

Im Rahmen des Gesamtprojektes hatte die TU Dortmund besondere Verantwortung für die folgenden Aufgaben:

- 1) Die Planung und Durchführung mehreren Vorstudien. Hierbei hatte die TU Dortmund besonders eine motivationsförderliche Realisierung des Gesamtsystems im Fokus sowie eine Evaluation der Usability. Darüber hinaus lag ein weiterer Schwerpunkt auf einer experimentellen Überprüfung der Reaktivität des *Smart-Pens* auf besondere psychologische Zustände, hier vor allem auf Stress unterschiedlicher Provenienz.
- 2) Planung, Organisation und Durchführung der Feldstudie *IndiLearn*, in dem eine lernpsychologische Perspektive beigesteuert wird, die insbesondere die Aufgabenstellungen und den Aufbau der Lernumgebung mit qualitativem Fachwissen unterfüttert.
- 3) Planung, Durchführung und Auswertung der Hauptstudie im Feld in der geprüft wurde, inwieweit das Gesamtsystem Einfluss auf die Lernmotivation nimmt und welche Einflüsse dies auf die schulische Leistung der Kinder unter Berücksichtigung wichtige Kontrollvariablen entfaltet.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt Federleicht wurde an der Technischen Universität Dortmund vom 01.08.2021 bis zum 31.12.2024 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und unter Leitung von Frau Prof. Dr. Ricarda Steinmayr am Institut für Psychologie der TU Dortmund durchgeführt. Projektleitung hatte Herr Prof. Dr. Stefan Schneegass des Instituts für Informatik und Wirtschaftsinformatik (ICB) der Universität Duisburg-Essen. Zunächst war das Projekt auf eine Laufzeit vom 01.08.2021 bis zum 31.07.2024 bewilligt. Aufgrund von Einschränkungen während der Corona-Pandemie, des Hackerangriffs auf die Uni Duisburg-Essen und der Blockade des Suez-Kanals 2021 wurde die Projektlaufzeit bis zum 31.12.2024 verlängert. Die Pandemie und die damit verbundenen Schutzmaßnahmen erschwerten und verzögerten sämtliche Studien, die an Schulen und mit SuS durchgeführt wurden. Durch den Hackerangriff auf die Uni Duisburg-Essen wurden die Arbeiten der Kolleg:innen dort um Monate verzögert, u.a. da der Zugriff auf Daten nicht mehr möglich war und keine Verbindung zum Internet bestand. Die Blockade des Suez-Kanals und die damit verbundenen Probleme im weltweiten Handel führte zu einer Verzögerung der Lieferung von Datenchips, die notwendig für die technische Umsetzung der *Smart-Pens* und *Pro-Lamps* waren. Im Falle des Teilprojekts der TU Dortmund kam es aufgrund einer längeren Krankschreibung der Projektleiterin Prof. Dr. Ricarda Steinmayr vom 01.01.23 – 31.03.23 aufgrund eines schweren Unfalls zu weiteren Verzögerungen.

In Dortmund war für das Projekt vom 01.11.21 – 31.01.22 eine Mitarbeiterin mit 75% und vom 01.02.22 – 31.07.24 Vollzeit in dem Projekt beschäftigt. Anschließend füllten diese Stelle bis zum 31.12.2024 zwei Mitarbeitende in Teilzeit aus. Außerdem arbeiteten mehrere studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte an der Umsetzung der Projektziele.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die TU Dortmund hatte die Aufgabe, sicherzustellen, dass SuS den *Smart-Pen* sowie die AR-Umgebung annehmen. Zu diesem Zweck wurde zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt, um bestehende AR-Anwendungen im schulischen Kontext zu analysieren und zukünftige eigene Studien vorzubereiten. AR-Applikationen werden häufig eingesetzt, um das Verständnis von Handlungsabläufen zu fördern oder die Motivation der Lernenden zu steigern. Im schulischen Bereich liegt der Fokus insbesondere auf den Auswirkungen von AR-Applikationen auf die Motivation. In der Literaturrecherche wurden folgende Schwerpunkte gesetzt:

Motivationsförderndes Design: Aspekte wie Aufgabenschwierigkeit, Belohnungen, ästhetisches Design, Neuheit sowie weitere Faktoren, die von den Entwicklern der *FederleichtLernen-AR*-Umgebung gestaltet werden können und Einfluss auf die intrinsische und extrinsische Motivation der SuS haben können, die diese Umgebung nutzen sollen. Um Informationen über motivationssteigerndes Design zu sammeln, wurden folgende Suchbegriffe verwendet:

(AR OR mixed reality OR VR OR automated training) AND (education OR school OR training) AND (motivation OR success OR design). Anhand der Quellenangaben der gefundenen Veröffentlichungen wurden zudem weitere relevante Arbeiten in die Auswertung einbezogen. Die Suche fand in verschiedenen Datenbanken statt, darunter das Bibliotheksportal der TU Dortmund, das Bibliotheksportal der Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek sowie Google Scholar.

Darüber hinaus wurde in Zusammenarbeit mit den Partnern im Schwerpunkt „Augmented Reality Lernumgebung“ ein erster Entwurf der *FederleichtLernen*-Applikation basierend auf den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche erstellt. In einer hierarchischen Task-Analyse wurden die einzelnen Schritte zur Vervollständigung dieses frühen Designs herausgearbeitet. Abbildung 1 zeigt den Aufbau der App zusammen mit den jeweiligen Arbeitsfeldern, die ausgefüllt werden müssen.

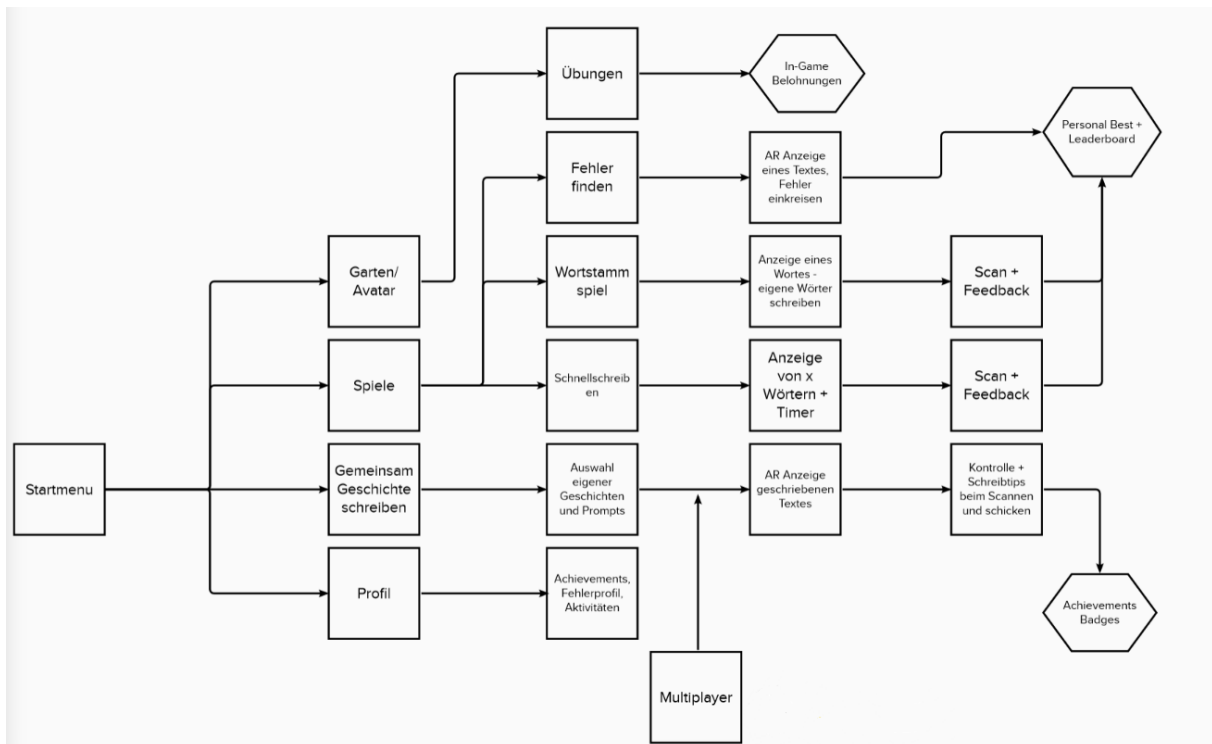


Abbildung 1: Früher Entwurf der *FederleichtLernen*-Applikation

Dieser Entwurf diente als Orientierungshilfe und Diskussionsgrundlage für die Entwicklung von Belohnungssystemen sowie für die langfristige Planung von Arbeitsschritten und wurde

kontinuierlich angepasst. Ziel des Entwurfs war es, einen standardisierten aber dennoch individualisierten Ablauf von Übungen zu ermöglichen, sodass Variablen wie Schwierigkeit und Belohnungen mithilfe einer KI oder anderer Mechanismen individuell an jedes Kind angepasst werden können. Zudem sollte gewährleistet werden, dass verschiedene Formen des Umgangs mit dem jeweiligen Lerninhalt (hier als Beispiel Rechtschreibung) angeboten werden, damit alle Kinder entsprechend ihrer individuellen Motivation und Vorlieben geeignete Übungen erhalten. Sowohl kompetitive als auch kooperative Lernformen – etwa durch Spiele oder gemeinsames Arbeiten an einer Aufgabe (hier gemeinsames Geschichtschreiben) – wurden neben dem eigenständigen Lernen durch Übungen berücksichtigt. Die TU Dortmund erstellte dafür verschiedene Übungen in den Bereichen Rechtschreibung, Englisch und Mathematik. Der in Abbildung 1 dargestellte Ablauf sowie die Literaturrecherche diente auch als Grundlage für die Studie *IndiLearn*. Darüber hinaus diente die Literaturrecherche im Rahmen der iterativen Integration zur Entwicklung von Standards für das Design des Feedbacks sowie Belohnungs- und Motivationselemente der AR-Umgebung, die im Projekt *IndiLearn* umgesetzt wurden.

Im Rahmen der Studienplanung und -konzeption, insbesondere in den Bereichen KI-Algorithmen für die Sensorinterpretation sowie dem Aufbau eines Funktionsdemonstrators, wurden in Zusammenarbeit mit der Universität Duisburg-Essen zwei Studien vorbereitet. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde ein Recommender-System entwickelt. Dieses System nutzte die Item-Response-Theorie (IRT), um die Leistung der Studierenden sowohl parallel zu erfassen als auch zu trainieren. Es wurde somit basierend auf den Leistungen ein Fähigkeitswert pro Teilnehmer:in abgeleitet, auf dessen Grundlage die Auswahl der Aufgaben nach Schwierigkeit erfolgte. So soll ein optimaler Match von Fähigkeit der Probanden und Schwierigkeit der Aufgaben erfolgen, um zu verhindern, dass die Probanden für sie persönlich zu leichte oder zu schwere Aufgaben bearbeiten. Durch die individualisierte Vorgabe von Aufgaben soll sowohl eine hohe Motivation beim Lernen als auch, damit verknüpft, bessere Lernleistungen erzielt werden (Schaumburg, 2021). Die Evaluation dieses Systems wurde zunächst an Studierenden durchgeführt und bildet die Grundlage für eine der Bedingungen (Interventionsgruppe mit Algorithmus) im Projekt *IndiLearn*.

Zusätzlich wurde eine Studie zur Ermittlung der optimalen AR-Umgebung für den Einsatz des *Smart-Pens* mit erarbeitet (You ARE Correct!). In diesem Kontext wurden alle drei AR-Umgebungen präsentiert und von den SuS hinsichtlich ihrer Usability und weiterer Aspekte beurteilt. Die TU Dortmund war an der Organisation und Durchführung der Studie beteiligt und hat die Evaluation der motivationalen Auswirkungen übernommen, indem ein Fragebogen zur Erfassung von motivationalen Aspekten sowie wie wichtiger Kontrollvariablen (SÖS, Geschlecht, Schulleistung, etc.) mittels etablierter Instrumente zusammengestellt wurde. Ausgewertet wurden die Daten von $N = 122$ SuS, die alle drei Bedingungen (Tablet, Smartphone und Beamer) durchlaufen hatten (within-subject design). Vor und nach der Studie wurden sie zu ihrer Motivation mittels eines Fragebogens und nur nach der Studie wurden ihnen mittels offener Fragen zur Benutzerfreundlichkeit (Usability), zum Erlebnis (Enjoyment) sowie zur Ergonomie gestellt, um die drei AR-Systeme hinsichtlich dieser Aspekte vergleichen zu können.

In Zusammenarbeit mit der Universität Freiburg wurde der Prototyp des *Smart-Pens* evaluiert und eine Studie zur Funktionsweise des Stifts durchgeführt. Zunächst wurde die grundlegende Funktionsweise getestet, gefolgt von einer Untersuchung, ob der bestehende Prototyp zwischen verschiedenen Arten von „mental load“ wie Entspannung, Stress und Langeweile differenzieren konnte. Dabei wurde geprüft, ob anhand der mit dem *Smart-Pen* ermittelten Daten ein Modell trainiert werden kann, welches erfolgreich zwischen niedrigem und hohem „mental load“ unterscheidet. Hier wurde ein entsprechendes Experiment von der TU Dortmund geplant und in Freiburg durchgeführt. Die technische Umsetzung realisierte die Uni Freiburg, die sich auch für die

Auswertung dieser Studie verantwortlich zeichnete. Das Experiment fand in Freiburg statt und umfasste die Untersuchung der Fähigkeit des entwickelten *Smart-Pens*, unterschiedliche experimentelle Bedingungen zu unterscheiden. Die zwei Bedingungen, die getestet wurden, waren „Langeweile“ (repräsentiert durch den Uhr-weiter-drehen-Task) und „Aufregung“ (simuliert durch ein Job-Interview). Die Ergebnisse zeigten, dass der *Smart-Pens* erfolgreich zwischen den beiden Zuständen differenzieren konnte. Parallel dazu wurde intensiv an der Entwicklung der experimentellen Bedingungen gearbeitet, um eine valide und zuverlässige Datenerhebung sicherzustellen. Zudem wurden ein Motivationsfragebogen sowie ein Langeweilefragebogen konzipiert und implementiert, um die subjektive Wahrnehmung der Proband:innen hinsichtlich ihrer emotionalen Zustände zu erfassen. Die Auswertung ergab, dass die Proband:innen während der Langeweile-Bedingung tatsächlich gelangweilter waren als in der aufregenden Bedingung. Diese Erkenntnisse bilden eine solide Grundlage für die weiteren Schritte im Projekt und tragen maßgeblich zur Validierung des eingesetzten Messinstruments bei.

Die Ergonomie des *Smart-Pens* wurden noch weiter untersucht. Im Juni 2024 wurde eine Folgestudie durchgeführt, die sich auf einen Praxistest in Dortmund und Oberhausen konzentrierte. Insgesamt wurden 16 SuS befragt, die verschiedene Aufgaben mit einer überarbeiteten Version des *Smart-Pens* durchführen mussten und anschließend zu dessen Handhabung qualitativ und quantitativ befragt wurden. Ziel der Studie war es, die Ergonomie des entwickelten Stifts zu evaluieren sowie mögliche Verbesserungen im Hinblick auf dessen praktischen Einsatz zu identifizieren. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die Aufgabenschwierigkeit gezielt angepasst, um unterschiedliche Nutzungsszenarien realistisch abzubilden und detaillierte Erkenntnisse über die Handhabung des *Smart-Pens* zu gewinnen. In Zusammenarbeit mit Freiburg wurde ein spezifischer Ergonomiefragebogen entwickelt, der dazu diente, das Nutzererlebnis systematisch zu erfassen. Die Ergebnisse der Evaluation zeigten, dass der *Smart-Pen* von einigen Proband:innen als zu schwer empfunden wurde. Darüber hinaus stellte sich heraus, dass die Haltung des Stifts in bestimmten Positionen unbequem und unnatürlich wirkte. Positiv hervorzuheben ist jedoch, dass der *Smart-Pen* insgesamt flexibel handhabbar war und somit vielseitig eingesetzt werden konnte. Diese Erkenntnisse liefern wertvolle Impulse für die Optimierung des Designs und trugen dazu bei, den Stift anwendungsfreundlicher zu gestalten.

3.1 Individualisierung und Gamification

Die *IndiLearn*-Studie untersuchte die Effekte digitaler Individualisierung und Gamification auf das Vokabellernen im Englischunterricht der Sekundarstufe. Ziel war die Entwicklung eines adaptiven Lernprogramms, das SuS der 6. Klasse durch algorithmusgesteuerte Personalisierung und motivierende Spielelemente unterstützt. Im Rahmen des Projekts wurde ein Programm zur Individualisierung von Lernerfahrungen im Englischunterricht entwickelt und evaluiert. Da es bereits zahlreiche Untersuchungen zur Digitalisierung des Mathematikunterrichts gibt, wurde bewusst das Lernen von Englischvokabeln gewählt, um zu prüfen, ob auch andere Fächer von digitalen und gamifizierten Lernumgebungen profitieren können. Im Mittelpunkt stand ein Vokabellernprogramm, das gezielt auf die unterschiedlichen Lernstände und Bedürfnisse der SuS einging. Zur Individualisierung wurden die Vokabeln, die die SuS bereits in der fünften Klasse gelernt hatten, sowie die Vokabeln der aktuellen Lektionen der sechsten Klasse in das System eingespeist. Jede Vokabel erhielt anhand ihrer Vorkommenshäufigkeit im englischen Sprachgebrauch einen Schwierigkeitsfaktor, der als Grundlage für die adaptive Zuweisung diente. In der ersten Interventionsgruppe, in der ein Algorithmus zum Einsatz kam, wurden den Lernenden mit steigender Kompetenz zunehmend schwierigere Vokabeln zugeordnet. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die SuS stets auf einem für sie optimalen Schwierigkeitsniveau lernen und so bestmöglich gefördert werden.

Ein weiterer Schwerpunkt der Studie lag auf der Untersuchung der Effekte von Gamification und Digitalisierung der Lernumgebung. Im Rahmen der Entwicklung des Programms wurden verschiedene Gamification-Elemente integriert. Dazu gehörten sogenannte Achievements, also erreichbare Ziele, die in anderen Forschungsarbeiten nachweislich positive Effekte auf Motivation, Ausdauer und Leistung haben können – auch im Vergleich zu herkömmlichen Zielsetzungsstrategien (Fitria, 2022, Lumsden, 2016, Ritzhaupt et al., 2021). Achievements sprechen zudem die Grundbedürfnisse nach Autonomie, da die Lernenden selbst auswählen können, welches Achievement sie verfolgen, sowie nach Kompetenz an, da sie ihre Fortschritte unmittelbar erleben. Ein Beispiel für ein solches Achievement ist das korrekte Beantworten von 50 neuen Vokabeln an einem Tag oder dass man die Anzahl der richtigen Antworten im Vergleich zum letzten Durchgang gesteigert hat. Dadurch werden auch Belohnungen für intraindividuell positive Vergleiche möglich. Auf interindividuelle Vergleiche abzielend wurde im System ein Leaderboard implementiert, das einen kompetitiven Lerngedanken fördert und den Vergleich mit anderen ermöglicht. Zusätzlich gab es ein Ranking-System mit sechs Rängen, das sich nach der Anzahl der bereits gelösten Vokabeln richtete. Dies unterstützte den individuellen Lernfortschritt und bot eine individuelle Bezugsnorm mit kleineren, erreichbaren Zielen, die besonders die Motivation der leistungsschwächeren Lernenden stärken sollte. Um die Effekte der Gamificationelemente zu testen gab es neben der ersten Interventionsgruppe eine zweite Interventionsgruppe, die zwar mit dem Programm lernte, aber ohne den Schwierigkeitsalgorithmus (zufällige Vokabelpräsentation) sowie eine Kontrollgruppe, die mit herkömmlichen Methoden (z.B. Vokabelkarten oder Vokabelheft) lernte.

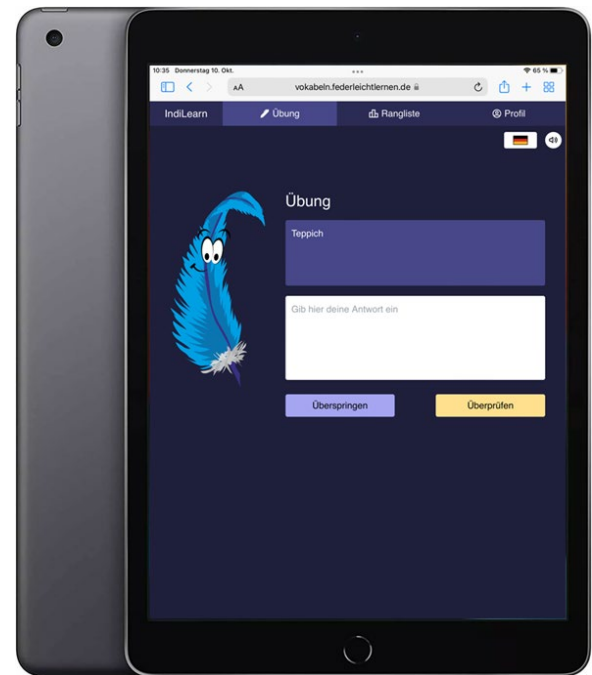


Abbildung 2: IndiLearn Oberfläche auf den bereitgestellten iPads. Die Lernenden bekamen ein deutsches Wort vorgegeben und sollten zu diesem die englische Übersetzung eingeben.

Im Rahmen einer sechswöchigen Langzeitstudie wurden insgesamt $N = 83$ SechstklässlerInnen (51.8% männlich, 65.1% Muttersprache Deutsch, $M = 11.16$ Jahre, $SD = .481$) aus vier Klassen eines Gymnasiums im Ruhrgebiet getestet. Leider konnte statt der eingeplanten Stichprobengröße von $N = 120$ nur ein N von 80 realisiert werden, da trotz großer Unterstützung der Schule ein Drittel der Eltern die Studieneinwilligung verweigerte. Damit liegt die Teilnahmequote zwar immer noch über Studien wie IGLU (s. Lorenz et al., 2023), reduzierte die Power jedoch beträchtlich. Zu Beginn und am Ende der Untersuchung absolvierten die Lernenden jeweils einen Vokabeltest mit zwanzig Vokabeln. Während der Studie, die von Oktober bis Dezember 2024 lief, lernten sie an zwei Tagen pro Woche jeweils 15 Minuten lang im Unterricht Vokabeln. Die Teilnehmenden wurden innerhalb der Klassen zufällig auf drei verschiedene Lernbedingungen verteilt, um so Einflüsse der Klasse zu kontrollieren. Eine Gruppe ($N = 19$) lernte herkömmlich und zwei weitere Gruppen nutzten *IndiLearn* auf zur Verfügung gestellten iPads. Einer dieser Gruppen ($N = 37$) wurden dabei Vokabeln zufällig

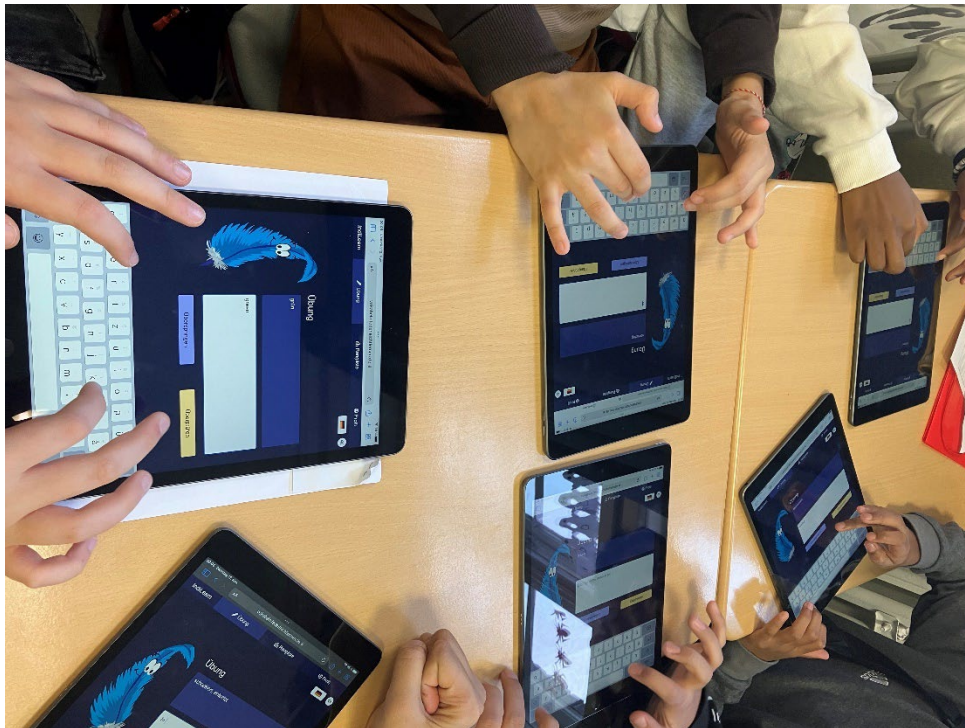


Abbildung 3: Eine Gruppe von Kindern arbeitet im Rahmen der Studie mit dem *IndiLearn* Programm.

vorgeschlagen, während die andere Gruppe ($N = 24$) durch den Algorithmus Aufgaben in der Schwierigkeit gestellt bekam, die ihrem Fähigkeitsniveau entsprachen. Zur Evaluation des *IndiLearn*-Programms wurden die SuS mit verschiedenen Skalen befragt. Erfasst wurden unter anderem die Motivation für das Englisch- und Vokabellernen (SESSW; Steinmyr & Spinath, 2010), das Selbstkonzept in Bezug auf Englisch und Vokabellernen (Spinath & Steimayr, 2012) sowie das schulische Selbstkonzept in den Dimensionen kriterial, individuell, sozial und absolut (SESSKO; Schöne et al., 2002).

Für die *IndiLearn*-Studie wurde eine MANOVA mit Messwiederholung gerechnet, um die drei Untersuchungsgruppen herkömmliches Lernen, Lernen mit *IndieLearn* und zufällig präsentierten Vokabeln und Lernen mit dem *IndieLearn*-Algorithmus zu vergleichen. Diese zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Lernmethoden für die kombinierten abhängigen Variablen Motivation für Englisch- und Vokabellernen, Selbstkonzept für Englisch- und Vokabellernen, und schulisches Selbstkonzept (kriterial, individuell, sozial und absolut) über die zwei Messzeitpunkte hinweg ($F(16, 136) = 1.378$, $p = .161$, partielles $\eta^2 = .140$, Wilk's $\Lambda = .740$). Aufgrund der kleineren als geplanten Stichprobe erzielte der Effekt keine statistische Signifikanz, jedoch weist das eta-Quadrat

auf einen mittleren Effekt der Gruppenzugehörigkeit hin. *IndiLearn* zielte durch Gamification darauf ab, die Lernmotivation zu steigern. Deskriptiv zeigten sich teilweise entsprechende Effekte für die Motivation und sogar die Leistung (auch wenn beides statistisch nicht signifikant wurde). Dies wurde durch qualitative Aussagen der Beteiligten unterstrichen. Es gab mehrere Aussagen von Lernenden und Lehrkräften, die von einem positiven Einfluss von *IndiLearn* auf die Lernmotivation der Kinder zeugen. Ein Lehrer der Kinder merkte am Ende der Testung etwa an, dass die Kinder schier „süchtig“ nach Vokabellernen werden, da sie durch die Bestenliste stark motiviert wurden. Die Ergebnisse der *IndiLearn*-Studie flossen in das Gesamtsystem dahingehend ein, dass der Gamificationansatz übernommen und ausgebaut wurde.

3.2 Evaluation des Gesamtsystems

Schlussendlich wurde die Evaluation der Lernplattform *Pro-Lamp* in Kombination mit dem *Smart-Pen* und somit der finale im Projekt erreichte Stand des Gesamtsystems durchgeführt. Ziel dieser Untersuchung war es, eine Anwendung der *Pro-Lamp* für das Brückekürzen zu entwickeln und dessen Wirksamkeit im schulischen Kontext zu überprüfen. Die Planung begann mit der Erstellung eines didaktischen Konzepts, das darauf abzielte, die Grundlagen des Brückekürzens strukturiert und schüler:innengerecht zu vermitteln. Das Konzept umfasste eine Einführung in Brüche, die Erarbeitung des größten gemeinsamen Teilers sowie das schrittweise Kürzen von Brüchen.

Zur Steigerung der Lernmotivation und zur Förderung der aktiven Teilnahme wurden verschiedene Gamification-Elemente in das Lernprogramm integriert. Ein Avatar in Gestalt eines lustigen Professors begleitete die SuS durch den Bearbeitungsprozess und gab motivierende Sprüche, um die Lernatmosphäre aufzulockern und positives individualisiertes Feedback zu geben. Zusätzlich wurde eine Sanduhr am Rand des Arbeitsblattes eingeblendet, die den Lernenden half, ihr Zeitmanagement einzuschätzen und die eigene Arbeitsgeschwindigkeit zu reflektieren. Die Aufgaben waren in drei Schwierigkeitsstufen unterteilt, die als Level gestaltet wurden. Nach erfolgreicher Bearbeitung eines Levels gelangten die SuS in das nächste Level, das anspruchsvollere Aufgaben bereithielt. Für das erfolgreiche Lösen der Aufgaben und das zügige Bearbeiten der Arbeitsblätter erhielten sie Punkte, was den spielerischen Charakter des Lernprogramms zusätzlich unterstrich und belohnend wirken sollte.

Die Entwicklung der Aufgaben erfolgte mit besonderem Augenmerk auf deren Angemessenheit und Progression. Zu diesem Zweck wurden die drei Schwierigkeitsniveaus in einer Vorstudie mit einer sechsten Klasse einer Gesamtschule im Ruhrgebiet getestet. Die Aufgabenschwierigkeit wurde anhand der relativen Häufigkeit, mit der eine Aufgabe richtig gelöst wurde, berechnet und durch die subjektiven Schwierigkeitseinschätzungen der SuS ergänzt. So konnte sichergestellt werden, dass die Aufgaben sowohl objektiv als auch subjektiv den intendierten Schwierigkeitsgrad abbildeten.

Die Gesamtevaluation wurde im Dezember 2024 an einer Dortmunder Schule durchgeführt. An dieser nahmen $N = 72$ (55.6 % weiblich, $M = 11.26$ Jahre, $SD = .472$) Jugendliche aus vier sechsten Klassen eines Gymnasiums im Ruhrgebiet teil. Auch hier war das N kleiner als erhofft, konnte jedoch nicht mehr aufgefüllt werden, da sich trotz großer Bemühungen keine weitere Schule fand, die in den



Abbildung 4: Aufbau des Gesamtsystems zur Testung an der Schule. Aufgebaut sind acht Lernstationen mit Pro-Lamps.



Abbildung 5: Lernende erproben das Gesamtsystem

Wochen vor Weihnachten bereit war, an der Testung zusätzlich teilzunehmen. Die Datenerhebung fand während des regulären Unterrichts statt und dauerte für jede Klasse 90 Minuten. In einem Prä- und einem Postfragebogen machten die SuS anonym Angaben zu intrinsischen Werten („Brüche kürzen/Mathematik macht mir Spaß“; SESSW; Steinmayr & Spinath, 2010), ihren Kompetenzüberzeugungen („Ich bin für das Brüche kürzen/das Fach Mathematik begabt.“; SESSKO; Schöne et al., 2002) und zur Prüfungsängstlichkeit („Das Herz schlägt mir bis zum Hals.“; TAI_G; Hodapp, 1991). Zur Postbefragung der Experimentalgruppe wurden zusätzlich selbsterstellte Items zur Evaluation der *ProLamp* und des *SmartPens* erfragt. Zudem wurden Leistungsdaten in Form von Schulnoten der letzten Klassenarbeit und der letzten Zeugnisnote im Fach Mathematik sowie dem Notendurchschnitt des letzten Zeugnisses durch die LehrerInnen bereitgestellt. Die SuS wurden randomisiert auf Kontroll- und Experimentalgruppe verteilt, wobei die Experimentalgruppe mit dem Lernsystem und die Kontrollgruppe herkömmlich Bruchrechenaufgaben lösten. Um die Unterschiede der zwei Untersuchungsgruppen der Gesamtevaluation zu testen, wurde ebenfalls eine MANCOVA mit Messwiederholung gerechnet. Diese verglich die Gruppen *herkömmliches Bearbeiten* und *Bearbeitung mit Hilfe der Pro-Lamp und des Smart-Pens*.

In einer MANCOVA mit Messwiederholung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in den Veränderungen der intrinsischen Werte, der Kompetenzüberzeugungen oder der Prüfungsangst zwischen den beiden Gruppen unter Kontrolle der letzten Klausur- und Zeugnisnote in Mathematik über die zwei Messzeitpunkte hinweg ($F(5, 62) = 1.291, p = .279$, partielles $\eta^2 = .094$, Wilk's $\Lambda = .906$). Die Effektstärke weist jedoch auf einen mittleren Effekt der Gruppenzugehörigkeit zugunsten der Experimentalgruppe hin. Dies wird durch die Evaluationsfragen bestätigt. Es gaben $n = 29$ SuS der Experimentalgruppe in den Evaluationsfragen an, das Lernsystem motivierend zu finden. Auch die weitere Auswertung der Evaluationsfragen fiel positiv aus: 72.2 % ($N = 26$) stimmten der Aussage voll oder eher zu, das Lernsystem im Alltag benutzen zu wollen (44.9 %, $N = 15$ für den Stift). Nur 8.6 % ($N = 3$) stimmten der Aussage voll oder eher zu, dass der Stift zu schwer war. Auf die offene Frage, wobei das Lernsystem am meisten helfen kann, wurde angegeben, wenn man Hilfe braucht ($N = 9$; z.B. „Es gibt Hilfestellungen, die einem helfen können.“), in spezifischen Situationen ($N = 6$; z.B. „Wenn ich was Neues lerne“), beim Lernen ($N = 4$), beim Verständnis ($N = 4$; „Ich glaube das Lernsystem kann mir erklären was ich nicht verstanden habe“), beim Kontrollieren ($N = 3$), beim Spaß ($N = 3$), beim Konzentrieren ($N = 2$), bei der Motivation ($N = 2$; z.B. „Es hat mir viel Motivation gegeben“), dass es mit einem interagiert ($N = 1$), beim Selbstvertrauen ($N = 1$, z.B. „Es hat mir viel Selbstvertrauen geschenkt“) und gegen Aufregung ($N = 1$). Als spezifische Verbesserungsvorschläge wurden angegeben, dass der Stift noch zu sensitiv sei, und damit teils falsch reagierte und der Avatar teils zu lange gesprochen hat. Auf die Frage, warum man das Lernsystem weiter benutzen würde, gab es folgende Antwortkategorien: Weil es geholfen hat ($N = 10$), weil es Spaß gemacht hat ($N = 7$), weil es interessant und toll ist ($N = 3$), weil man sich nicht alleine oder besser fühlt ($N = 2$), weil es Abwechslung bietet ($N = 2$), weil man weniger aufgeregt ist ($N = 1$), weil es praktisch ist ($N = 1$) und weil es schnelle Rückmeldung gibt ($N = 1$). Nicht weiter

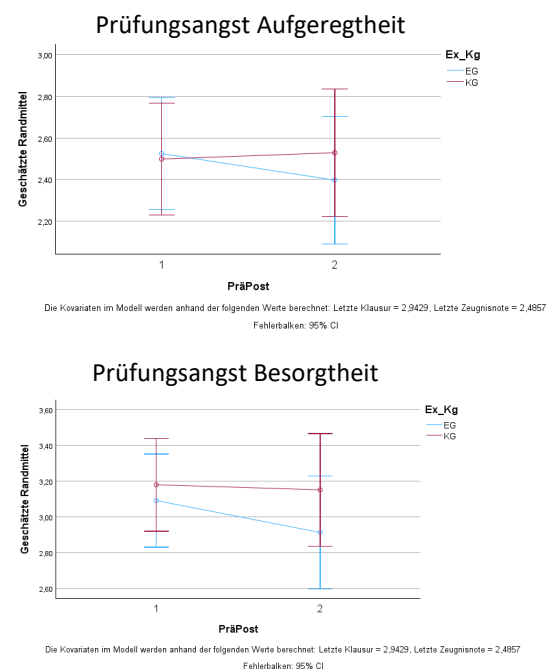
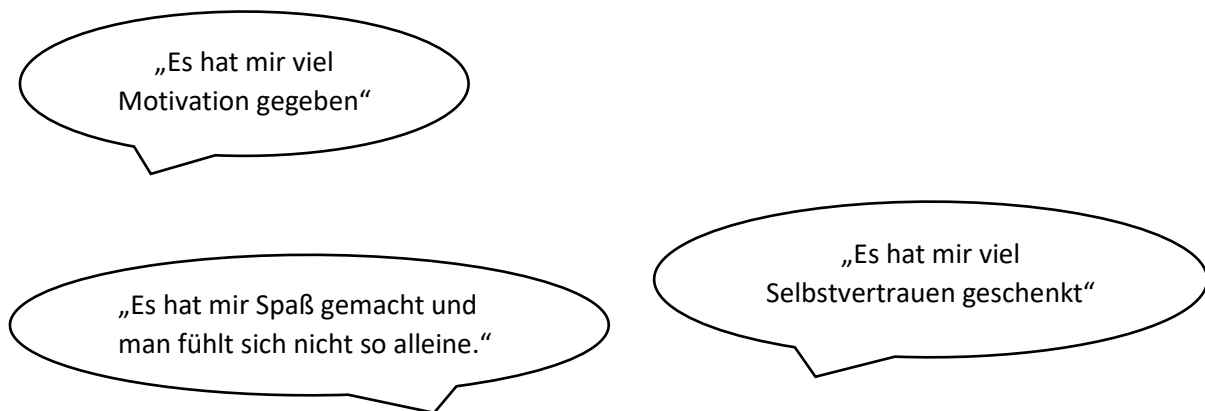


Abbildung 6: Veränderung der Prüfungsängstlichkeit. Die Veränderungen der Prüfungsängstlichkeit in den Facetten Aufgeregtheit und Besorgtheit war nicht signifikant. Deskriptiv zeigen sich Veränderungen zugunsten der Experimentalgruppe.

nutzen würden es die SuS, weil es zu aufwendig zu bedienen ist ($N = 1$), der Avatar komisch ist ($N = 1$), und man ohne es besser rechnen kann ($N = 1$).



4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses und der Erfahrungen,

Die Ergebnisse des Gesamtprojektes zeigen, dass Lernende bereit sind, digitale Lerngelegenheiten in den Schulalltag zu integrieren. Ferner wurde an den Rückmeldungen deutlich, dass die Lernenden diese Lernmethoden interessant und motivierend erleben. Damit ebnet diese Studie den Weg für eine nachhaltige Integration digitaler und gamifizierter AR-Lernumgebungen im schulischen Kontext. Zwar konnte aufgrund der teilweise zu geringen Stichprobenumfänge statistisch abgesichert gezeigt werden, dass sie die Motivation und die Leistung der SuS fördern können, jedoch, dass sie das Potenzial besitzen, individuelle Lernprozesse gezielt zu unterstützen und zu differenzieren. Die positiven Rückmeldungen und die hohe Akzeptanz unterstreichen, dass AR-Lernmethoden einen wertvollen Beitrag zur Weiterentwicklung zeitgemäßer Unterrichtsformen leisten können. Damit liefert das Projekt wichtige Impulse für die zukünftige Gestaltung von Lernsettings, in denen AR-Tools als Bestandteil des schulischen Alltags genutzt werden. Ein großer Vorteil von AR wird hier darin gesehen, dass sich herkömmliche Methoden des Unterrichts (z.B. Schreiben auf Papier) mit neuen Technologien verbinden lassen.

5. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Die Lernumgebungen in der erweiterten Realität ermöglichen es, die wahrgenommene Realität mit virtuellen Objekten und Informationen zu überlagern. Dadurch können Lerninhalte anschaulich dargestellt und durch entsprechende Hilfestellungen ergänzt werden. Hierbei kommen häufig Ankerbasierte Ansätze zum Einsatz, die bereits Mitte der Neunziger Jahre vorgeschlagen wurden (Rose et al., 1995). In vielen Arbeiten, die sich mit Lernumgebungen in der erweiterten Realität beschäftigen, werden neue Visualisierungen der behandelten Themen, z.B. dreidimensionale Objekte oder Inhalte, gezeigt. Zum Beispiel durch Ergänzung von Videos (Buchner & Zumbach, 2018), im klassischen Unterricht durch Erweitern von Schulbüchern mit dreidimensionalen Objekten (Cubillo et al., 2014) oder in naturwissenschaftlichen Experimenten durch neue Interaktionsformen (Projekt Be-greifen). Für spezielle Anwendungsfälle wurden in diesem Zusammenhang bereits erste Untersuchungen durchgeführt, beispielsweise zur Unterstützung von SuS mit Dyslexie (Rega & Mennitto, 2017). Hier wird ausgenutzt, dass die erweiterte Realität gezielt einzelne Wörter visuell verändern kann. Ein vertrautes Eingabemedium, dass bereits im Zusammenspiel mit der erweiterten Realität untersucht

worden ist, ist die Stifteingabe. Häufig wird der Stift dabei mit einem Tablet oder einer speziellen Oberfläche verwendet, um die Eingabe präzise zu erkennen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass, beispielsweise, schreiben auf einer Tabletoberfläche deutlich schwieriger ist als auf Papier (Gerth et al., 2016). Spezielle Oberflächen, wie sie zum Beispiel in Zeichenpads verwendet werden oder zusätzliche Folien, können die Schreibqualität verbessern. Zudem gibt es auch kommerzielle Stifte, die für diesen Anwendungsfall konstruiert worden sind (z.B. den LAMY AL-star black EMR). Es bleibt jedoch der Nachteil, dass diese Stifte sich nicht auf beliebigen Oberflächen nutzen lassen, so dass vorhandene Lernmaterialien entsprechend angepasst werden müssen.

Zur Evaluation wurden neben eigens erstellten Fragen folgende Skalen herangezogen:

- Skalen zur Erfassung des schulischen Selbstkonzepts (SESSKO; Schöne, C.; Dickhäuser, O.; Spinath, B.; Stiensmeier-Pelster, J. (2002)

- Skala zur Erfassung subjektiver schulischer Werte (SESSW; Steinmayr & Spinath, 2010)

Bei den Befragungen der Kinder wurde darauf geachtet, dass jedes Kind eine Einverständniserklärung eines Erziehungsberechtigten abgegeben hatte. Die Daten wurden nach Datenschutzvorgaben verarbeitet und gespeichert.

6. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.

- Buchner, J., & Zumbach, J. (2018). Promoting Intrinsic Motivation with a Mobile Augmented Reality Learning Environment. In I.A. Sanchez & p: Isaias (Eds.), *Proceedings of the 14th International Conference Mobile Learning 2018* (pp. 55-61). Lisbon, Portugal: iadis.
- Bergold, Sebastian, & Steinmayr, R. (2016). The relation over time between achievement motivation and intelligence in young elementary school children: A latent cross-lagged analysis. *Contemporary Educational Psychology*, 46, 228-240. doi: 10.1016/j.cedpsych.2016.06.005
- Cubillo, J., Martín, S., Castro, M., Diaz, G., Colmenar, A., & Botički, I. (2019). A learning environment for augmented reality mobile learning. In *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE 2014): Madrid, Spain, 22 - 25 October 2014* (pp. 1–8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2014.7044039>
- Domitrovich, C. E., Bradshaw, C. P., Poduska, J. M., Hoagwood, K., Buckley, J. A., Olin, S., Romanelli, L. H., Leaf, P. J., Greenberg, M. T., & Jalongo, N. S. (2008). Maximizing the Implementation Quality of Evidence-Based Preventive Interventions in Schools: A Conceptual Framework. *Advances in school mental health promotion*, 1(3), S. 6–28.
- Fitria, T. N. (2022). The impact of gamification on students' motivation: A Systematic Literature Review. *LingTera*, 9(2), 47–61. <https://doi.org/10.21831/lt.v9i2.56616>
- Fixsen, D. L., Blase, K. A., Naoom, S. F., & Wallace, F. (2009). Core Implementation Components. *Research on Social Work Practice*, 19(5), S. 531-540. <https://doi.org/10.1177/1049731509335549>
- Gerth, S., Klassert, A., Dolk, T., Fliesser, M., Fischer, M. H., Nottbusch, G., & Festman, J. (2016). Is Handwriting Performance Affected by the Writing Surface? Comparing Preschoolers', Second Graders', and Adults' Writing Performance on a Tablet vs. Paper. *Frontiers in Psychology*, 7, 1308. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01308>

- Hallfors, D., & Godette, D. (2002). Will the 'principles of effectiveness' improve prevention practice? Early findings from a diffusion study. *Health Education Research*, 17(4), 461–470. <https://doi.org/10.1093/her/17.4.461>
- Holman, D., Vertegaal, R., Altosaar, M., Troje, N., & Johns, D. (2005). Paper windows. In G. van der Veer (Ed.), *ACM Conferences, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 591–599). ACM. <https://doi.org/10.1145/1054972.1055054>
- Lumsden, J., Edwards, E. A., Lawrence, N. S., Coyle, D., & Munafò, M. R. (2016). Gamification of Cognitive Assessment and Cognitive Training: A Systematic Review of Applications and Efficacy. *JMIR Serious Games*, 4(2), e11. <https://doi.org/10.2196/games.5888>
- Li, Y., Yang, N., Zhang, Y., Xu, W., & Cai, L. (2021). The Relationship Among Trait Mindfulness, Attention, and Working Memory in Junior School Students Under Different Stressful Situations. *Frontiers in Psychology*, 12, 558690. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.558690>
- Lorenz, R., Frey, A., Trendtel, M., Ludewig, U., Schilcher, A. & McElvany, N. (2023). Ziele, Design, Instrumente und Durchführung der Internationalen Grundschul-Lese-Untersuchung (IGLU 2021). In N. McElvany, R. Lorenz, A. Frey, F. Goldhammer, A. Schilcher & T.C. Stubbe (Hrsg.), *IGLU 2021 - Lesekompetenz von Grundschulkindern im internationalen Vergleich und im Trend über 20 Jahre* (S. 27-52). Münster: Waxmann Verlag.
- Pekrun, R. (2017): Achievement emotions. Emotions in late modernity, 142. In: Sundararaman, D. (2020): *Doodle away: Exploring the effects of doodling on recall ability of high school students*. *International Journal of Psychological Studies*, 12(2), S. 31-44.
- Schöne, C.; Dickhäuser, O.; Spinath, B.; Stiensmeier-Pelster, J. (2002). Skalen zur Erfassung des schulischen Selbstkonzepts (SESSKO). Göttingen: Hogrefe
- Rega, A., & Mennitto, A. (2017). Augmented reality as an Educational and Rehabilitation Support for Developmental Dyslexia. In L. Gómez Chova, A. López Martínez, & I. Candel Torres (Eds.), *ICERI Proceedings, ICERI2017 Proceedings* (pp. 6969–6972). IATED. <https://doi.org/10.21125/iceri.2017.1828>
- Ritzhaupt, A. D., Huang, R., Sommer, M., Zhu, J., Stephen, A., Valle, N., Hampton, J., & Li, J. (2021). A meta-analysis on the influence of gamification in formal educational settings on affective and behavioral outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 69(5), 2493–2522. <https://www.jstor.org/stable/27285828>
- Rose, E., Breen, D., Ahlers, K. H., Crampton, C., Tuceryan, M., Whitaker, R., & Greer, D. (1995). Annotating real-world objects using augmented reality. In *Computer graphics* (pp. 357-370). Academic Press.
- Schaumburg, Heike. 2021. Personalisiertes Lernen mit digitalen Medien als Herausforderung für die Schulentwicklung. Ein systematischer Forschungsüberblick. *MedienPädagogik* 41, (Inklusive digitale Bildung), 134–166. <https://doi.org/10.21240/mpaed/41/2021.02.24.X>
- Snow, R. E. (1992). Aptitude theory: Yesterday, today, and tomorrow. *Educational psychologist*, 27(1), 5-32.
- Spinath, B., & Steinmayr, R. (2012). The roles of competence beliefs and goal orientations for change in intrinsic motivation. *Journal of Educational Psychology*, 104(4), 1135–1148. <https://doi.org/10.1037/a0028115>

- Steinmayr, R., Lazarides, R., Weidinger, A. F., & Christiansen, H. (2021). Teaching and learning during the first COVID-19 school lockdown: Realization and associations with parent-perceived students' academic outcomes. *Zeitschrift Für Pädagogische Psychologie*, 35(2-3), 85–106. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000306>
- Steinmayr, R., & Spinath, B. (2010). Konstruktion und erste Validierung einer Skala zur Erfassung subjektiver schulischer Werte (SESSW). *Diagnostica*, 56(4), 195–211. <https://doi.org/10.1026/0012-1924/a000023>
- Weidinger, A.F., Spinath, B., & Steinmayr, R. (2016). Why does intrinsic motivation decline following negative feedback? The mediating role of ability self-concept and its moderation by goal orientations. *Learning and Individual Differences*, 47, 117-128. doi: 10.1016/j.lindif.2016.01.003
- Weiser, M., & Brown, J. S. (1997). The coming age of calm technology. In *Beyond calculation* (pp. 75-85). Springer, New York, NY.

7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Die TU-Dortmund plante die Vorstudien zur Stiftnutzung und führte diese mit Hilfe der Projektpartner aus Essen, Freiburg und den Weltenmachern durch. Die Projektpartner stellten die Technik zu Verfügung und kümmerten sich um diese, während die TU-Dortmund mit einer Ausnahme die Befragung organisierte, die Durchführungen leitete und an der Auswertung der Ergebnisse beteiligt war.

Bei der Durchführung der *IndiLearn*-Studie und der Gesamtevaluation war die TU-Dortmund federführend in den Absprachen der Projektpartner. Insbesondere die Einhaltung der projektinternen Fristen sowie die Fertigstellung und Inbetriebnahme des Gesamtsystems lagen in der Hand der TU-Dortmund. Die Absprachen mit den Schulen, die Betreuung der Studie während der Durchführung und die Auswertung der Befragungen lagen ebenso im Aufgabenbereich der TU-Dortmund.

Des Weiteren war die TU-Dortmund federführend für die Konzeption und Evaluation des Programms *IndiLearn* verantwortlich. Sie entwickelte die Idee der Studie, die Gamification-Ansätze, die Aufgabenauswahl und den Untersuchungsplan. Zudem lagen die Rekrutierung und Durchführung der Untersuchung vollständig in der Verantwortung der TU Dortmund.

Bei der Planung und Entwicklung des Gesamtsystems war die TU-Dortmund dahingehend beteiligt, dass sie Informationen zu Lehr-Lernprozessen und Didaktik beisteuerte. Dies beeinflusste beispielsweise den inhaltlichen Aufbau des Lernsystems, die technische Komplexität, die Rückmeldungen an die SuS und die Anpassung an eine Evaluation im Schulischen Umfeld. Auch bei der Endmontage der Geräte war die TU-Dortmund beteiligt. Die Rekrutierung und die Durchführung der Gesamtevaluation, in der die *Pro-Lamp* in Kombination mit dem Smart-Pen getestet wurde, lagen in den Händen der TU Dortmund. Für die Gesamtevaluation der *Pro-Lamp* in Kombination mit dem Smart-Pen zeigte sie sich ebenfalls verantwortlich.

II. Eingehende Darstellung

8. Erzielte Ergebnisse

Durch die Integration von Augmented Reality (AR) in den Unterricht eröffnen sich neue Möglichkeiten, Lerninhalte anschaulich, interaktiv und individualisiert zu vermitteln. AR-Technologien

erlauben es, abstrakte Konzepte durch visuelle und räumliche Darstellungen greifbar zu machen, was insbesondere im Mathematik- und naturwissenschaftlichen Unterricht zu einem besseren Verständnis beitragen kann. Darüber hinaus fördert AR die aktive Beteiligung der Lernenden, da sie direkt mit den digitalen Elementen interagieren können. Unsere qualitativen Ergebnisse zeigen, dass AR-gestützte Lernumgebungen die Motivation steigern und die Lernfreude erhöhen. Damit stellt AR eine zukunftsweisende Ergänzung traditioneller Unterrichtsmethoden dar.

AR fungiert als Brücke zwischen der analogen und der digitalen Welt im Klassenzimmer. Während traditionelle Lernmaterialien wie Bücher und Arbeitsblätter weiterhin genutzt werden, ergänzt AR diese durch digitale Informationen, Simulationen und interaktive Elemente. Dadurch können die Vorteile beider Welten optimal kombiniert werden: Die Haptik und Vertrautheit analoger Materialien bleiben erhalten, während gleichzeitig die Flexibilität und Vielfalt digitaler Ressourcen genutzt werden. Diese Schnittstellenfunktion ermöglicht es, Lernprozesse individuell zu gestalten und auf die Bedürfnisse der SuS einzugehen, ohne bewährte didaktische Prinzipien aufzugeben.

Die Evaluation der AR-Umgebung im Unterricht zeigte, dass die SuS die neuen Lernmöglichkeiten mit großer Begeisterung aufnahmen. In unseren Befragungen äußerten sie, dass das Lernen mit AR nicht nur spannender und abwechslungsreicher sei, sondern auch das Verständnis komplexer Inhalte erleichtere. Viele Kinder berichteten, dass sie sich durch die interaktiven Elemente stärker einbezogen fühlten und motivierter waren, Aufgaben zu bearbeiten. Die hohe Akzeptanz und das positive Echo der Lernenden zeigen, dass AR-gestützte Lernumgebungen nicht nur technisch umsetzbar, sondern auch pädagogisch sinnvoll und von der Zielgruppe gewünscht sind.

Interessanterweise wurden in der qualitativen Auswertung der Studie Effekte festgestellt, die über den eigentlichen Lernfortschritt hinausgehen. So berichteten mehrere SuS, dass sie sich durch die gemeinsame Arbeit mit AR weniger einsam fühlten und ihr Selbstvertrauen gestärkt wurde. Diese unerwarteten positiven Nebeneffekte unterstreichen das Potenzial von AR-Lernumgebungen, nicht nur fachliche, sondern auch psychosoziale Entwicklungsziele im Schulalltag zu unterstützen.

9. Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Uns sind während der Durchführung des Vorhabens keine Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen bekannt geworden.

10. Veröffentlichungen der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Vorstudien wurden auf einer Konferenz präsentiert und wurden als Artikel zur Begutachtung eingereicht. Darüber hinaus ist ein Paper als Konferenzbeitrag bereits angenommen worden und die Ergebnisse wurden teilweise in einem Buchkapitel bereits veröffentlicht. Zu den Ergebnissen der zwei Hauptstudien sind zwei Veröffentlichungen geplant. Da die Power für *IndiLearn* nicht ausgereicht hat, sollen hier noch Daten nacherhoben werden. Die Ergebnisse der Gesamtstudie sollen als Erfahrungsbericht und unter Berücksichtigung der Ergebnisse zur Evaluation veröffentlicht werden. Im Rahmen des FederLeicht-Projekts findet eine Promotion statt, es wurden zwei qualifizierende Abschlussarbeiten an der TU-Dortmund geschrieben und eine dritte Abschlussarbeit befindet sich derzeit in der Bearbeitung.

Angenommene Veröffentlichungen:

Uhl, A., Wittig, N., Saphala, A., Schlorke, N., Prison, C., Kantzow, B., Evers-Wölk, M., Jürgens, R., Schmitz, M., Steinmayr, R., Amft, O., & Schneegass, S. (akzeptiert). FederLeicht – Lernen mit intelligentem Stift in der erweiterten Realität. In H. Wiesner, J. Tröge, J. Stepczynski & C. Runde (Hrsg.), *Living Lab – XR-Interakt.*

Wittig, N., Schlorke, N., Heger, R., Wettig, T., Koelle, M., Gruenefeld, U., Goedicke, D., Degraen, D., Steinmayr, R. & Schneegass, S. (2025). You ARE Correct! Comparing Augmented Reality Displays for Individual Feedback in Classroom Settings. *Proceedings of the 24th Interaction Design and Children* (pp. 622–635): Association for Computing Machinery.

Eingereichte Veröffentlichung:

Schlorke, N., Paschke, P. & Steinmayr, R. (eingereicht). Simple tools need no training – A study using an App based Numerical Fluency Training.

Geplante Veröffentlichung:

Jürgens, R.D., Schmitz, M., Wittig, N., Schneegaß, S., Saphala, A., Prison, C., Cerda, L.F., Amft, O., Kantzow, B. & Steinmayr, R. (in preparation). AR meets learning in school – How do students evaluate an integrative system using AR supporting them in math?

Schmitz, M., Jürgens, R.D., Wittig, N., Schneegaß, S., Schlorke, N. & Steinmayr, R. (in preparation). Individualization and/or gamification – What makes the difference in motivation and achievement?

Qualifikationsarbeiten:

Can, D.G. (2024). Mikro-Intervention zur Reduktion von Langeweile: Auswirkungen auf Nützlichkeitswahrnehmung und Lernerfolg. Dortmund: Unveröffentlichte Bachelorarbeit.

Karaca, M.S. (2025). Validierung des IndiLearn-Lernprogramms hinsichtlich motivationaler Faktoren. Dortmund: Unveröffentlichte Bachelorarbeit (nb).

Lokuge, M. (in preparation). Spielend lernen: Eine Untersuchung der Effekte von Gamification auf Motivation und Schulleistung in der Bruchrechnung. Dortmund: Unveröffentlichte Bachelorarbeit.