

Research-Based Report of Practice

Entwicklung und Beforschung einer Lehrveranstaltung zu Physical Computing mit Arduino in der mathematisch-naturwissenschaftlichen Lehramtsausbildung

Angelika Bernsteiner¹, Claudia Haagen-Schützenhöfer¹, Philipp Spitzer¹, Thomas Schubatzky²

Received: December 2022 / Accepted: June 2023

Structured Abstract

Hintergrund: Im Zeitalter des digitalen gesellschaftlichen Wandels bedarf es Lehrkräfte, die Schüler:innen umfassende digitale Kompetenzen vermitteln können. Die auf empirischen Befunden und theoretischen Grundlagen beruhende Entwicklung von Lernangeboten mit Bezug zu digitalen Medien für angehende Lehrkräfte ist demnach von hoher Relevanz.

Ziel: Dieser Beitrag stellt die Forschungs- und Entwicklungsschritte dar, die zum Design einer Lehrveranstaltung führten, insbesondere zu einer Moodle-basierten Lernumgebung als Einstieg in die Arbeit mit Arduino. Es wird die Frage beantwortet, inwieweit eine entlang von Design-Kriterien entwickelte Moodle-Lernumgebung den Bedürfnissen von Lehramtsstudierenden der Fächer Biologie, Chemie, Mathematik und Physik entspricht.

Stichprobe/Rahmen: Mit 7 Studierenden mathematisch-naturwissenschaftlicher Lehramtsstudien wurden Lernprozessstudien in Form von Akzeptanzbefragungen zu den Inhalten einer Moodle-Lernumgebung durchgeführt.

Design und Methoden: Die Entwicklung und Beforschung der Lehrveranstaltung erfolgt iterativ im Paradigma des Design-Based Research: (1) Vorerhebungen: Curricula-Analyse und Befragungen, (2) Charakterisierung der Problemstellung (3) Formulierung von theoriegeleiteten Design-Kriterien, (4) Design der Lerngelegenheiten (Moodle-Lernumgebung), (5) Akzeptanzbefragungen zur Moodle-Lernumgebung, (6) Ausschärfung der Design-Kriterien, (7) Ableitung von Beiträgen zu lokalen Lehr-Lern-Theorien, (8) Re-Design der Lerngelegenheiten

Ergebnisse: Im Rahmen der Akzeptanzbefragungen zur digitalen Lernumgebung konnten die Studierenden, die für die Umsetzung der digitalen Messwerterfassung mit Arduino relevanten Inhalte paraphrasieren. Alle Studierenden äußerten jedoch insbesondere Probleme bei der Bearbeitung komplexerer Praxisanwendungen von Physical Computing mit Arduino.

Fazit: Studierende benötigen für die Umsetzung von Physical Computing mit Arduino Scaffolds auf Makro- und Mikroebene. Die Arbeit mit einer Moodle-basierten Lernumgebung eignet sich zur Aneignung theoretischer Kenntnisse im Kontext der digitalen Messwerterfassung mit Arduino, scheint jedoch weniger passend für die Vermittlung praktischer Fertigkeiten in diesem Bereich zu sein.

Keywords: *Akzeptanzbefragung, Design-Based Research, Lehramtsausbildung, digitale Messwerterfassung*

Developing and researching a course on physical computing with Arduino in mathematics and science teacher education

Structured Abstract

Background: In the age of digital social change, teachers are needed who can provide students with comprehensive digital competences. The development of learning opportunities with reference to digital media for future teachers, based on empirical findings and theoretical foundations, is therefore highly relevant.

Purpose: This article presents the research and development steps which led to the design of a teaching course, in particular to a Moodle-based learning environment as an introduction to working with Arduino. It answers to what extent a Moodle learning environment developed along design criteria meets the needs of student teachers of biology, chemistry, mathematics and physics.

¹University of Graz, ²University of Innsbruck
✉ angelika.bersteiner@uni-graz.at



Sample/setting: Learning process studies in form of acceptance surveys on the contents of a Moodle learning environment were conducted with 7 students of mathematics and science teacher training studies.

Design and Methods: The development and research of the course is carried out iteratively in the paradigm of design-based research: (1) preliminary surveys, (2) characterisation of the problem, (3) formulation of theory-based design criteria, (4) design of the learning opportunities (Moodle learning environment), (5) acceptance survey of the Moodle learning environment, (6) refinement of the design criteria, (7) derivation of local teaching-learning theories, (8) re-design of the learning opportunities

Results: During the acceptance surveys on the digital learning environment, the students were able to paraphrase the contents relevant to the implementation of digital measurement acquisition. However, all students expressed problems in particular when working on more complex practical applications of physical computing with Arduino.

Conclusions: Students need scaffolds at macro and micro level for the implementation of physical computing with Arduino. Working with a Moodle-based learning environment is suitable for acquiring theoretical knowledge in the context of digital data acquisition with Arduino, but seems less suitable for teaching practical skills in this area.

Keywords: *Acceptance survey, design-based research, teacher training, digital data acquisition*

1 Einleitung

Digitale Transformationsprozesse in unterschiedlichsten Bereichen der Gesellschaft führen zu einem kulturellen Wandel hin zu einer neuen Kultur der Digitalität (Stalder, 2016), in der Digitales Teil der alltäglichen Lebenswelt ist und nicht mehr als etwas Besonderes wahrgenommen wird (Floridi, 2017). Dieser digitale Wandel der Gesellschaft bringt auch für den Bildungsbereich neue Chancen und Herausforderungen mit sich: Der sinnvolle Einsatz und die Thematisierung digitaler Medien im Unterricht können neue Möglichkeiten für Lehr-Lern-Prozesse eröffnen. Nach Döbeli Honegger (2016) kann durch den Einsatz und das Thematisieren digitaler Medien im Unterricht gut an die Lebenswelt und den Alltag von Schüler:innen angeknüpft werden. Ausserdem können Lernprozesse gefördert und effizienter gestaltet werden (Döbeli Honegger, 2016). Daneben gilt es als Herausforderung des Bildungsbereichs, Schüler:innen Kompetenzen im Bereich digitaler Medien zu vermitteln, gelten doch digitale Kompetenzen neben Lesen und Schreiben als neue Kulturtechniken in der Gesellschaft des digitalen Wandels (Döbeli Honegger, 2016; Stalder, 2021), die am Arbeitsmarkt immer stärker gefordert werden (Goulart et al., 2022). Um sich in der Flut an häufig ungefilterten Informationen zurechtzufinden, bzw. ganz allgemein selbstbestimmt und kritisch-reflektiert den Herausforderungen des digitalen Zeitalters entgegen zu treten, benötigen Schüler:innen umfangreiche digitale Kompetenzen, wie die Fähigkeit zur Reflexion, Analyse, Nutzung und Gestaltung digitaler Medien (Brinda et al., 2020; Irion et al., 2023). Einerseits ist es wichtig, dass Schüler:innen digitale Medien als Werkzeuge verwenden können und über das dazu nötige Anwendungswissen verfügen. Andererseits ist für die Verwendung digitaler Tools auch Hintergrundwissen über digitale Medien erforderlich, um beispielsweise technische Probleme lösen, den Datenschutzangelegenheiten gerecht werden oder Beeinflussungen durch Algorithmen kritisch reflektieren zu können (Bastian, 2017; Brinda et al., 2020; Gokus et al., 2019; Irion et al., 2023; Stalder, 2021). Es bedarf qualifizierter Lehrkräfte, die Schüler:innen im Schulunterricht auf Aspekte des digitalen Wandels vorbereiten und Lerngelegenheiten zur Förderung digitaler Kompetenzen bieten, die von der Reflexion über in sozialen Netzwerken kursierenden ungefilterten Informationen über die Analyse der Funktionsweise von Algorithmen und das selbstständige Programmieren solcher, bis hin zum Einsatz von Sensoren zur digitalen Messwerterfassung und der Darstellung und Präsentation von Erkenntnissen, reichen (Bastian, 2017; Becker et al., 2020; Kultusminister Konferenz, 2016; Petko et al., 2018).

Im an der «Universität Graz» angesiedelten Projekt «Professionalisierung für die Digitale Transformation (ProDigiTrans)» (Teilprojekt des österreichischen Kooperationsprojekts «Teaching Digital Thinking») wird das Ziel verfolgt, angehende Lehrkräfte hinsichtlich des reflektierten Medieneinsatzes und der Thematisierung der Bedeutung digitaler Medien für den Alltag der Schüler:innen im Unterricht zu professionalisieren. Die Studierenden sollen ihren zukünftigen Fachunterricht durch das Aufgreifen der neuen Möglichkeiten, die digitale Medien eröffnen, auf den Ebenen der Unterrichtsorganisation, der Vermittlung von Fachinhalten und der Förderung digitaler Kompetenzen von Schüler:innen positiv verändern, digital transformieren können (Castro Benavides et al., 2020; Matriano, 2023; Ordóñez, 2022). Dazu wird ein Lehrveranstaltungsformat für Studierende mathematisch-naturwissenschaftlicher (math.-nawi.) Lehramtsstudien im Paradigma des Design-Based Research (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020) entwickelt und beforscht. Während es Lehrkonzepte zum pädagogisch und didaktisch sinnvollen Einsatz digitaler Medien gibt (Beniermann et al., 2021; Grafe & Bucher, 2018; Holländer et al., 2021; Huwer et al., 2020; Kastaun & Meier, 2020; Kotzebue & Fleischer, 2020; Krause & Eilks, 2020; Kurth & Wodzinski, 2018; Schanze et al., 2020; Weiler et al., 2021), besteht noch eine Lücke im Bereich der Entwicklung und Beforschung von Lernangeboten zum Einsatz digitaler Medien im Sinne eines digital transformierten Fachunterrichts (acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften & Joachim Herz Stiftung, 2022). Im Projekt «ProDigiTrans» wird deshalb der Fokus insbesondere auf die Professionalisierung angehender Lehrkräfte für den digital transformierten (Castro Benavides et al., 2020; Matriano, 2023) Einsatz digitaler Medien gelegt. Dazu wurden auf Basis von Vorerhebungen (Abschnitt 4) die beiden inhaltlichen Schwerpunkte „Digitale Messwerterfassung mit Arduino“ (Teil 1 der Lehrveranstaltung) und „Umgang mit Falschinformationen“ (Teil 2 der Lehrveranstaltung) für die Lehrveranstaltung abgeleitet. Mit der Bearbeitung und Thematisierung dieser beiden Schwerpunkte wird das übergeordnete Ziel verfolgt, angehenden Lehrkräften ein Verständnis für digital

transformierten Fachunterricht zu vermitteln. Im Kontext der COVID-19-Pandemie werden im ersten Teil der Lehrveranstaltung Lernangebote zur pädagogisch und didaktisch sinnvollen Umsetzung eines Physical Computing Projekts mit Arduino geboten. Studierende bearbeiten mit Arduino und Sensoren Untersuchungsfragen zur Funktionsweise von FFP2-Schutzmasken. Dabei wird insbesondere auf Möglichkeiten des Einsatzes von Arduino im Unterricht eingegangen und über dafür adäquate Unterrichtsmethoden diskutiert.

Dieser Beitrag stellt die auf empirische Befunde und theoretische Grundlagen begründeten Design-Entscheidungen zur Entwicklung des ersten Teils dieses Lehrveranstaltungsformates mit dem Schwerpunkt digitale Messwerterfassung mit Arduino vor. Insbesondere wird auf die Entwicklung einer Moodle-Lernumgebung eingegangen. Diese digitale Lernumgebung wurde vor dem Hintergrund, der in Abschnitt 4 dieses Artikels beschriebenen Heterogenität der Studierenden hinsichtlich ihrer Vorerfahrung im Bereich der digitale Messwerterfassung konzipiert.

Die nachfolgenden Abschnitte 2 und 3 dieses Artikels beschreiben die theoretischen und methodologischen Grundlagen, die dem Design der einzelnen Lerngelegenheiten zur digitalen Messwerterfassung mit Arduino im Projekt «ProDi-giTrans» zugrunde liegen. In Abschnitt 4 wird die Problemstellung aus der Bildungspraxis charakterisiert, die den Ausgangspunkt für dieses Design-Based Research Projekt liefert. Das Design der einzelnen Lerngelegenheiten wird unter Punkt 5 vorgestellt. Die erste Erprobung der Lerngelegenheiten in Form von Akzeptanzbefragungen wird in Abschnitt 6 dargestellt. Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen und die daraus abgeleiteten Implikationen für das Lehrveranstaltungs-Design werden in Abschnitt 7 vorgestellt. In Abschnitt 8 wird ein kurzer Ausblick auf den weiteren Projektverlauf gegeben.

2 Professionalisierung von Lehrkräften für die Umsetzung digital transformierten Unterrichts

Digitalisierung von Daten, also das Überführen von analogen Informationen in ein digitales Format (Harwardt, 2019), bringt großes Potential für verschiedenste Bereiche und damit auch für den Bildungsbereich mit sich. Greift man die vielen neuen Möglichkeiten auf, die sich durch das digitale Format von Daten und Prozessen ergeben, können auch Abläufe im schulischen Kontext neu gedacht, der Mehrwert des Digitalen für die Weiterentwicklung fachlicher Lehr-Lern-Prozesse genutzt und Schüler:innen auf die Teilhabe an der sich immer stärker in Richtung Digitalität entwickelnden Gesellschaft vorbereitet werden (Castro Benavides et al., 2020; Harwardt, 2019; Kamsker et al., 2020; Matriano, 2023). Neue Denkmuster können entstehen und innovative Herangehensweisen an Probleme können sich entwickeln (Castro Benavides et al., 2020; Heuermann, 2018). Solch intensive, aus der Digitalisierung hervorgehende Wandlungsprozesse bestehender Muster und Abläufe zur Verbesserung von Strukturen und zur Anpassung von Prozessen an neue Gegebenheiten, werden als digitale Transformationsprozesse verstanden (Castro Benavides et al., 2020; Gokus et al., 2019; Harwardt, 2019; Ordóñez, 2022; Pettersson, 2021).

In vielen gesellschaftlichen Bereichen und in Teilen der Arbeitswelt haben sich bereits neue Denkmuster, angepasst an die Digitalisierung, entwickelt. Digitale Transformation findet statt. Im Bereich der Bildung zeigt sich jedoch, dass analoge Materialien und Prozesse zwar digitalisiert werden, neue Denkweisen im Sinne eines Methodenwechsels und einer Veränderung des Verständnisses von Lehr-Lernprozessen noch nicht Einzug in die Klassenzimmer gefunden haben (acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften & Joachim Herz Stiftung, 2022). Digitale Transformation findet hier noch kaum statt.

Zur Umsetzung digital transformierten Unterrichts an Schulen sind eine entsprechende flächendeckende Infrastruktur mit beispielsweise gut funktionierendem WLAN sowie eine ansprechende technische Ausstattung von Schulen, Schüler:innen und Lehrkräften mit Geräten und Softwarelizenzen notwendig (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2020b). Darüber hinaus bedarf es Lehrkräfte, die mit einer solchen technischen Ausstattung, neuen digitalen Tools und Software umgehen, diese pädagogisch und didaktisch sinnvoll in den Unterricht integrieren sowie auf Aspekte des digitalen Wandels eingehen können (acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften & Joachim Herz Stiftung, 2022; Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2020b; Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture [European Commission], 2019; Mishra & Koehler, 2006; Petko et al., 2018; Redecker, 2017).

Lehrkräfte benötigen somit einerseits Anwendungswissen, um digitale Medien im Unterricht einsetzen zu können, technisches Hintergrundwissen, um beispielsweise auftretende technische Probleme lösen zu können, sowie ein Verständnis für den digitalen Wandel und die damit einhergehenden Chancen und Herausforderungen (Brinda et al., 2020; Döbeli Honegger, 2021a; Gesellschaft für Informatik e.V., 2016; Huwer et al., 2019; Mishra & Koehler, 2006). Im Rahmen des ersten Teils der Lehrveranstaltung mit dem Schwerpunkt digitale Messwerterfassung werden Kompetenzen aus all diesen drei beschriebenen Bereichen an die Studierenden adressiert. Die konkreten Kompetenzziele und das Design der einzelnen Lerngelegenheiten werden in Abschnitt 5 dieses Artikels beschrieben.

Empirische Befunde zeigen, dass Lehrkräfte mathematisch-naturwissenschaftlicher Fächer und Lehramtsstudierende teilweise geringe Vorerfahrungen im Umgang mit fachspezifischen digitalen Medien vorweisen (Freese et al., 2021; Vogelsang et al., 2019; Weiler et al., 2022). Vogelsang und Kollegen zeigen außerdem, dass Studierende auch eine eher niedrige Selbstwirksamkeitserwartung hinsichtlich des Einsatzes digitaler Medien in den naturwissenschaftlichen Unterricht angeben (Vogelsang et al., 2019). Da die Lehramtsausbildung einen Einfluss auf den Umgang künftiger Lehr-

kräfte mit digitalen Medien im Unterricht hat, ist es besonders bedeutend, bereits im Lehramtsstudium Lerngelegenheiten zu bieten, die Kompetenzen aus den Bereichen Lehren und Lernen mit und über digitale(n) Medien sowie ein Verständnis für die Digitalität der Gesellschaft fördern (Drossel et al., 2019; Drossel & Eickelmann, 2018; Mahler & Arnold, 2017). Zur Orientierung im Bereich Professionalisierung von Lehrpersonen hinsichtlich der digitalen Transformation von Unterricht, wurde im internationalen Raum eine Vielzahl an Kompetenzmodellen und -rahmen entwickelt (Becker et al., 2020; Beißwenger et al., 2020; Brinda et al., 2019; Huwer et al., 2019; Mishra & Koehler, 2006; Redecker, 2017; Schneider, 2002). Diese unterscheiden sich neben ihrem Aufbau und ihren verschiedenartigen Interpretationen des Kompetenz- und Digitalitätsbegriffs, hinsichtlich ihrer Schwerpunktsetzung bezogen auf die formulierten Kompetenzen sowie durch ihre wissenschaftliche Validierung (Schmid & Petko, 2020). Digitale Transformationsprozesse, die Verwendung digitaler Medien als Werkzeuge und die Thematisierung digitaler Medien als Lerngegenstand sollen bereits in der Lehramtsausbildung aufgegriffen werden, sodass angehende Lehrkräfte digitale Medien in ihrem zukünftigen Unterricht umfassend einsetzen und thematisieren können (Hauck-Thum, 2021). Ein Modell zu finden, das fachspezifische digitale Kompetenzen für Lehrkräfte aus all diesen drei genannten Bereichen vollständig abbildet, stellt sich jedoch als schwierig dar (Beißwenger et al., 2020; Schmid & Petko, 2020).

Aus diesem Grund bietet es sich an, Kompetenzmodelle und -rahmen zur umfassenden Ausbildung von Lehrkräften für die Umsetzung eines digital transformierten Fachunterrichts zu kombinieren (Döbeli Honegger, 2021a). Für das vorliegende Projekt wurde zur Abbildung fachspezifischer digitaler Kompetenzen auf das Technological Pedagogical Content Knowledge Modell (TPACK) (Mishra & Koehler, 2006) zurückgegriffen. Für die Implementierung überfachlicher digitaler Kompetenzen wurden die Dagstuhl-Erklärung (Gesellschaft für Informatik e.V., 2016) und das Frankfurt-Dreieck (Brinda et al., 2019) als theoretische Rahmung herangezogen.

Das TPACK-Modell (Mishra & Koehler, 2006) legt den Fokus auf das notwendige Zusammenspiel technischer, pädagogischer, fachdidaktischer und fachlicher Kompetenzen für einen sinnvollen Einsatz digitaler Medien im Fachunterricht und ist somit als Erweiterung des Modells von Shulman (Shulman, 1986) um technologiebezogene Kompetenzen zu verstehen. Im TPACK-Modell werden allerdings digitalitätsbezogene Kompetenzen sowie das Verständnis für Digitalität nicht hinreichend aufgegriffen (Döbeli Honegger, 2021b; Huwer et al., 2019). Ein Hauptziel der Lehramtsausbildung soll es jedoch sein, die Entwicklung umfassender digitaler Kompetenzen zu fördern (Kultusminister Konferenz, 2016). Um dieser angeführten Limitation des TPACK-Modells entgegenzuwirken, können ergänzend die Dagstuhl-Erklärung (Gesellschaft für Informatik e.V., 2016) und deren Erweiterung, das Frankfurt-Dreieck (Brinda et al., 2019), als Rahmung hinsichtlich der zu adressierenden Kompetenzbereiche für die Lehramtsausbildung herangezogen werden (Döbeli Honegger, 2021a, 2021b). Diese beiden Modelle bilden Aspekte und Prozesse der Digitalität auf überfachlicher Ebene umfassend ab (Brinda et al., 2019; Gesellschaft für Informatik e.V., 2016). Die Kombination des TPACK-Modells (Mishra & Koehler, 2006) mit den Dimensionen der Dagstuhl-Erklärung (Gesellschaft für Informatik e.V., 2016) führt zum sogenannten DPACK-Modell (Digitalitätsbezogenes fachdidaktisches Inhaltswissen) (Döbeli Honegger, 2021a; Huwer et al., 2019). Im DPACK-Modell wird neben der Inhaltskompetenz und der Pädagogischen Kompetenz der Aspekt der Digitalitätskompetenz abgebildet (Abb. 1) (Döbeli Honegger, 2021a). Diese Digitalitätskompetenz stellt eine Erweiterung des Technological Knowledge des TPACK-Modells (Mishra & Koehler, 2006) um Aspekte der Digitalität dar (Döbeli Honegger, 2021a; Huwer et al., 2019). Der Bereich der Digitalitätskompetenz des DPACK-Modells wird durch die drei Dimensionen der Dagstuhl-Erklärung (Gesellschaft für Informatik e.V., 2016) „technologische Perspektive“, „gesellschaftlich-kulturelle Perspektive“ und „anwendungsorientierte Perspektive“ geprägt (Döbeli Honegger, 2021a). Diese beschriebene Erweiterung des TPACK-Modells um die Dimensionen der Dagstuhl-Erklärung (Gesellschaft für Informatik e.V., 2016) führt weg von einem rein anwendungsorientierten Verständnis digitaler Kompetenz, hin zu einem umfassenden digitalen Kompetenz-Verständnis (Döbeli Honegger, 2021a). Im vorliegenden Projekt wird zur Formulierung von Kompetenzzielen für die Lehrveranstaltung auf das DPACK-Modell als normative Grundlage zurückgegriffen. Dadurch kann sichergestellt werden, dass nicht bloß Lerngelegenheiten zur Entwicklung von Anwendungskompetenzen, sondern auch von Kompetenzen der Bereiche Lehren und Lernen über digitale Medien und Lehren und Lernen im Kontext der digitalen Transformation implementiert werden.

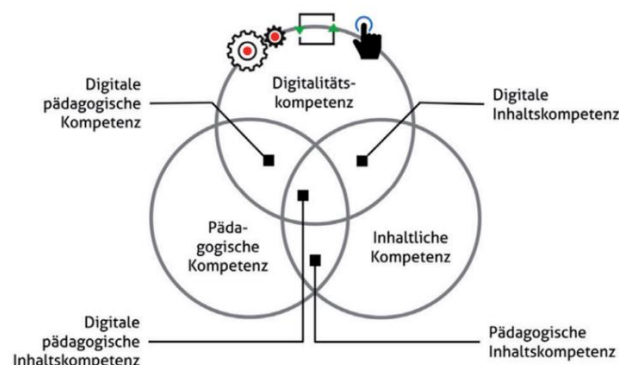


Abb. 1. DAPCK-Modell: Erweiterung des TPACK-Modells um die Dimensionen der Dagstuhl-Erklärung (Döbeli Honegger, 2021a, S. 417).

3 Methodologischer und theoretischer Rahmen

Die Entwicklung und Beforschung der Lehrveranstaltung zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte im Bereich digitale Medien erfolgt im Paradigma des Design-Based Research. Nachfolgend werden diese Methodologie sowie die für das Design der Lerngelegenheiten zur Arbeit mit Arduino herangezogenen theoretischen Grundlagen eingeführt.

3.1 Design-Based Research

Design-Based Research (DBR) gilt als methodisch angemessenes Format für die forschungsbasierte und iterative Entwicklung und Beforschung von Lehr-Lernangeboten (Burde, 2018; Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020; Rohrbach-Lochner, 2019; Sajons, 2020). Besonders dann, wenn es um die Implementierung technologischer Neuerungen geht, wird häufig auf Design-Based Research als Methodologie zurückgegriffen (Anderson & Shattuck, 2012). Mit Design-Based Research wird das Ziel verfolgt, die oftmals vorherrschende Polarität zwischen Erkenntnisgewinnung und Nutzen aufzulösen und sowohl gewinnbringende Resultate für die Wissenschaft als auch in der Bildungspraxis konkret umsetzbare Ergebnisse hervorzubringen. Da die im Rahmen fachdidaktischer Forschung gewonnenen Erkenntnisse den Weg in die Bildungspraxis häufig nicht finden (Reinmann & Sesink, 2011), soll durch dieses Paradigma eben dieser Wissens- und Erkenntnis-Transfer zwischen Wissenschaft und Praxis gewährleistet werden, indem Wissenschaft und Praxis in iterativen Prozessen (Design-Zyklen, Abb.2) eng miteinander verzahnt und sowohl Wissenschaftler:innen als auch Praktiker:innen in diese iterativen Forschungs- und Entwicklungsprozesse miteinbezogen werden (Barab, 2014; Reinmann, 2007). Basierend auf dem wissenschaftstheoretischen Modell von Stokes (1997) wird DBR als nutzenorientierte Grundlagenforschung definiert (Barab, 2014; Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020; Wilhelm et al., 2012). So bietet meist eine Problemstellung aus der Bildungspraxis den Ausgangspunkt für ein Design-Based Research Projekt (Design-Based Research Collective, 2003). Die Problemstellung, die dem in diesem Artikel vorgestellten Projekt zugrunde liegt, wird in Abschnitt 4 näher erläutert und aus Vorerhebungen und theoretischen Grundlagen hergeleitet. Neben der Bearbeitung von Interessen der Bildungspraxis wird im Rahmen eines DBR-Projektes gleichsam auch wissenschaftlichen Interessen nachgegangen und es werden lokale, auf die vorherrschenden Rahmenbedingungen und Kontexte bezogene, Erkenntnisse für die Wissenschaft generiert (Allert & Richter, 2011).

Auf Entwicklungsebene werden theoriegeleitet entlang von Design-Kriterien Lerngelegenheiten entwickelt und erprobt. Die Umsetzung des Designs der einzelnen Lernangebote wird dabei als Intervention bezeichnet. Design-Kriterien leiten die Handlungen im Zuge des iterativen Entwicklungsprozesses. Die für die Entwicklung der einzelnen Lerngelegenheiten formulierten Design-Kriterien ergeben sich aus sogenannten Design-Annahmen. Diese wiederum stellen theoriegestützte Aussagen über Lehr-Lernprozesse zum jeweiligen spezifischen Kontext dar (Richter & Allert, 2017; Scott et al., 2020). In Abschnitt 5.1. dieses Artikels werden die Design-Annahmen und Design-Kriterien vorgestellt, die für die Entwicklung der Lerngelegenheiten zur Arbeit mit Arduino-Mikrocontrollern als handlungsleitend galten. Insbesondere wird dabei auf die theoriegeleitete Entwicklung einer Moodle-Lernumgebung eingegangen. Für das bedarfsorientierte Re-Design der einzelnen Lerngelegenheiten werden die jeweiligen Entwicklungsschritte sowie auch die Interventionen beforscht. Bei der in diesem Artikel vorgestellten Intervention handelt es sich um die Erprobung des entlang von Design-Kriterien entwickelten Designs einer Moodle-Lernumgebung als Einstieg in die Arbeit mit Arduino-Mikrocontrollern. Die Erprobung fand in Form von Akzeptanzbefragungen (Abschnitt 6) statt.

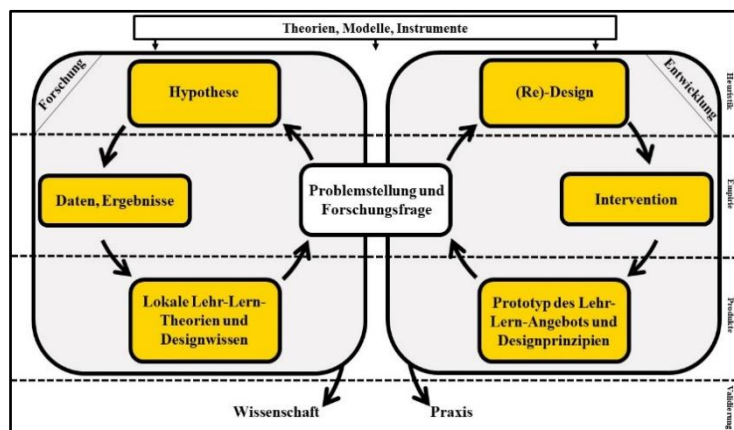


Abb. 2. Modell des Design-Based Research (erstellt nach Haagen-Schützenhöfer & Hopf (2020)).

Die Forschungsergebnisse eines Design-Zyklus gelten jeweils als Grundlage für die Weiterentwicklung der einzelnen Lerngelegenheiten. Design-Kriterien werden für weitere Design-Zyklen geschärft und gegebenenfalls erweitert. Diese systematische, auf empirische Erkenntnisse und theoretische Grundlagen beruhende Entwicklung von Lerngelegenheiten ist als ein Qualitätsstandard von Design-Based Research anzusehen (Reinmann, 2022).

Durch die Reflexion der Intervention eines Design-Zyklus wird außerdem Design-Wissen generiert. Auf wissenschaftlicher Ebene, zur wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, werden Beiträge zu gegenstandsbezogenen Theorien (= lokale Lehr-Lern-Theorien) erarbeitet (Design-Based Research Collective, 2003). Die wissenschaftlichen Erkenntnisse eines Design-Based Research Projekts können nicht als vollständig abgeschlossene Ergebnisse betrachtet werden, sondern sind vielmehr als begründete Annahmen bezogen auf Lehr-Lernprozesse im jeweiligen, spezifischen Kontext oder als Empfehlungen das Design von Lerngelegenheiten im gegebenen Kontext betreffend, anzusehen. Trotz der sehr gegenstandsbezogenen Ergebnisse innerhalb eines Design-Based Research Projekts gilt es, Annahmen und Aussagen über sowie Rahmenbedingungen für mögliche Übertragbarkeiten auf andere Kontexte zu tätigen (Reinmann, 2022).

Als ein weiteres wesentliches Güte Merkmal von Design-Based Research wird von Reinmann (2022) ausserdem die wissenschaftliche Öffentlichkeit genannt. So gilt es, die durch theoretische Grundlagen und Empirie begründeten Design-Entscheidungen der iterativen Design-Zyklen offen zu legen und transparent zu machen (Reinmann, 2022).

In diesem Artikel werden dementsprechend die Design-Entscheidungen, die zur Entwicklung eines ersten, prototypischen Lehrveranstaltungs-Designs führten, vorgestellt. Vor der ersten vollständigen Umsetzung des prototypischen Lehrveranstaltungs-Designs wurden die Lerngelegenheiten einer für die Lehrveranstaltung entwickelten Moodle-Lernumgebung mittels Lernprozessstudien in Form von Akzeptanzbefragungen erprobt (Abschnitt 6). Die Akzeptanzbefragungen dienten hierbei als formatives Evaluationsinstrument zur Identifizierung von Lernhürden und unterstützenden Instruktionselementen. Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen führten zu einer Ausschärfung der Design-Kriterien, zum Re-Design einzelner Lerngelegenheiten und somit zu einem prototypischen, ersten Lehrveranstaltungs-Design, welches im weiter Projektverlauf weitere Design-Zyklen durchlaufen wird (Abschnitt 7). Aus den Ergebnissen der Akzeptanzbefragungen lassen sich außerdem erste, prospektive Beiträge (Reinmann, 2022) zu lokalen, gegenstandsbezogenen Lehr-Lern-Theorien formulieren (Abschnitt 7).

In den folgenden Abschnitten 3.2-3.4 werden die theoretischen Grundlagen erläutert, auf deren Basis die Design-Entscheidungen zur Entwicklung von Lerngelegenheiten zur Arbeit mit Arduino getroffen wurden.

3.2 Synthesis of qualitative data (SQD) Modell

Wir gehen davon aus, dass sich das SQD-Modell zur Gestaltung von Lerngelegenheiten, den Zielsetzungen und der Zielgruppe des berichteten Projektes entsprechend, als hilfreiches Rahmenmodell erweisen kann. Im Synthesis of qualitative data Modell beschreiben Tondeur und Kolleg:innen (2012) zwölf Strategien, die zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte für die Nutzung digitaler Medien im Rahmen des Designs von Lehrveranstaltungen für die Lehrkräfteausbildung verfolgt werden sollten. Das Modell wurde basierend auf empirischen Studien entwickelt. Die Erkenntnisse aus den Studien wurden im Modell auf drei Ebenen zu handlungsleitenden Strategien zusammengefasst (Tondeur et al., 2021). Auf der Mikroebene werden Strategien beschrieben, die sich explizit auf die Professionalisierung von Lehrkräften im Bereich digitale Medien beziehen. Darunter fallen Strategien wie das Schaffen von Kollaborationsmöglichkeiten für Studierende, das Generieren von Lerngelegenheiten zur Reflexion über den Einsatz digitaler Medien oder die Ermöglichung des selbstständigen Nutzens digitaler Medien. Auf der Makroebene des Modells werden institutionelle Strategien beschrieben. Die Sicherstellung nötiger Hard- und Software-Ressourcen oder die adäquate Ausbildung von Lehrkräfte-Ausbildner:innen wurden dieser Ebene zugeordnet. Die Strategien der dritten Ebene betreffen sowohl die Mikro-, als auch die Makroebene. Es geht hier beispielsweise darum, theoretische Grundlagen zum Nutzen und Einsatz digitaler Medien sowie konzeptuelle Informationen mit der praktischen Anwendung digitaler Medien zu verweben (Tondeur et al., 2012).

Für das Design von Lerngelegenheiten zur Arbeit mit Arduino galten einige der von Tondeur und Kolleg:innen (2012) auf der Mikro-Ebene formulierten Strategien als handlungsleitend. Die konkreten Design-Kriterien, die auf Basis dieses SQD-Modells formuliert wurden, sind Abschnitt 5 zu entnehmen.

3.3 Flipped Classroom

Die Lerngelegenheiten zur Einführung in das System Arduino und zur digitalen Messwerterfassung mit Arduino werden in der Lehrveranstaltung im Format des Flipped Classrooms umgesetzt, um insbesondere heterogenen Studierendengruppen (Abschnitt 4.2.) gerecht werden zu können. Flipped Classroom ist als ein didaktisches Konzept zu verstehen, bei dem die klassische Lehr-Lern-Situation umgekehrt wird. Damit wird häufig das Ziel verfolgt, Präsenz-Lehreinheiten möglichst effizient nutzen zu können. Obwohl es bislang kein gemeinsames Verständnis für das organisatorische Design von Flipped Classroom Sequenzen gibt, kann das Konzept des Flipped Classrooms anhand zumindest folgender Merkmale charakterisiert werden (Geiger et al., 2019): Lernende erarbeiten ausgewählte Lerninhalte selbstständig bereits vor der eigentlichen Präsenz-Lehreinheit. Häufig werden diese Selbstlernphasen in einem Online-Format umgesetzt. Lehrende beobachten die Lern- und Verstehensprozesse der Lernenden (z.B. online mittels Analysetools), sodass in der Präsenzphase gezielt Lerninhalte vertieft und Unklarheiten aufgelöst werden können. In der Selbstlernphase werden Lernprozesse niedrigerer Ordnung (Bloom et al., 1956) angestossen, in der Präsenzphase sollen daran anknüpfend vertiefende Lernprozesse höherer Ordnung (Bloom et al., 1956) angeregt werden (Geiger et al., 2019; Ulbrich, 2021).

Empirische Evidenzen deuten darauf hin, dass sich diese Methode für Schüler:innen und Studierende als besonders lernwirksam erweist. Bereits kurze Flipped-Classroom-Sequenzen zeigen eine positive Auswirkung auf die Lernwirksamkeit (Doğan et al., 2021; Turan, 2021). Aus diesem Grund sollen der Einsatz dieser Methode in der Lehre sowie die dafür notwendige Professionalisierung von Lehrkräften forciert werden (acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften & Joachim Herz Stiftung, 2022).

Kwan Lo und Foon Hew (2017) erarbeiteten auf Basis der First Principles of Instructions von Merrill (2002) einen organisatorischen Rahmen für die Umsetzung des Flipped Classroom Konzepts. Merrill (2002) zufolge gilt es als lernförderlich, wenn Studierende an einem Alltagsproblem arbeiten können. Kwan Lo und Foon Hew (2017) stellen dieses Alltagsproblem in das Zentrum der Flipped Classroom Sequenzen. Den First Principles of Instructions (Merrill, 2002) ist ebenso zu entnehmen, dass das Anknüpfen an das Vorwissen der Studierenden als lernförderlich gilt. Demnach beginnen die Selbstlernphase und die Präsenzphase im Flipped Classroom Rahmen von Kwan Lo und Foon Hew (2017) mit jeweils einer Aktivierung der Studierenden durch die Anknüpfung an deren Vorwissen. Nach der Aktivierung des Vorwissens werden in der Selbstlernphase neue Inhalte demonstriert, bevor das Erlernte in Form einfacher Übungen und Aufgabenstellungen angewandt wird. In der an die Selbstlernphase anschließenden Präsenzphase erfolgt nach der Aktivierung des Vorwissens der Studierenden die Anwendung des Erlernten in Form komplexerer Aufgaben. Lehrende unterstützen die Studierenden in dieser Phase. Die Studierenden arbeiten in Kleingruppen an Problemstellungen, die mit dem in der Selbstlernphase erarbeiteten Wissen gelöst werden können. Am Ende der Flipped Classroom Sequenz steht in der Präsenzphase die Integration des Erlernten. Neu erlernte Inhalte sollen von den Studierenden zur Lösung komplexer Problemstellungen eingesetzt werden (Kwan Lo & Foon Hew, 2017).

Neben diesen vorgestellten lernförderlichen Aspekten der Arbeit mit dem Konzept des Flipped Classrooms, zeigen Geiger und Kolleg:innen (2019) auf, dass das Flipped Classroom Konzept nur dann lernwirksam sein kann, wenn die einzelnen Lerngelegenheiten der Selbstlernphase von den Lehrenden wohlüberlegt geplant werden: Das selbstständige Erlernen von Inhalten kann insbesondere für lernschwächere Personen schwierig sein. Gut durchdachte Unterstützungsmöglichkeiten für Lernende, die Schwierigkeiten bei der selbstständigen Erarbeitung des jeweiligen Lehrinhalts haben, müssen eingeplant werden. Weiters schlagen Geiger und Kolleg:innen (2019) vor, dass nicht der gesamte Unterricht, bzw. eine gesamte Lehrveranstaltung auf das Konzept des Flipped Classrooms umgestellt, sondern nur dafür geeignete Lehrinhalte nach diesem didaktischen Konzept gelehrt werden sollen.

Im Zuge der in diesem Artikel vorgestellten Lehrveranstaltung wird die Arbeit mit Arduino zur digitalen Messwerterfassung nach dem Konzept des Flipped Classrooms umgesetzt. Das Flipped Classroom Format der Lehrveranstaltung folgt dem von Kwan Lo und Foon Hew (2017) vorgeschlagenen Rahmen. Die konkreten Design-Kriterien sind Abschnitt 5 dieses Artikels zu entnehmen. In diesem Artikel liegt der Fokus auf der Selbstlernphase des Flipped Classroom Formates. Das Design der Lerngelegenheiten der Selbstlernphase des Flipped Classroom Formates der Lehrveranstaltung wurde vor der erstmaligen Umsetzung der gesamten Lehrveranstaltung Akzeptanzbefragungen (Abschnitt 6) unterzogen. Mit einer solchen formativen Evaluation kann den Postulierungen von Geiger und Kolleg:innen (2019) nachgekommen und sowohl die Inhalte als auch die Instruktionen, Aufgabenstellungen und Unterstützungsmassnahmen können an die Bedürfnisse der Studierenden angepasst werden.

3.4 Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (2009)

Zur Entwicklung einzelner Lerngelegenheiten für die Selbstlernphase des Flipped Classroom Formates in der digitalen Moodle-Lernumgebung, wurde auf die Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (2009) zurückgegriffen. Mayer (2009) beschreibt in seiner Theorie, dass Menschen Informationen mittels visueller oder akustischer Kanäle aufnehmen und in diesen Kanälen, als Teile des Arbeitsgedächtnisses, kurzfristig speichern können. Sowohl der bildhafte als auch der verbale Sinneskanal haben nur eine begrenzte Speicherkapazität. Diese Annahme geht mit der Cognitive Load Theory (Sweller, 2012) einher. Mayer (2009) geht weiters davon aus, dass effektives Lernen nur dann möglich ist, wenn Lerninhalte durch kognitive Prozesse aktiv verarbeitet werden. Basierend auf diesen theoretischen Grundannahmen wurden von Mayer (2009) Prinzipien zum Design von multimedialen Lernangeboten formuliert.

Das Kohärenzprinzip beispielsweise besagt, dass bei der Entwicklung multimedialer Lerngelegenheiten auf für das Lernen nicht notwendige Texte, Abbildungen und Audiomaterialien verzichtet werden soll. Die Umsetzung dieses Kohärenzprinzips kann zur Entlastung existentieller Belastung der Studierenden im Zuge der Bearbeitung der multimedialen Lerngelegenheiten führen. Zur Unterstützung kognitiver Prozesse sollte unter anderem das Segmentierungsprinzip befolgt und Lerninhalte den Studierenden in Unterteile angeboten werden. Mit der Realisierung des Multimedialitätsprinzips, der Implementierung von Grafiken zusätzlich zu Informationstexten, können generative Prozesse angestossen werden (Jadin, 2013).

Im Rahmen der Entwicklung einzelner Lerngelegenheiten der digitalen Moodle-Lernumgebung wurden die für die digitale Lernumgebung relevanten Prinzipien von Mayer (2009) befolgt. Die entsprechenden Design-Kriterien und das daraus abgeleitete Design sind Abschnitt 5 dieses Artikels zu entnehmen.

4 Vorerhebungen zur Charakterisierung der Ausgangslage

Wie in Abschnitt 3 erläutert, liegt auch dem hier vorgestellten Design-Based Research Projekt eine Problemstellung aus der Bildungspraxis zugrunde, auf die in Form iterativer Design-Zyklen im Laufe des Projekts reagiert wird. Die

Notwendigkeit der Professionalisierung angehender Lehrpersonen für den didaktisch sinnvollen Einsatz digitaler Medien im Unterricht kann als die dem vorliegenden Design-Based Research Projekt zugrundeliegende Problemstellung beschrieben werden. Diese wurde in Abschnitt 2 dieses Artikels erläutert und ist normativ auch im 8-Punkte-Massnahmenplan zur Umsetzung der Vision «Digitale Schule» des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung festgeschrieben (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2020a). Ausgehend von dieser Problemstellung ist es das Ziel des vorliegenden Projekts, eine Lehrveranstaltung für angehende Lehrkräfte mathematisch-naturwissenschaftlicher Fächer zu entwickeln und zu beforschen und damit einen Beitrag zu deren Professionalisierung im Bereich digitale Medien zu leisten.

Reinmann (2022) argumentiert in ihrem Artikel für die Notwendigkeit, die einzelnen Design-Entscheidungen innerhalb eines Design-Based Research Projekts fortlaufend an die gegebenen Kontextbedingungen anzupassen. Somit erweist es sich als notwendig, die beschriebene Problemstellung für die spezifischen Kontextbedingungen der «Universität Graz», an der die Lehrveranstaltung entwickelt und beforscht werden soll, zu charakterisieren. Dazu wurden Vorerhebungen umgesetzt.

Die Durchführung einer Curricula-Analyse sowie von Lehrenden- und Studierenden-Befragungen führten zur Formulierung von auf empirischen Ergebnissen und theoretischen Grundlagen gestützten Design-Kriterien und zur Entwicklung eines prototypischen Lehrveranstaltungs-Designs.

Mit der Durchführung einer Curricula-Analyse sowie von Lehrenden- und Studierenden-Befragungen konnten bestehende Leerstellen im Bereich digitalitätsbezogener Lernangebote innerhalb der mathematisch-naturwissenschaftlichen Lehramtsausbildung des «Entwicklungsverbunds Süd-Ost (EVSO)»¹ aufgezeigt werden. Diese Identifikation von Inhaltsbereichen mit wenigen Lerngelegenheiten führte in weiterer Folge zur Charakterisierung der Problemstellung aus der Bildungspraxis als Ausgangspunkt für iterative Design-Zyklen.

Nachfolgend werden die für diesen Artikel relevanten Ergebnisse der Curricula-Analyse und der Befragungen vorgestellt sowie die konkrete Ausgangslage für das vorliegende Design-Based Research Projekt beschrieben.

4.1 Curricula-Analyse

Die Curricula-Analyse diente der Erhebung normativ festgelegter Inhalte und Kompetenzerwartungen mit Bezug zu digitalen Medien in der mathematisch-naturwissenschaftlichen Lehramtsausbildung des «EVSO». Dazu wurden die bestehenden (Stand 2021) Bachelor- und Mastercurricula des «EVSO» für die Lehramtsstudien Biologie, Chemie, Mathematik und Physik zur Analyse herangezogen (Mandl et al., 2022a). Die Curricula-Analyse wurde um die Analyse der in die Curricula verankerten Lehrveranstaltungen hinsichtlich des Aufgreifens von Aspekten zu digitalen Medien ergänzt. Dazu wurde auf die in den digitalen Vorlesungsverzeichnissen formulierten Inhalts- und Kompetenzbeschreibungen der einzelnen Lehrveranstaltungen zurückgegriffen. Anhand dieser Analyse konnten insgesamt 37 Lehrveranstaltungen identifiziert werden, in denen laut Inhalts- und Kompetenzbeschreibungen digitale Medien thematisiert werden (Mandl et al., 2022a).

4.2 Lehrenden- und Studierenden-Befragung

Aufbauend auf die Ergebnisse der Curricula-Analyse wurden Lehrenden- und Studierendenbefragungen durchgeführt, um spezifischere Aussagen hinsichtlich der im Rahmen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Lehramtsstudien adressierten Kompetenzen aus den Bereichen Lehren und Lernen mit digitalen Medien und Lehren und Lernen über digitale Medien tätigen zu können. Eine Befragung richtete sich an die Lehrenden ($N_{Lehrende} = 63$) der mittels Curricula-Analyse identifizierten Lehrveranstaltungen. Eine weitere Befragung ($N_{Studierende} = 357$) wurde mit den Bachelor- und Master-Studierenden der Lehramtsstudien Biologie, Chemie, Mathematik und Physik durchgeführt.

Die Lehrenden- und Studierendenbefragungen bildeten folgende Konstrukte ab: Einstellung zum Lernen mit digitalen Medien (Vogelsang et al., 2019), motivationale Orientierung und wahrgenommene Hemmnisse hinsichtlich des Einsatzes digitaler Medien (Vogelsang et al., 2019), subjektive Normerwartung (Vogelsang et al., 2019), Selbstwirksamkeitserwartung (Vogelsang et al., 2019), wahrgenommener Nutzen digitaler Medien (van Braak et al., 2004), Selbsteinschätzung des TPACK (Stinken-Rösner, 2021), Erfahrung mit digitalen Medien in der Lehramtsausbildung (Becker et al., 2020; Vogelsang et al., 2019), Lerngelegenheiten zum Lernen mit und über digitale Medien im Lehramtsstudium, Adressierung digitaler Kompetenzen an die Studierenden (Lehrenden-Befragung) (Schmidt et al., 2009).

In Hinblick auf den Einsatz von digitalen Medien und die Erfahrung mit digitalen Medien kann aus der Triangulation der Ergebnisse der Befragungen abgeleitet werden, dass Studierende mathematisch-naturwissenschaftlicher Lehramtsstudien im Rahmen ihres Studiums nur wenig Erfahrung mit digitaler Messwerterfassung sammeln (Abb. 3 & Tab. 1). Auf der Ebene des Lehrens und Lernens mit und über digitale(n) Medien im Zuge des Lehramtsstudiums kann aus den Ergebnissen beider Befragungen geschlussfolgert werden, dass Studierenden grösstenteils Lernangebote im Sinne eines Lernens mit digitalen Medien, weniger jedoch im Bereich des Lernens über digitale Medien geboten werden. Diese Angaben decken sich mit den Ergebnissen der Curricula-Analyse (Mandl et al., 2022a).

¹ gemeinsame Lehramtsausbildung an folgenden Institutionen: «Universität Graz», «Universität Klagenfurt», «Private Pädagogische Hochschule Augustinum», «Pädagogische Hochschule Burgenland», «Pädagogische Hochschule Kärnten», «Pädagogische Hochschule Steiermark», «Universität für Musik und darstellende Kunst Graz», «Technische Universität Graz»

Es zeigt sich ausserdem, dass sich Studierende mathematisch-naturwissenschaftlicher Lehramtsstudien des «EVSO» hinsichtlich ihrer lernbezogenen Vorerfahrungen (Tab. 1), ihrer Einstellungen (Tab. 2), ihrer motivationalen Orientierung in Bezug auf digitale Medien (Tab. 2) sowie hinsichtlich der Einschätzung ihrer digitalen Kompetenzen (TPACK) (Tab. 3) unterscheiden. Die hohe Anzahl an «weiss-nicht»-Angaben (ersichtlich an dem stark schwankenden $N_{\text{Studierende}}$ in Tab. 2) zeigt die hohe Heterogenität der Studierenden und lässt vermuten, dass sich viele Studierenden mit den erhobenen Konstrukten im Rahmen ihres Lehramtsstudiums bisher noch nicht auseinandergesetzt haben.

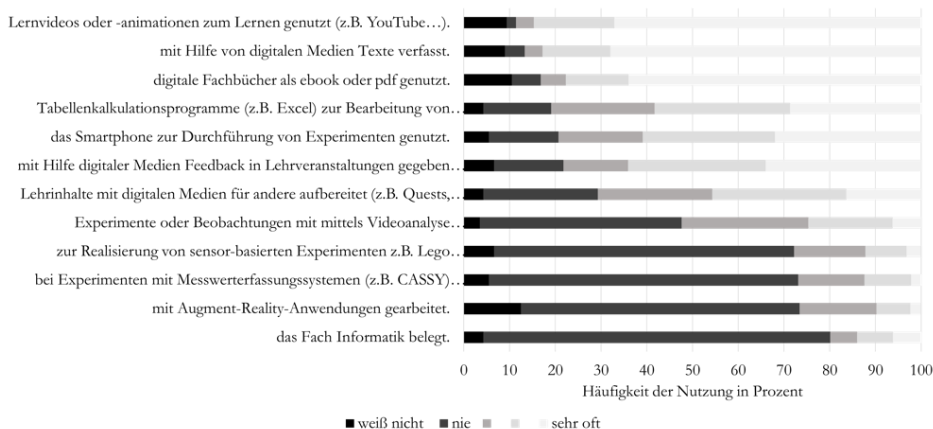


Abb. 3. Lernbezogene Vorerfahrungen der Studierenden: abgefragt mittels 4-Stufiger Skala (1: nie, 4: sehr oft) mit zusätzlicher «weiss-nicht-Option»; Items nach Vogelsang et al. (2019).

Tab. 1. Deskriptive Statistik zur lernbezogenen Vorerfahrungen der Studierenden: abgefragt mittels 4-Stufiger Skala mit zusätzlicher «weiss-nicht-Option» (0: weiss nicht, 1: nie, 4: sehr oft); Items nach Vogelsang et al. (2019); ($N_{\text{Studierende}}$ = Anzahl gültiger Antworten).

	Lernbezogene Vorerfahrung													
	Tabellenkalkulationsprogramme (z.B. Excel) zur Bearbeitung von Aufgaben genutzt.	Experimente oder Beobachtungen mit Videoanalyse ausgewertet.	bei Experimenten mit Messwertfassungssystemen (z.B. CASSY) gearbeitet.	mit Hilfe von digitalen Medien Texte verfasst.	das Smartphone zur Durchführung von Experimenten genutzt.	das Fach Informatik belegt.	zur Realisierung von sensor-basierten Experimenten z.B. Lego Mindstorms, Arduino... genutzt.	mit Hilfe digitaler Medien Feedback in Lehrveranstaltungen gegeben (z.B. Clicker)	mit Augment-Reality-Anwendung gearbeitet.	Prozesse und Phänomene mit Hilfe von Computerprogrammen modelliert (z.B. Simulationen).	Lernvideos oder -animationen zum Lernen genutzt (z.B. YouTube...).	Lernvideos oder -animationen selbst erstellt.	Lehrinhalte mit digitalen Medien für andere aufbereitet (z.B. Quests, Animationen...).	digitale Fachbücher als ebook oder pdf genutzt.
$N_{\text{Studierende}}$	257	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256
Mittelwert	2.64	1.80	1.36	3.29	2.67	1.36	1.36	2.70	1.26	2.05	3.31	2.30	2.29	3.14
Std.-Abweichung	1.17	0.99	0.83	1.27	1.23	0.92	0.86	1.27	0.86	1.11	1.24	1.12	1.14	1.37
Varianz	1.37	0.98	0.69	1.62	1.50	0.85	0.73	1.60	0.74	1.23	1.54	1.22	1.30	1.88
MIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAX	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tab. 2. Deskriptive Statistik zur Selbsteinschätzung der Studierenden hinsichtlich ihrer Einstellung und ihrer motivationalen Orientierung zu digitalen Medien: abgefragt mittels 4-Stufiger Skala mit zusätzlicher «weiss-nicht-Option» (1: stimme gar nicht zu, 4: stimme völlig zu); Items nach Vogelsang et al. (2019); ($N_{\text{Studierende}}$ = Anzahl gültiger Antworten und ohne «weiss-nicht»-Angaben); Berechnung der Konstrukte ohne Einbezug der «weiss-nicht»-Angaben.

	Einstellung zu digitalen Medien				Motivationale Orientierung			
	$N_{\text{Studierende}}$	Mittelwert	Std.-Abweichung	Varianz	$N_{\text{Studierende}}$	Mittelwert	Std.-Abweichung	Varianz
Digitale Medien sollten generell in den Lehrplänen der Schulen ein starkes Gewicht erhalten.	302	3.28	0.70	0.49	283	3.22	0.82	0.68
Der Einsatz digitaler Medien in der Schulen führt zur Verflachung des Niveaus.	298	1.94	0.87	0.76	288	2.76	0.97	0.93
Negative Folgen digitaler Medien für das Lernen werden unterschätzt.	277	2.58	0.94	0.88				
Der Einsatz digitaler Medien ermöglicht in hohem Maße selbstbestimmtes Lernen.	298	3.28	0.74	0.55	287	2.79	0.93	0.86
Durch den Einsatz digitaler Medien können Schüler*innen besser zum Lernen motiviert werden.	291	3.20	0.79	0.62				
Computer und digitale Medien eröffnen Spielräume für Kreativität beim Lernen.	275	3.47	0.66	0.44	279	3.04	0.88	0.77
Der Einsatz von digitalen Medien in der Schule sorgt dafür, dass Schüler*innen gut auf das Berufsleben vorbereitet werden.	283	3.26	0.80	0.63				
Das Lernen mit digitalen Medien ist eine effiziente Form des Lernens.	285	2.88	0.79	0.63	282	3.25	0.82	0.68
Mit digitalen Medien kann ich in Unterricht adressatengerechter planen und anpassen.	286	3.18	0.71	0.51	281	2.58	0.95	0.91
Digitale Medien ermöglichen eine höhere Schüler*innenaktivierung.	288	3.24	0.75	0.56				
Konstrukt: Einstellungen zum Lernen mit digitalen Medien im Unterricht	177	3.08	0.46	0.22	248	2.91	0.76	0.45

Tab. 3. Deskriptive Statistik zur Selbsteinschätzung der Studierenden hinsichtlich der Facetten des Technologisch-Pädagogischen Inhaltswissens: abgefragt mittels 5-Stufiger Skala (1: stimme gar nicht zu, 5: stimme völlig zu); Items nach Stinken-Rösner (2021); ($N_{\text{Studierende}}$ = Anzahl gültiger Antworten).

TPACK				
	Technologisches Wissen (TK)	Technologisches Inhaltswissen (TCK)	Technologisch-Pädagogisches Wissen (TPK)	Technologisch-Pädagogisches Inhaltswissen (TPACK)
$N_{\text{Studierende}}$	266	266	266	266
Mittelwert	3.57	3.45	3.80	3.57
Std.-Abweichung	0.81	0.90	0.77	0.86
Varianz	0.66	0.81	0.60	0.74

4.3 Konkretisierung der Problemstellung aus der Bildungspraxis

Aus den Ergebnissen der Vorerhebungen lässt sich eine praktische Problemstellung als Ausgangspunkt für den Design-Based Research Ansatz wie folgt auf drei Ebenen beschreiben:

- (1) Zur Umsetzung eines an die Digitalität der Gesellschaft angepassten Fachunterrichts benötigen Lehrkräfte Kompetenzen aus dem Bereich Lehren und Lernen mit digitalen Medien. Aktuell werden im «EVSO» in Bezug auf digitale Medien speziell Lerngelegenheiten in diesem Bereich geboten. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Lehrenden- und Studierendenbefragungen, dass den angehenden Lehrkräften nur wenig Lerngelegenheiten zu den Themen digitale Messwerterfassung und Umsetzung sensorbasierter Experimente geboten werden und die Studierenden ihre Kompetenzen in diesen Bereichen als niedrig einschätzen. Lehrkräfte mathematisch-naturwissenschaftlicher Fächer benötigen jedoch für die Umsetzung eines digital transformierten Unterrichts Kompetenzen in diesen fachspezifischen Bereichen (Becker et al., 2020). Demnach ist es notwendig, lernwirksame Lerngelegenheiten für die Bereiche digitale Messwerterfassung und Arbeit mit Sensoren zu entwickeln.
- (2) Wie in Abschnitt 2 beschrieben, ist es für die selbstständige und kritische Teilhabe an der heutigen Gesellschaft notwendig, den Umgang mit digitalen Medien als Werkzeug zu beherrschen sowie auch über Hintergrundwissen über digitale Medien zu verfügen (Bastian, 2017; Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF], 2010; Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, 2018; Gesellschaft für Informatik e.V., 2016; Huwer et al., 2019). Die Ergebnisse der Vorerhebungen deuten darauf hin, dass in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Lehramtsstudien des «EVSO» nur wenige Lerngelegenheiten im Kontext Lernen über digitale Medien geboten werden. Zur entsprechenden Professionalisierung angehender Lehrkräfte ist es folglich notwendig, Lerngelegenheiten zu entwickeln, die Hintergrundwissen über digitale Medien adressieren.
- (3) Zur Umsetzung eines digital transformierten mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachunterrichts, benötigen Lehrkräfte ein Verständnis dafür, welche neuen Möglichkeiten, Chancen und Herausforderungen mit dem Einsatz digitaler Medien einhergehen. Eine Lehrveranstaltung zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte in Bezug auf digitale Medien sollte folglich auch ein solches Verständnis fördern.

5 Lehrveranstaltungs-Design zur digitalen Messwerterfassung mit Arduino

In diesem Abschnitt wird auf die theorie- und empiriegeleiteten Design-Entscheidungen und Handlungsschritte für das Design der Lerngelegenheiten zur digitalen Messwerterfassung mit Arduino eingegangen.

5.1 Kompetenzziele, Design-Annahmen und Design-Kriterien

Die in Abschnitt 2 dieses Artikels dargestellten Kompetenzmodelle und -rahmen bilden die in die Lehramtsausbildung zu integrierenden Lerninhalte zur Förderung digitalitätsbezogener Kompetenzen ab. Zur Formulierung von Kompetenzziele und Inhalten für die Lehrveranstaltung wurden einerseits die Ergebnisse der Curricula-Analyse mit den in den Kompetenzmodellen normativ verankerten Inhalten und Kompetenzbereichen abgeglichen. Andererseits und ergänzend dazu wurden die Ergebnisse der Lehrenden- und Studierendenbefragungen als Evidenzen zur Identifikation von Divergenzen zwischen diesen Ebenen herangezogen. Die somit für die Lehrveranstaltung definierten Inhalte und Kompetenzziele liefern die Basis für das Lehrveranstaltungsdesign.

Die Lehrveranstaltung wird in zwei inhaltliche Schwerpunkte gegliedert. Im ersten Teil der Lehrveranstaltung wird der Fokus auf digitale Messwerterfassung mit Arduino Mikrocontrollern gelegt, während sich die Studierenden im zweiten Teil der Lehrveranstaltung mit dem Erkennen und Entlarven von Falschinformationen beschäftigen und ein Verständnis für Digitalität (Stalder, 2016) vermittelt bekommen. Arduino-Mikrocontroller finden deshalb Einsatz in der Lehrveranstaltung, weil die Studierenden laut Befragung noch wenig Erfahrung in diesem Bereich aufweisen, Arduino sich jedoch gut für den Einsatz im Unterricht eignet (Pusch, 2019; Zieris, 2018).

Für die Arbeit mit Arduino zur digitalen Messwerterfassung wurden basierend auf der unter 4.3. beschriebenen Problemstellung folgende Lehrziele definiert (Mandl et al., 2022b):

Die Studierenden...

- i. können Physical Computing mit Arduino umsetzen.
- ii. verstehen Computational Thinking als eine spezielle Art von Problemlösekompetenz
- iii. kennen den Aufbau und die Funktionsweise eines Arduino-Boards sowie der dazugehörigen Software.
- iv. können mithilfe digitaler Software (Arduino Entwicklungsumgebung) mathematisch-naturwissenschaftliche Untersuchungen durchführen.
- v. kennen Chancen und Herausforderungen des Einsatzes von Arduino-Mikrocontrollern im mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachunterricht.

Zur Übersetzung dieser Ziele in Lerngelegenheiten wurden Design-Annahmen und daraus folgend Design-Kriterien definiert. Für die Formulierung der Design-Annahmen wurde auf die Erkenntnisse aus der Curricula-Analyse und der Befragungen, auf eine Literaturrecherche sowie auf Lehr-Lern-Theorien, wie beispielsweise auf die Theorie des moderaten Konstruktivismus (Riemeier, 2007; Widodo & Duit, 2004) und die Theorie multimedialen Lernens (Mayer, 2009) zurückgegriffen. Design-Annahmen sind auf theoretische Grundlagen und empirische Befunde beruhende Annahmen hinsichtlich des Designs von Lerngelegenheiten bzw. hinsichtlich ablaufender Lehr-Lernprozesse im gegebenen Kontext (hier: digitale Medien in der Lehramtsausbildung) (Richter & Allert, 2017; Scott et al., 2020). Folgende Design-Annahmen konnten für die Lehrveranstaltung abgeleitet werden:

- I. Für die Entwicklung einer Lehrveranstaltung im Paradigma des Design-Based Research ist es von Bedeutung, dass Design-Entscheidungen empirische und theoretische Begründungen zugrunde liegen (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020).
- II. Nach dem Grundverständnis von Lernen aus der Perspektive des moderaten Konstruktivismus (Riemeier, 2007; Widodo & Duit, 2004) setzen Studierende neue Inhalte in Beziehung zu ihrem Vorwissen und ihren Einstellungen zum Gegenstandsbereich und erstellen somit ein für den jeweiligen Lerninhalt individuelles, persönliches Konstrukt aus Bedeutungen und Verknüpfungen mit Aspekten ihrer Lebenswelt.
- III. Das Synthesis of qualitative data– Modell (SQD) von Tondeur und Kolleg:innen (2012) liefert Leitlinien zur lernförderlichen Integration von digitalen Medien und Technologien in die Lehre (Weiler et al., 2021).
- IV. Zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte für die Umsetzung digital transformierten Fachunterrichts bedarf es Lerngelegenheiten zum Lernen mit / über digitale(n) Medien und zum Lernen über digitale Transformationsprozesse (Bastian, 2017; Döbeli Honegger, 2021a; Irion et al., 2023).
- V. Digitale Kompetenzmodelle und- rahmen (TPACK (Mishra & Koehler, 2006), DPACK (Huyer et al., 2019), Dagstuhl-Erklärung (Gesellschaft für Informatik e.V., 2016) und Frankfurt-Dreieck (Brinda et al., 2019)) liefern die normative Setzung digitaler Kompetenzziele für angehende Lehrkräfte.
- VI. Flipped-Classroom-Settings können sich bei sorgfältiger, bedarfsorientierter Konzeption als lernwirksam erweisen und der Differenzierung von Aufgabenstellungen für heterogene Lernendengruppen dienen (Doğan et al., 2021; Gilboy et al., 2015; Kim et al., 2014; O'Flaherty & Phillips, 2015; Oppl, 2018; Turan, 2021).
- VII. Kognitive Leistungen und Prozesse beanspruchen das Arbeitsgedächtnis. Dessen Kapazitäten sind jedoch begrenzt. Wenn das Arbeitsgedächtnis von Lernenden stark beansprucht wird, können Lerninhalte häufig nicht verstanden werden. Das Arbeitsgedächtnis von Studierenden zu schonen ist wichtig, da durch eine geringere Belastung des Arbeitsgedächtnisses neue Lerninhalte besser aufgenommen werden können (Mayer, 2009).

Ausgehend von diesen Design-Annahmen zum Design von Lerngelegenheiten und zu Lehr-Lernprozessen im Kontext digitaler Medien wurden für das Design der einzelnen Lerngelegenheiten Design-Kriterien formuliert. Diese Design-Kriterien gelten für die Entwicklung der einzelnen Lernangebote als handlungsleitend. Nachstehend werden die Design-Kriterien zur Entwicklung von Lerngelegenheiten zum Schwerpunkt digitale Messwerterfassung mit Arduino dargestellt:

- A. Die Design-Entscheidungen basieren auf Theorie und Empirie.
- B. Den Studierenden werden für sie bedeutende Problemstellungen geboten.
- C. Die Inhalte der Lehrveranstaltung knüpfen an das Vorwissen der Studierenden zur Thematisierung und zum Einsatz digitaler Medien an.
- D. Den Studierenden werden laut SQD-Modell Möglichkeiten zur Interaktion mit Mitstudierenden geboten.

- E. Den Studierenden werden laut SQD-Modell Möglichkeiten zum selbstständigen Lernen und zur Selbstreflexion geboten. Lehrende unterstützen diese Prozesse.
- F. Die theoretische Vermittlung und Bearbeitung von Inhalten werden laut SQD-Modell mit dem praktischen Arbeiten mit digitalen Medien so kombiniert, dass das theoretisch Erlernte zeitnahe praktisch erprobt werden kann
- G. Zur Leistungsbeurteilung werden laut SQD-Modell alternative Strategien eingesetzt und den Studierenden wird fortlaufend Feedback gegeben.
- H. Zur Definition der Lernziele werden die digitalen Kompetenzmodelle TPACK, DPACK, Dagstuhl-Erklärung und Frankfurt-Dreieck miteinander kombiniert.
- I. Den Studierenden werden Lerngelegenheiten zum Lernen mit/über digitale(n) Medien und zum Lernen über digitale Transformationsprozesse geboten.
- J. Das Design der Lerngelegenheiten in der digitalen Moodle-Lernumgebung für die Selbstlernphase des Flipped Classroom Formats erfolgt nach dem Rahmen von Kwan Lo und Foon Hew (2017) und den Kriterien von Kim und Kollegen (2014):
 - a. Der Sinn des Umsetzens des Flipped Classroom Konzepts wird den Studierenden erläutert.
 - b. Den Studierenden wird genügend Zeit für das Bearbeiten der Lerngelegenheiten im Flipped-Classroom geboten.
 - c. Zur Analyse des Kompetenzzuwachses im Rahmen der Lerngelegenheiten der Moodle-Lernumgebung werden Analysetools eingesetzt.
 - d. Die Inhalte der Selbstlernphase werden in der Präsenzphase aufgegriffen und vertieft.
 - e. Die Aufgabenstellungen in der digitalen Lernumgebung werden anhand klar formulierter und gut strukturierter Anleitungen bereitgestellt.
- K. Um das Arbeitsgedächtnis der Studierenden zu entlasten, werden für die Bearbeitung von Aufgabenstellungen nicht essentielle Informationen vermieden und somit wird dem Kohärenzprinzip nach Mayer (2009) gefolgt.
- L. Informationen werden im Sinne des Multimediamprinzips nach Mayer (2009) in verschiedenen, eigenständigen Darstellungsformen angeboten, um die kognitive Belastung der Studierenden zu reduzieren.
- M. Die Konzentration der Studierenden wird entsprechend des Segmentierungsprinzips nach Mayer (2009) auf jeweils einen konkreten Sachverhalt gelenkt. Damit kann das Arbeitsgedächtnis der Studierenden geschont werden.

Die Design-Kriterien wurden angelehnt an die Seminarkonzept-Entwicklung des DiKoLeP-Verbundprojekts formuliert (Weiler et al., 2021).

5.2 Umsetzung des Designs in Lerngelegenheiten

Die kontextuelle Rahmung der Lernziele innerhalb der Lehrveranstaltung liefern die aktuelle, weltweite COVID-19-Pandemie und die damit einhergehenden mathematisch-naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen. Vor diesem alltagsrelevanten Hintergrund (Design-Kriterien B und J) wurden Lerngelegenheiten entwickelt, die es ermöglichen, die im Abschnitt 4.2. beschriebene Heterogenität der Studierendengruppe hinsichtlich Vorerfahrung und Einschätzung digitaler Kompetenzen aufzugreifen. Dazu wird nach dem unter 3.3. dieses Artikels beschriebenen Flipped Classroom Format von Kwan Lo und Foon Hew (2017) gearbeitet (Design-Kriterium J, Abb. 4). Die Studierenden erarbeiten in der Selbstlernphase des Flipped Classroom Konzepts Grundkenntnisse zum System Arduino. In der Präsenzphase werden diese Grundkenntnisse vertieft und anhand angeleiteter Aufgabenstellungen in Kleingruppen angewandt. Die Integration des Erlernten erfolgt in Form von Projektarbeiten in Kleingruppen. Studierende bearbeiten Untersuchungsfragen zur Funktionsweise von FFP2-Schutzmasken und müssen in diesem Kontext ihr Wissen über das System Arduino praktisch anwenden und mit Arduino-Board, Arduino-Software und Sensoren arbeiten. Das Flipped Classroom Konzept der Lehrveranstaltung ist Abbildung 4 zu entnehmen. Mit der Umsetzung des Flipped Classroom Konzepts von Kwan Lo und Foon Hew (2017) wird eine intensive Verflechtung der Selbstlernphase mit der Präsenzphase gewährleistet und somit Design-Kriterium J entsprochen.

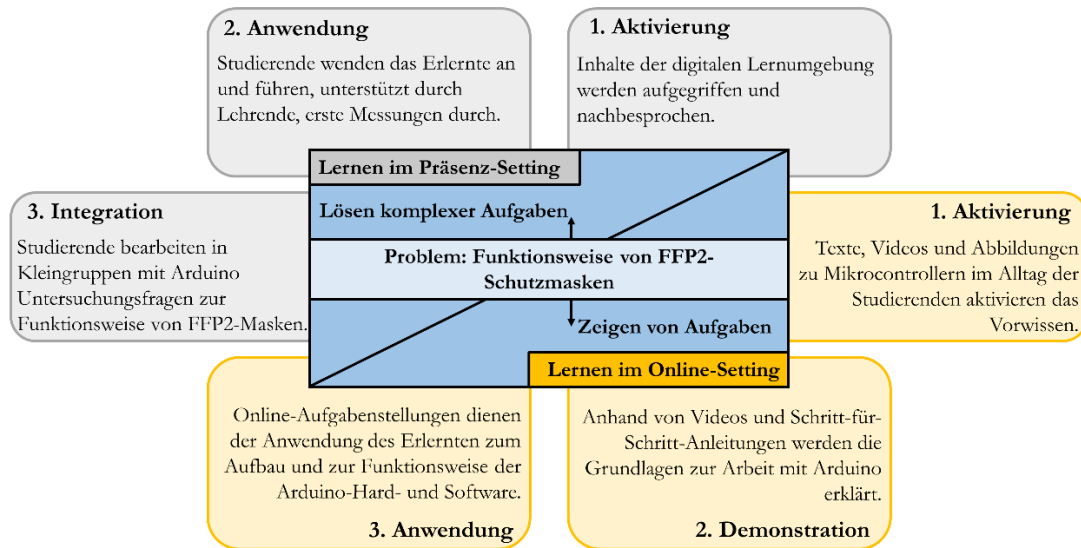


Abb. 4. Flipped-Classroom Rahmen für die Arbeit mit Arduino (erstellt nach Kwan Lo und Foon Hew (2017)).

Der Fokus dieses Artikels liegt insbesondere auf der Selbstlernphase des Flipped Classroom Formates mit einer Moodle-Lernumgebung als deren zentrales Element. Die Moodle-Lernumgebung wurde zur Vermittlung von Basiskenntnissen im Umgang mit dem System Arduino und eines Verständnisses von Physical Computing und Computational Thinking entwickelt und wird von den Studierenden als Vorbereitung auf die Lehrveranstaltung bearbeitet. Die Moodle-Lernumgebung besteht aus fünf Lektionen und die Inhalte bauen dahingehend auf das Vorwissen der Studierenden auf (Design-Kriterium C), als dass keinerlei Vorkenntnisse aus dem Bereich der digitalen Messwerterfassung mit Arduino erwartet und die Inhalte in alltagsrelevante Kontexte eingebunden (Design-Kriterium B) bzw. alltagsnahe Erklärungsangebote geliefert werden. Die Inhalte der einzelnen Moodle-Lektionen wurden den Studierenden in Form von Texten, Grafiken und Videos aufbereitet, wobei versucht wurde, nur für den Lernerfolg wesentliche Inhalte einzubauen und auf irrelevante Informationen zu verzichten (Design-Kriterien K, L und M).

In die Lektionen integrierte Aufgabenstellungen und Kompetenz-Checks dienen als Feedback hinsichtlich des Lernerfolgs (Design-Kriterium J). Dem Design-Kriterium J entsprechend wurden die fünf Lektionen jeweils gleich strukturiert und die Lernziele der entsprechenden Lektion als Übersicht vorangestellt. Die einzelnen Lektionen sind inhaltlich so aufgebaut, dass der Schwerpunkt jeweils auf einen Teilaspekt bezogen auf das Arbeiten mit Arduino gelegt wird (Design-Kriterium M).

Mithilfe der Moodle-Lernumgebung soll der Aufbau eines homogenen Grundwissens der Studierenden im Kontext Arduino gewährleistet werden. Das individuelle Bearbeiten (Design-Kriterium E) der Lernangebote der Moodle-Lernumgebung in der Selbstlernphase des Flipped Classroom Formates legt den Grundstein für das anschließende kollaborative Arbeiten (Design-Kriterium D) der Studierenden an Projekten mit Arduino-Mikrocontrollern in der Präsenzphase des Flipped Classroom Formates (Design-Kriterium J). Die Vorteile, die Funktion sowie mögliche Schwierigkeiten der Arbeit im Flipped-Classroom-Setting werden den Studierenden bereits in der Vorbesprechung zur Lehrveranstaltung erläutert. Damit wird ebenso Design-Kriterium J entsprochen.

An die Bearbeitung der Inhalte der Moodle-Lernumgebung zu den Grundlagen der Arbeit mit Arduino schliessen Lerngelegenheiten an, die den Studierenden kollaboratives Arbeiten (Design-Kriterium D) an einem Physical Computing Projekt mit Arduino ermöglichen. Damit werden die mittels Moodle-Lernumgebung erarbeiteten Grundkenntnisse vertieft, ausgebaut und angewandt (Design-Kriterium J). Den kontextuellen und fächerübergreifenden Rahmen (Design-Kriterium B) der Physical Computing Projekte liefern die Herausforderungen der weltweiten Covid-19-Pandemie. Die Studierenden bearbeiten mithilfe von 3D-gedruckten Modellköpfen, Arduino-Boards, CO₂- und Feinstaubsensoren sowie (FFP2)-Schutzmasken Fragestellungen zur Wirksamkeit von Schutzmasken. Durch die Kombination aus Erarbeitung von Inhalten innerhalb der Moodle-Lernumgebung, Inputphasen von Lehrenden und aktiver Nutzung der Studierenden von Arduino-Boards, Sensoren, Arduino-Entwicklungsumgebung und Software zur Datenauswertung im Rahmen der kollaborativen Projektarbeit wird Design-Kriterium F entsprochen und den Studierenden eine sinnvolle Verknüpfung theoretischer Inhalte mit praktischen Anwendungen geboten.

Zur Reflexion über die eigenen Lernprozesse im Kontext der digitalen Messwerterfassung mit Arduino führen die Studierenden ein digitales Reflexionsjournal. Damit wird die Grundlage für adaptives Lernen geschaffen (Design-Kriterium E). Durch die Interaktion mit den Lehrenden und das kontinuierliche Feedback zur individuellen Arbeit innerhalb der Moodle-Lernumgebung sowie zur Projektarbeit in der Gruppe wird Design-Kriterium G umgesetzt.

Im Rahmen der Arbeit mit digitaler Messwerterfassung werden den Studierenden einerseits Lerngelegenheiten zum Lernen mit digitalen Medien geboten, unter anderem durch den Einsatz von Sensoren und Arduino-Boards zur Durchführung von Messungen. Die Studierenden bekommen andererseits die Gelegenheit über digitale Medien zu lernen,

beispielsweise über den Aufbau eines Arduino-Boards und über die Funktionsweise von Algorithmen. Das Einnehmen einer Metaperspektive und die Reflexion über den Aufbau der Lehrveranstaltung, die genutzten digitalen Tools, die verwendeten Methoden und die ablaufenden Lehr-Lernprozesse sollen den Studierenden als Lerngelegenheit dienen, ein Verständnis für digitale Transformationsprozesse (Castro Benavides et al., 2020) im Unterricht aufzubauen. Die Lernziele und deren Übersetzung in Lerngelegenheiten entsprechen somit den Design-Kriterien H und I.

Für die an die Bedürfnisse der Studierenden angepasste Umsetzung der Design-Kriterien (im Speziellen Design-Kriterium J(b) Zeitlicher Rahmen für die Bearbeitung der digitalen Lernumgebung) bedarf es noch vor der erstmaligen Implementierung des gesamten Lehrveranstaltungs-Design Erprobungen. Diese wurden in Form von Akzeptanzbefragungen (Abschnitt 6) umgesetzt.

Tab. 4. Lernziele der fünf Lektionen der Moodle-Lernumgebung zum Einstieg in das Arbeiten mit Arduino (Mandl et al., 2022b).

Lernziele: Die Studierenden...	
Lektion 1: Grundbegriffe	<ul style="list-style-type: none"> • können die Begriffe Eingebettetes System, Physical Computing und Computational Thinking definieren sowie diese anhand von Beispielen erläutern. • kennen Chancen und Herausforderungen von Physical Computing für den math.-nawi. Unterricht.
Lektion 2: Hardware: Das Arduino-Board	<ul style="list-style-type: none"> • können den Unterschied zwischen analogen und digitalen Signalen erklären. • kennen den Aufbau eines Arduino-Boards. • können die Funktionsweise der Bauteile eines Arduino-Boards beschreiben.
Lektion 3: Sensoren und Aktoren	<ul style="list-style-type: none"> • kennen den Unterschied zwischen Sensoren und Aktoren. • können Sensoren und Aktoren mit einem Arduino-Board verbinden.
Lektion 4: Software: Die Arduino Entwicklungsumgebung	<ul style="list-style-type: none"> • kennen die Funktionen der Arduino-Entwicklungsumgebung. • verstehen den Begriff Algorithmus und können diesen erklären. • kennen den Aufbau eines Sketches. • können einen Sketch auf ihr Arduino-Board laden.
Lektion 5: Physical Computing mit Arduino	<ul style="list-style-type: none"> • wissen, wo sie bereits bestehende Sketches zur Arbeit mit verschiedenen Sensoren downloaden können. • wissen, wie sie notwendige Bibliotheken zu ihrem Sketch hinzufügen können. • können die von ihnen erhobenen Messwerte vom Serial Monitor der Arduino-IDE darstellen lassen.

6 Akzeptanzbefragung: Moodle-Lernumgebung zur Einführung in das Arbeiten mit Arduino-Mikrocontrollern

Akzeptanzbefragungen sind Befragungsmethoden mit dem Ziel, Reaktionen auf Lernangebote zu erheben und dadurch unverständliche, irreführende und auch für das Verständnis besonders hilfreiche Aspekte von Informationsangeboten zu identifizieren (Haagen-Schützenhöfer et al., 2013; Zloklikovits & Hopf, 2020). Diese Methode ist auf Jung (1992) zurückzuführen und keinesfalls mit einem sozialpsychologischen Verständnis des Akzeptanzbegriffs kohärent. Eine Akzeptanzbefragung kann als eine Kombination aus Instruktion von Lerninhalten und Interview verstanden werden. Im Rahmen einer Akzeptanzbefragung setzen sich die Teilnehmer:innen zuerst mit dem Lernangebot auseinander, bevor die Teile der Paraphrasierung und der Klärung der Akzeptanz des Lernangebots folgen. Transfer-Aufgabenstellungen bilden den Abschluss eines Akzeptanzbefragungsblocks zu einem Inhaltsblock. Akzeptanzbefragungen dienen der Überprüfung des Verständnisses vermittelter Inhalte sowie der Akzeptanz des Informationsangebots und der damit verbundenen Art der Vermittlung. Die Ergebnisse von Akzeptanzbefragungen erfüllen eine formative Funktion in Designprozessen und sind somit keinesfalls als abgeschlossene Erkenntnisse im Sinne von theoretischem Output von Design-Based Research Projekten zu sehen (Reinmann, 2022).

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden zur bestmöglichen Anpassung der Lerngelegenheiten der Moodle-Lernumgebung an die Bedürfnisse der Studierenden mit sieben Studierenden Lernprozessstudien im Rahmen von Akzeptanzbefragungen zur entlang von Design-Kriterien entwickelten Moodle-Lernumgebung umgesetzt. Damit wird Design-Kriterium A entsprochen.

Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen dienen der bedarfsorientierten Weiterentwicklung der einzelnen Lerngelegenheiten der Moodle-Lernumgebung (Abschnitt 7). Die Akzeptanzbefragungen sind somit als die Intervention des ersten Design-Zyklus zur Entwicklung der Moodle-Lernumgebung anzusehen (Abschnitt 3.1.). Aus ihnen können erste, prospektive Annahmen hinsichtlich der Lernprozesse von Studierenden beim selbstständigen Erlernen von

Grundkenntnissen über das System Arduino sowie über das Design von für Studierende lernwirksamen Lerngelegenheiten zur Entwicklung eines Verständnisses der digitalen Messwerterfassung mit Arduino abgeleitet werden. Durch die Umsetzung weiterer Design-Zyklen, insbesondere durch die iterative Erprobung der digitalen Lernumgebung im realen Lehrveranstaltungssetting, können die Erkenntnisse der Akzeptanzbefragungen weiter untermauert werden. Deshalb wird die auf Basis der Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen re-designte Lernumgebung (Abschnitt 7) im Fortlauf des Projekts in weiteren Design-Zyklen weiter erprobt und entsprechend bedarfsorientiert adaptiert.

6.1 Forschungsfragen

Die unter Abschnitt 5.1. formulierten Design-Kriterien galten als designleitend für das Design einer ersten Version der digitalen Moodle-Lernumgebung, die wiederum als Kernstück der Selbstlernphase des Flipped Classroom Formates der Lehrveranstaltung dient (Abschnitt 5.2.). Mit dem formativen Evaluationsinstrument der Akzeptanzbefragung soll dieses Design erprobt und auf Basis der Ergebnisse sollen, die unter Abschnitt 5.1. formulierten Design-Kriterien reflektiert und ausgeschärft werden. So ist es unter anderem Ziel der Akzeptanzbefragungen, für das Lernen der Studierenden irrelevante oder irreführende Aspekte in der digitalen Lernumgebung zu erheben und damit die Realisierung von Design-Kriterium K (Kohärenzprinzip) zu erleichtern. Damit Design-Kriterium J (b) (Zeitressource im Flipped Classroom Format) umgesetzt werden kann, wird durch die Akzeptanzbefragungen die von den Studierenden für die Bearbeitung der Inhalte benötigte Zeit erhoben.

Wie von Geiger (2019) angeführt, eignen sich nicht alle Lerninhalte für die Erarbeitung im Rahmen der Selbstlernphase des Flipped Classroom Formates. Mit den Akzeptanzbefragungen soll somit auch erhoben werden, welche Inhalte der digitalen Lernumgebung von den Studierenden schwer selbstständig zu erlernen sind und somit besser in der Präsenzphase bearbeitet werden sollten.

Insbesondere sollen die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen Antwort auf folgende Forschungsfragen liefern:

- F.1.: Inwieweit kann anhand der entlang der Design-Kriterien entwickelten Moodle-Lernumgebung zum Einstieg in das Arbeiten mit Arduino theoretisches Grundwissen über Arduino-Boards und die Arduino-Entwicklungs-umgebung vermittelt werden?
- F.2.: Inwieweit dienen die theoretischen Inhalte der entlang der Design-Kriterien entwickelten Moodle-Lernumgebung als Vorbereitung auf die praktische Umsetzung von Aufgabenstellungen mit Arduino?
- F.3.: Welche Aspekte der Moodle-Lernumgebung werden als besonders lernförderlich wahrgenommen?
- F.4.: Welche Aspekte der Moodle-Lernumgebung werden als unverständlich oder irreführend wahrgenommen?
- F.5.: Inwieweit wird die entlang der Design-Kriterien entwickelte Moodle-Lernumgebung den Bedürfnissen von Studierenden unterschiedlicher mathematisch-naturwissenschaftlicher Fächer gerecht?
- F.6.: Inwieweit bedarf es einer Ausschärfung der zur Entwicklung der Moodle-Lernumgebung herangezogenen Design-Kriterien?
- F.7.: Welche ersten Beiträge in Form begründeter Annahmen zu lokalen Lehr-Lern-Theorien lassen sich aus den Ergebnissen der Akzeptanzbefragungen im Kontext der entlang der Design-Kriterien entwickelten Moodle-Lernumgebung ableiten?

6.2 Stichprobe

Die Akzeptanzbefragungen wurden mit sieben Studierenden durchgeführt. Die Stichprobe wurde so gewählt, dass alle math.-nawi. Unterrichtsfächer unter den Teilnehmer:innen vertreten waren, um eine möglichst grosse Bandbreite an Studierenden in der Lernprozessstudie abdecken zu können (Tabelle 5). Die Teilnehmer:innen studierten zum Zeitpunkt der Befragung im Mittel sieben Semester, wobei eine Person erst das erste und eine Person bereits das elfte Semester abgeschlossen hatten.

Tab. 5. Stichprobe der Akzeptanzbefragungen.

		N
N gesamt		7
Geschlecht	männlich	4
	weiblich	3
Unterrichtsfach	Biologie	3
	Chemie	4
	Mathematik	2
	Physik	2

Die Akzeptanzbefragungen wurden in zwei Phasen umgesetzt. In Phase 1 der Akzeptanzbefragungen wurden mit fünf Studierenden Akzeptanzbefragungen im 1:1 – Befragungssetting umgesetzt. Nach der Adaption der Lerngelegenheiten der Moodle-Lernumgebung auf Basis der Ergebnisse aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen (Abschnitt 7), wurden in Phase 2 der Akzeptanzbefragungen mit zwei Studierenden Akzeptanzbefragungen im 1:1-Befragungssetting durchgeführt (Abb. 5).

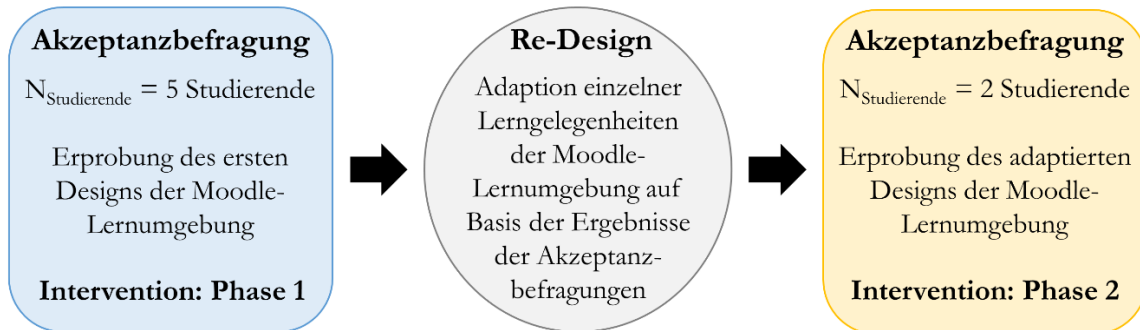


Abb. 5. Ablauf der Akzeptanzbefragungen.

Vor der Durchführung der Akzeptanzbefragungen wurden die Teilnehmer:innen hinsichtlich ihrer Vorerfahrungen und Einstellungen in Bezug auf den Einsatz digitaler Medien bzw. den Einsatz von (Arduino)-Mikrocontrollern und Sensoren befragt. Diese Vorerhebung in Form kurzer, geleiteter Interviews, erleichtert die spätere Einordnung der Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen. Die Ergebnisse dieser Erhebung vor der Umsetzung der Akzeptanzbefragungen sind in Form einer Stichprobenbeschreibung in Tabelle 6 zu finden.

Wie in ähnlichen Untersuchungen (Vogelsang et. al., 2019) stehen auch die Studierenden dieser Stichprobe dem sinnvollen und zielgerichteten Einsatz digitaler Medien positiv gegenüber. Das geht aus dem Interview bezogen auf die Frage, ob die Studierenden gerne mit digitalen Medien arbeiten würden, hervor (Tab. 6, «Freude: Arbeit mit digitalen Medien»). Erfahrungen in der Arbeit mit Arduino lagen in der Stichprobe nicht vor. Es gab Erfahrungen in der Arbeit mit Mikro:Bits und Lego® Mindstorms® ($N_{\text{Studierende}} = 3$). Bei den Studierenden der Stichprobe lagen teilweise ($N_{\text{Studierende}} = 4$) Vorkenntnisse im Bereich der digitale Messwerterfassung in Zusammenhang mit von ihnen besuchten naturwissenschaftlichen Laborübungen vor.

Die Studierenden der Stichprobe entsprachen laut Selbstauskunft somit den Studierenden der dem Lehrveranstaltungs-Design vorangestellten Studierendenbefragung (Abschnitt 4.2.).

Tab. 6. Beschreibung der Stichprobe durch Ergebnisse der Vorerhebungen zu den Akzeptanzbefragungen: Vorerfahrung im Bereich digitale Messwerterfassung und digitale Medien im Allgemeinen.

Student:in	Freude: Arbeit mit digitalen Medien	Erfahrung: digitale Messwerterfassung	Erfahrung: Programmieren	Erfahrung: Mikrocontroller	Bekanntheit: Arduino
1	teilweise: Webquests	nein	Micro:Bit	Mikro:Bit	nein
2	ja: Bereicherung für den Unterricht	Messwerterfassung im Chemielabor (Photometrie, physikalische Chemie)	nein	nein	ja
3	teilweise: Lernvideos	Messwerterfassung im Labor (Elektrizität, pH-Wert)	minimal	Mikro:Bit	nur gehört
4	ja: Nutzung zur Visualisierung	Messwerterfassung im Labor, Phyphox-App	minimal	Lego Mindstorms	nur gehört
5	teilweise: bei einfacher Handhabung	Theoretische Kenntnisse über Grundlagen	nein	nein	teilweise
6	ja: Bereicherung für Unterricht	nein	nein	nein	nur gehört
7	ja	nein	ja	nein	nur gehört

6.3 Umsetzung der Akzeptanzbefragungen

Die Lernprozessstudien in Form von Akzeptanzbefragungen wurden als Einzelbefragungen umgesetzt. Zur anschließenden inhaltsanalytischen Auswertung wurden die Befragungen mithilfe der Videokonferenzsysteme Zoom bzw. Microsoft Teams aufgezeichnet. Die Akzeptanzbefragung jeder:r Studierenden besteht aus 5 Abschnitten, die den 5 Lektionen der Moodle-Lernumgebung entsprachen. Jeder Abschnitt wiederum besteht aus den 4 Teilen Informationsangebot, Frage nach der Akzeptanz, Paraphrasierung und Transfer.

Eine Akzeptanzbefragung dauerte durchschnittlich 2,5 Stunden und wurde für jeden Abschnitt wie folgt durchgeführt (Mandl et al., 2022b):

- (1) Informationsangebot: Die Teilnehmer:innen schrieben sich in den Moodle-Kurs ein und bearbeiteten alle fünf Lektionen der digitalen Lernumgebung. Vor der Bearbeitung der Lerninhalte einer Lektion wurden ihnen die Lernziele der jeweiligen Lektion vorgestellt (Tab. 4). Die Inhalte einer Lektion der Moodle-Lernumgebung lieferten somit das Informationsangebot für einen Abschnitt der Akzeptanzbefragung eine:s Studierenden.
- (2) Frage nach der Akzeptanz: Nach der Bearbeitung der Lerninhalte einer Lektion wurden die Teilnehmer:innen in einem Interviewsetting nach für sie unverständlichen, irreführenden und für das Erreichen der angeführten Lernziele besonders hilfreichen Aspekten der jeweiligen Lektion befragt.
- (3) Paraphrasierung: In einem Interviewsetting wurden die Teilnehmer:innen gebeten, die Lerninhalte der jeweiligen Lektion zu wiederholen, die sie als besonders relevant wahrgenommen haben. Die Inhalte sollten von den Studierenden in eigenen Worten zusammengefasst und erklärt werden.
- (4) Transfer: Transfer-Aufgaben dienten der Anwendung der Lerninhalte einer Lektion. Die Hardware (Arduino-Board, Sensor, Erweiterungsschild) wurde den Teilnehmer:innen zur Bearbeitung der Transfer-Aufgabenstellungen zur Verfügung gestellt. Die kostenlose Entwicklungsumgebung von Arduino (Arduino IDE) wurde von den Studierenden im Rahmen der Akzeptanzbefragung selbstständig installiert.

6.4 Analyse

Zu deren Analyse wurden die aufgezeichneten Befragungen anhand eines inhaltlich-semanticen Regelsystems transkribiert (Dresing & Pehl, 2011). Die Transkripte wurden mittels qualitativer, evaluativer Inhaltsanalyse nach Kuckartz (Kuckartz, 2018) analysiert. Das Kategoriensystem enthält sowohl deduktiv als auch induktiv entwickelte Kategorien. Der dreigliedrige Aufbau einer Akzeptanzbefragung (Akzeptanz, Paraphrasierung, Transfer) wurde in das Kategoriensystem in Form von 22 Ordnungskategorien bzw. thematischen Kategorien übernommen (Kuckartz & Rädiker, 2020). Diese deduktiv implementierten Ordnungskategorien wurden um 91 induktiv formulierte Unterkategorien ergänzt. Damit konnten Textstellen hinsichtlich unverständlicher oder für das Verständnis besonders hilfreicher Aspekte kategorisiert werden. Dieses so definierte Kategoriensystem sollte der Beurteilung der Akzeptanz des Lernangebots, des Erfolgs der Paraphrasierung und der Umsetzung der Transfer-Aufgaben zum Lernangebot dienen. Zur Bildung entsprechender Rating-Urteilen wurden dafür ordinal skalierte Rating-Kriterien (Kuckartz & Rädiker, 2020) erstellt (Tab. 7).

Tab. 7. Rating-Kriterien zur Analyse der Befragungen (Mandl et al., 2022b).

Bewertung	Akzeptanz	Paraphrasierung	Transfer
+	Keine für das Erreichen der angegebenen Lernziele (Tab. 4) relevanten Unklarheiten wurden geäußert.	Alle für die jeweilige Lektion relevanten Begriffe wurden richtig erklärt.	Die Transfer-Aufgaben konnten problemlos gelöst werden.
~	Bis zu 3 Aussagen hinsichtlich für das Erreichen der angegebenen Lernziele (Tab. 4) relevanter Unklarheiten wurden geäußert.	Die Mehrheit der für die jeweilige Lektion relevanten Begriffe wurde richtig erklärt.	Die Transfer-Aufgaben konnten grösstenteils gelöst werden.
x	Mehr als drei Aussagen hinsichtlich für das Erreichen der angegebenen Lernziele (Tab.4) relevanter Unklarheiten wurden geäußert.	Die Mehrheit der für die jeweilige Lektion relevanten Begriffe konnte nicht richtig erklärt werden.	Die Transfer-Aufgaben konnten nicht gelöst werden.

Nach der Durchführung von fünf Akzeptanzbefragungen (Phase 1 der Akzeptanzbefragungen, Abb. 5) war ein Sättigungseffekt (Reinmann, 2022) feststellbar. Die Befragungsdaten wurden analysiert und aus den Ergebnissen notwendige Adaptionen der Lernangebote abgeleitet. Die Schlussfolgerungen für die Ausschärfung der dem Design der Lerngelegenheiten zugrundeliegenden Design-Kriterien sowie für das Re-Design der Lernangebote der Moodle-Lernumgebung werden in den Abschnitten 7.4. und 7.6. dieses Artikels angeführt. Nach erfolgter bedarfsorientierter Adaption

der Lerngelegenheiten der digitalen Lernumgebung, wurden zwei weitere Akzeptanzbefragungen (Phase 2 der Akzeptanzbefragungen, Abb. 5) umgesetzt. Basierend auf den Rating-Kriterien aus Tabelle 7 wurden die kodierten Aussagen der Studierenden in den Akzeptanzbefragungen aus Phase 1 und Phase 2 geratet (Tab. 8).

Für insgesamt 7 dreigliedrige Akzeptanzbefragungen zu jeweils 5 Lektionen der Moodle-Lernumgebung wurden 105 Rating-Urteile vergeben. Die einzelnen Rating-Urteile können Tabelle 8 entnommen werden. 20 % der 105 Abschnitte der Akzeptanzbefragungen ($N_{Abschnitte} = 21$) wurden kommunikativ validierend geratet. Diese Rating-Urteile werden in Tabelle 8 unterstrichen dargestellt. Für 4,2 % der Abschnitte ($N_{Abschnitte} = 4$) konnte dabei kein einheitliches Rating-Urteil erzielt werden. Diese Rating-Urteile wurden in Tabelle 8 mit einem Schrägstrich gekennzeichnet.

Die auf Basis der Ergebnisse der ersten fünf Akzeptanzbefragungen (Phase 1 der Akzeptanzbefragungen) überarbeitete Moodle-Lernumgebung inklusive des auf Basis der Ergebnisse entwickelten Handouts (Abschnitt 7), diente als Grundlage für die Durchführung zweier weiterer Akzeptanzbefragungen (Phase 2 der Akzeptanzbefragungen). Wie in Tabelle 8 ersichtlich, kann aufgrund der Ergebnisse dieser beiden weiteren Befragungen die Annahme abgeleitet werden, dass sich die unter 7.4. beschriebenen, umgesetzten Adaptionen als lernwirksam und hilfreich erweisen. Dies wird insbesondere in Zusammenhang mit der praktischen Umsetzung einer komplexen Transfer-Aufgabenstellung zu Physical Computing mit Arduino (Lektion 5 der Moodle-Lernumgebung) deutlich. Anhand dieser Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen kann die digitale Moodle-Lernumgebung re-designed (Abschnitt 7.6.) und in den nächsten Design-Zyklus, die Umsetzung im Rahmen eines realen Lehrveranstaltungs-Settings, überführt werden.

Tab. 8. Rating der Akzeptanzbefragungen laut Kriterien (Tab. 7); unterstrichene Urteile: kommunikative Validierung; TN = Teilnehmer:in; „/“: unklares Rating-Urteil (Mandl et al., 2022b).

		Phase 1					Phase 2	
		TN 1	TN 2	TN 3	TN 4	TN 5	TN 6	TN 7
Begriffliche Klärung	Akzeptanz	<u>~/+</u>	~	~	~	<u>~</u>	~	~
	Paraphrasierung	+	+	+	+	~	+	+
	Transfer	+	~	+	+	~	+	+
Hardware – Das Arduino Board	Akzeptanz	~	<u>x</u>	+	<u>+/~</u>	+	~	~
	Paraphrasierung	+	~	<u>~</u>	~	~	<u>±</u>	+
	Transfer	+	x	<u>±</u>	+	+	+	+
Hardware – Sensoren und Aktoren	Akzeptanz	<u>~/-</u>	~	~	~	+	~	<u>±</u>
	Paraphrasierung	+	<u>~</u>	~	+	+	+	+
	Transfer	+	~	~	+	<u>~</u>	~	<u>±</u>
Software – Die Arduino IDE	Akzeptanz	~	~	~	+	<u>±</u>	+	<u>~</u>
	Paraphrasierung	+	~	+	<u>±</u>	+	+	~
	Transfer	+	<u>x/~</u>	~	+	+	+	~
Physical Computing mit Arduino	Akzeptanz	x	x	~	~	x	<u>±</u>	+
	Paraphrasierung	~	x	~	+	~	+	+
	Transfer	<u>x</u>	x	<u>x</u>	<u>x</u>	x	<u>±</u>	~

7 Ergebnisse und Implikationen

Die Inhalte der Akzeptanzbefragungen wurden qualitativ, evaluativ nach Kuckartz (Kuckartz, 2018) analysiert. Anhand der Ergebnisse lassen sich die unter 6.1. formulierten Forschungsfragen beantworten.

7.1 Forschungsfrage 1: Vermittlung von theoretischem Grundwissen zu Arduino

Die Moodle-Lernumgebung ist das Kernstück der Selbstlernphase innerhalb des Flipped Classroom Formates der Lehrveranstaltung (Abb. 4) und dient dazu, den Studierenden eine grundlegende Wissensbasis über die Arbeit mit Arduino zu vermitteln, sodass die Studierenden in der anschließenden Präsenzphase kollaborativ an Arduino-Projekten arbeiten können.

Aus den Angaben der Studierenden im Rahmen der Akzeptanzbefragungen lässt sich schliessen, dass die Moodle-Lernumgebung diesen Anforderungen durchaus entspricht und als digitales Tool zur Vermittlung grundlegenden Arduino-Wissens in die Selbstlernphase des Flipped Classroom Formates der Lehrveranstaltung integriert werden kann. Dies wird insbesondere durch die Paraphrasierungen der Studierenden zu den Inhalten der einzelnen Lektionen (Tab. 8) deutlich. Die Transferaufgaben lassen auf die Fähigkeit der Studierenden schliessen, ihre erworbenen Grundkenntnisse auf einfache, gegenstandsbezogene Aufgaben anzuwenden.

Alle Studierenden ($N_{\text{Studierende}} = 7$) konnten zumindest die Mehrheit der relevanten Begriffe rund um Eingebettete Systeme, Physical Computing, Computational Thinking sowie zum Aufbau und zur Funktionsweise eines Arduino-Boards, der Sensoren und der Arduino-Software erklären (Tabelle 8: Paraphrasierung Lektionen 1 bis 4). Als herausfordernd gestaltete sich für die Studierenden die Erklärung der Funktion einer Bibliothek im Zuge der Arbeit mit der Arduino-Software (Tabelle 9: Paraphrasierung Lektion 5).

Nach relativ kurzer Bearbeitung (durchschnittlich 2,5 Stunden) der digitalen Lernumgebung konnten die Studierenden somit bereits die für die Umsetzung der digitalen Messwerterfassung mit Arduino relevanten Inhalte zusammenfassen und in eigenen Worten wiedergeben.

7.2 Forschungsfrage 2: Vorbereitung auf die praktische Umsetzung der theoretischen Inhalte zum System Arduino

Die Studierenden befassen sich im Zuge der Bearbeitung der Moodle-Lektionen mit theoretischen Informationen rund um den Aufbau und die Funktionsweise eines Arduino-Boards, der Arduino-Software sowie der Sensoren. Die praktische Umsetzung des Erlernten mit einem Arduino-Board ist nicht Teil der Lerngelegenheiten des Moodle-Kurses. Die Bearbeitung der digitalen Lernumgebung in der Selbstlernphase soll jedoch eine gute Ausgangsbasis für die erfolgreiche Umsetzung eines Arduino-Projekts in der Präsenzphase liefern (Abb. 4). Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Akzeptanzbefragungen erhoben, inwieweit Studierende dazu in der Lage sind, ihr erworbenes, theoretisches Wissen praktisch umzusetzen. Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, welche Lerngelegenheiten für die an die Selbstlernphase anschließende Präsenzphase entwickelt werden müssen, um den Studierenden die praktische Anwendung der theoretischen Grundkenntnisse aus der digitalen Lernumgebung zu erleichtern.

Im Zuge der Akzeptanzbefragungen konnten die Studierenden das in den Moodle-Lektionen erlernte Wissen grösstenteils in praktische Aufgabenstellungen transferieren (Tabelle 8: Transfer Lektionen 1 bis 4). Ein Grossteil der Studierenden ($N_{\text{Studierende}} = 5$) konnte eingebettete Systeme des Alltags nennen sowie die persönlichen Kompetenzen im Bereich des Computational Thinking reflektieren. Insbesondere die Erklärung des Aufbaus und der Funktionsweise eines Arduino-Boards, inklusive des Anschliessens des Boards an den Laptop konnten von den Studierenden ($N_{\text{Studierende}} = 6$) erfolgreich umgesetzt werden. Beim Anschluss eines Sensors an das Arduino-Board äusserten hingegen einige Studierende ($N_{\text{Studierende}} = 4$) Schwierigkeiten. Das Laden eines Beispiel-Codes aus der Arduino-Entwicklungsumgebung auf das Arduino-Board sowie die Analyse des Beispiel-Codes haben ebenso grösstenteils funktioniert ($N_{\text{Studierende}} = 4$).

Die Ergebnisse zeigen demzufolge, dass die Studierenden einfache Arduino-Anwendungen auf Basis der Informationen der Moodle-Lernumgebungen erfolgreich umsetzen konnten.

Die Aussagen der Studierenden im Zuge der Akzeptanzbefragungen deuten jedoch darauf hin, dass die entlang der Design-Kriterien entwickelte Moodle-Lernumgebung in dieser Form nicht als Grundlage für die Umsetzung komplexer Arduino-Anwendungen, wie eines Projektes zur digitalen Messwerterfassung, dienen kann. In Lektion 5 der Moodle-Lernumgebung „Physical Computing mit Arduino“ werden die grundlegenden Inhalte der Lektionen 1 bis 4 zum Aufbau und zur Funktionsweise des Arduino-Boards, der Sensoren und der Arduino-Software miteinander verknüpft. Ausserdem werden Möglichkeiten aufgezeigt, bestehende Codes und Bibliotheken aus dem Internet zu recherchieren und zu implementieren. Die Funktionsweise des Seriellen Monitors zur Darstellung von Messwerten innerhalb der Arduino-Entwicklungsumgebungen ist ebenso Teil dieser Lektion.

Alle Studierenden aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen ($N_{\text{Studierende}} = 5$) hatten grosse Probleme bei der Umsetzung der Inhalte aus Lektion 5 „Physical Computing mit Arduino“ im Rahmen einer Aufgabenstellung zur Messung der Luftqualität mit einem Air Quality Sensor (Tabelle 8: Transfer Lektion 5). Insbesondere die Installation von Bibliotheken im Library Manager der Arduino-Entwicklungsumgebung bereitete diesen Studierenden ($N_{\text{Studierende}} = 4$) Schwierigkeiten. Ausserdem äusserten die Studierenden aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen ($N_{\text{Studierende}} = 4$) Probleme, Abschnitte eines Codes zur Darstellung von Messwerten im Seriellen Monitor der Entwicklungsumgebung zu verändern. Auftretende Fehlermeldungen irritierten einige Studierende zusätzlich im Zuge der Arbeit mit dem Air Quality Sensor.

Den beiden Studierenden aus Phase 2 der Akzeptanzbefragungen war es nach der Adaption der Lerngelegenheiten (Abschnitt 7.4 und 7.6) mithilfe des Handouts und aufgrund der zusätzlichen Hilfestellungen im Moodle-Kurs möglich, die Inhalte von Lektion 5 „Physical Computing mit Arduino“ fachgerecht und vollständig bezogen auf die relevanten Kern-Ideen zu paraphrasieren sowie die gestellten Transfer-Aufgaben zu lösen. Ausserdem tätigten im Kontext dieser Lektion beiden Personen, selbst auf Nachfrage, keine Aussagen hinsichtlich unverständlicher oder irreführender Elemente.

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen, dass die Studierenden nach dem Bearbeiten der Inhalte der Moodle-Lernumgebung durchaus dazu in der Lage sind, einfache praktische Aufgabenstellungen mit Arduino zu lösen, nicht aber komplexe Problemstellungen zu bearbeiten.

Durch die Ausschärfung der Design-Kriterien und das Re-Design der Lerngelegenheiten (Abschnitt 7.4 und 7.6) sollen die Vorbereitung der Studierenden auf die Arbeit mit Arduino in der Präsenzphase besser an ihre Bedürfnisse angepasst und dadurch lernwirksamer gemacht werden.

7.3 Forschungsfrage 3: Lernförderliche Aspekte

Alle Studierenden ($N_{\text{Studierende}} = 7$) artikulierten, dass der Moodle-Kurs und die einzelnen Lerngelegenheiten strukturiert und logisch aufgebaut sind. Besonders positiv in Bezug auf die Struktur der digitalen Lernumgebung wurde hervorgehoben, dass zu Beginn der jeweiligen Lektion die Lernziele dargestellt werden und am Ende bzw. im Zuge der jeweiligen Lektion Aufgabenstellungen und Kompetenz-Checks Feedback über den Lernerfolg geben. Die Texte in den einzelnen Lektionen wurden grösstenteils als angenehm zu lesen und gut verständlich wahrgenommen. Als besonders positiv wurden von den Studierenden ($N_{\text{Studierende}} = 7$) die alltagsnahen Beispiele und realitätsnahen Erklärungsangebote hervorgehoben. Die integrierten Grafiken, Abbildungen und Anschluss-Skizzen empfanden die Studierenden ($N_{\text{Studierende}} = 5$) ebenso als hilfreich für das Verständnis. Das in die Lernumgebung integrierte Video zum Aufbau und zur Funktionsweise der Arduino-Entwicklungsumgebung wurde von vielen Studierenden ($N_{\text{Studierende}} = 4$) positiv erwähnt. Die Verweise auf unterschiedliche Webseiten zu Informationen rund um Arduino, Sensoren, Beispiel-Codes und Bibliotheken wurden ebenso als hilfreich wahrgenommen ($N_{\text{Studierende}} = 3$).

7.4 Forschungsfrage 4: Unverständliche und irreführende Aspekte

Nachfolgend werden die von den Studierenden im Rahmen der Akzeptanzbefragungen geäusserten irreführenden oder unverständlichen Aspekte erläutert. Ausserdem wird angeführt, inwieweit auf diese Aussagen hinsichtlich der Weiterentwicklung der einzelnen Lerngelegenheiten für deren erneute Erprobung in Form von Phase 2 der Akzeptanzbefragungen eingegangen wurde.

Im Zuge von Lektion 1 der Moodle-Lernumgebung zur Klärung von für die Arbeit mit Arduino relevanten Begrifflichkeiten, äusserten Studierende aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen ($N_{\text{Studierende}} = 4$) Schwierigkeiten, die Begriffe Eingebettetes System und Physical Computing voneinander zu unterscheiden. Für die Studierenden war das Lösen der in diese Lektion 1 integrierten Aufgabenstellungen aus diesem Grund teilweise schwierig (Tabelle 8: Bewertung der Akzeptanz Lektion 1). Erklärungen anhand von Beispielen wären für die Studierenden hilfreich für das Verständnis gewesen. Diese Reaktion auf das Lernangebot führte zur Ausschärfung der Begriffe Eingebettetes System und Physical Computing in der Lernumgebung sowie zur Implementierung alltagsnaher Erklärungsangebote. Ausserdem wurden Scaffolds (Arnold et al., 2017) im Sinne von Musterlösungen in die Lernumgebung eingebaut. Die begriffliche Klärung von eingebetteten Systemen und Physical Computing konnte auch von den beiden Studierenden aus Phase 2 der Akzeptanzbefragungen nicht problemlos umgesetzt werden. Demzufolge muss an dieser Stelle für die Implementierung der Moodle-Lernumgebung in die Lehrveranstaltung eine erneute Adaption im Sinne noch detailreicherer und noch stärker an Alltagsbeispiele angelehnter Erklärungen der beiden Begriffe erfolgen.

Studierende aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen ($N_{\text{Studierende}} = 2$) merkten an, dass sie eine Abbildung zu analogen und digitalen Schaltkreisen im Erklärungsangebot von Lektion 2 des Moodle-Kurses mit dem inhaltlichen Fokus auf die Hardware des Systems Arduino irritiere (Tabelle 8: Bewertung der Akzeptanz Lektion 2). Demzufolge wurde die Abbildung aus der Lernumgebung entfernt. Diese Reduktion von für das Lernen irrelevanter, oder gar irreführender Darstellungen entspricht Design-Kriterium K (Kohärenzprinzip nach Mayer (2009)).

Zur Arbeit mit Sensoren und Aktoren (Lektion 3) wurde in Phase 1 der Akzeptanzbefragungen mehrfach ($N_{\text{Studierende}} = 4$) angemerkt, dass sich der Anschluss von Sensoren mithilfe von Erweiterungsshields (diese bieten u.a. ergänzend zum Arduino-Board zusätzliche Anschlussmöglichkeiten) als komplex erweisen würde. Die Studierenden aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen gaben insbesondere im Zuge der Transferübung an, nähere Informationen und graphische Darstellungen zur Funktionsweise von Erweiterungsshields und Anschlussmöglichkeiten zu benötigen (sTabelle 8: Bewertung der Akzeptanz sowie Transfer Lektion 3).

Das Informationsangebot in der Moodle-Lernumgebung wurde daraufhin adaptiert und erweitert. Scaffolds in Form graphischer Schritt-für-Schritt-Anleitungen zur Verwendung von Erweiterungsshields wurden implementiert. Trotz dieser Adaptionen wurden die Informationen zum Erweiterungsshield auch von einer Person aus Phase 2 der Akzeptanzbefragungen als irritierend wahrgenommen. An dieser Stelle ist demnach eine weitere Adaption zu setzen, bevor die Lernumgebung in einem neuen Design-Zyklus erprobt wird. Insbesondere ist es notwendig, eine Lerngelegenheit zur Anwendung eines Erweiterungsshields zu bieten. Eine solche Lerngelegenheit zur Wiederholung des theoretischen Wissens und zu dessen praktischen Anwendung wird in der Lehrveranstaltung anknüpfend an die Selbstlernphase, in der Präsenzphase, umgesetzt. Hier bekommen die Studierenden Sensoren, die sie in Kleingruppen, unterstützt durch Lehrende, mittels Erweiterungsshield anschliessen und bedienen sollen (Abb. 4: Anwendung).

Der Einsatz der Programmiersprache zur Veränderung von Code-Abschnitten fiel den Studierenden aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen ($N_{\text{Studierende}} = 4$) im Zuge von Lektion 4 der Moodle-Lernumgebung mit dem Schwerpunkt Arduino-Software schwer. Die Studierenden artikulierten (Tabelle 8: Bewertung der Akzeptanz Lektion 4), dass die Bereitstellung von Beispiel-Algorithmen die Schwierigkeit des selbstständigen Einsatzes der Programmiersprache senken würde.

Die Charakteristika von Bibliotheken sowie deren Nutzen zu verstehen bzw. Bibliotheken selbstständig zu installieren, empfanden 4 Studierende aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen als herausfordernd. Aufgrund dieser enormen Schwierigkeiten wurde das Informationsangebot zu diesem Thema intensiv verändert und erweitert. Das Re-Design erwies sich in Phase 2 der Akzeptanzbefragungen als wirksam. Keine:r der beiden Studierenden äusserte, auch bei Nachfragen diesbezüglich, Schwierigkeiten oder Unklarheiten in diesem Zusammenhang.

Im Rahmen der Akzeptanzbefragungen äusserten Studierende aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen Lektionen-übergreifend mehrfach ($N_{Studierende} = 4$), dass eine Zusammenfassung relevanter Inhalte hilfreich für das selbstständige Arbeiten mit Arduino wäre. Ein Handout, das die wichtigsten Inhalte der Moodle-Lernumgebung komprimiert abbildet und den Studierenden als Unterstützung im Rahmen der Bearbeitung der Moodle-Lektionen dient, wurde erstellt. Das Handout bildet unter anderem grundlegende Algorithmen, allgemeine Regeln der Programmiersprache und Informationen zu Bibliotheken ab. Scaffolds im Sinne von Schritt-für-Schritt-Anleitungen zur Installation und Arbeit mit Bibliotheken wurden zusätzlich in das Handout integriert. In Phase 2 der Akzeptanzbefragungen wurde das Handout von einer Person als hilfreich wahrgenommen, während die zweite Person keine Hilfe benötigte und das Handout demzufolge nicht verwendete, um die Aufgabenstellungen im Rahmen der Akzeptanzbefragung zu lösen. Daran zeigt sich, dass das Handout die Funktion eines bedarfsorientierten Scaffolds (Arnold et al., 2017) für die Studierenden der Stichprobe erfüllt.

Ausserdem merkten Studierende aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen ($N_{Studierende} = 2$) Lektionen-übergreifend an, dass ihnen Lösungen zu den von ihnen absolvierten Aufgabenstellungen innerhalb der Moodle-Lernumgebung helfen würden, ihr Wissen besser einschätzen zu können. Diese Reaktion auf das digitale Lernangebot führte zur Implementierung von Auswertungen zu von Studierenden absolvierten Aufgabenstellungen und Kompetenz-Checks.

Studierende aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen ($N_{Studierende} = 3$) äusserten, dass sie, insbesondere für die Arbeit mit Sensoren und den Umgang mit der Programmiersprache, ein persönliches Hilfeangebot durch Lehrende benötigen würden. Davon abgeleitet wurde für die Implementierung der Moodle-Lernumgebung in die Lehrveranstaltung und die erstmalige vollständige Umsetzung der Lehrveranstaltung festgelegt, dass die Lektionen zur begrifflichen Klärung (Lektion 1) und zu den Grundlagen der Hard- und Software (Lektionen 2 & 3) von den Studierenden im Rahmen der Selbstlernphase des Flipped Classroom Formates selbstständig und als Vorbereitung auf die erste Lehrveranstaltungseinheit bearbeitet werden. Die Inhalte der Lektionen zur Arduino-Entwicklungsumgebung (Lektion 4) und zum Physical Computing mit Arduino (Lektion 5) werden von den Studierenden in der Präsenzphase der Lehrveranstaltung bearbeitet. Diesen beiden Lektionen vorausgeschaltet, sind die Klärung möglicher aufgetretener Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Bearbeitung der Lektionen in der Selbstlernphase sowie die Vertiefung und Anwendung des in der Selbstlernphase Erlernten in Form einfacher Anwendungsbeispiele. Lektionen 4 und 5 der Moodle-Lernumgebung werden von den Studierenden im Anschluss individuell oder im Team, unterstützt durch Lehrende, bearbeitet. Dadurch kann bei Bedarf eine persönliche und individualisierte Hilfestellung durch Lehrende gewährleistet werden.

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen, dass die Studierenden für das Überführen der in der Moodle-Lernumgebung erlernten theoretischen Grundlagen in praktische Handlungen, Scaffolds (Arnold et al., 2017; Hmelo-Silver et al., 2007) benötigen. Für die an die Selbstlernphase in der Moodle-Lernumgebung anschliessende Präsenzphase wurden im Bereich des Makro-Scaffoldings Adaptionen, wie z.B. die Bereitstellung von Schritt-für-Schritt-Anleitungen, in der Moodle-Lernumgebung umgesetzt und ein unterstützendes Handout erstellt. Mikro-Scaffolds werden im Rahmen der Präsenzphase in der Lehrveranstaltung in Form bedarfsorientierter, individualisierter Hilfestellungen durch Lehrende geboten (Puddu, 2021).

Im Zuge der Interpretation der Ergebnisse gilt es zu beachten, dass die Befragung mit nur sieben Studierenden durchgeführt wurde. Die Studierenden wurden gezielt zur Befragung eingeladen und es kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den Teilnehmer:innen um digitalen Medien gegenüber aufgeschlossene Studierende handelt. Womöglich würden Studierende mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterrichtsfächer im Durchschnitt eher grössere Schwierigkeiten im Umgang mit der Moodle-Lernumgebung zeigen, als es die Ergebnisse der durchgeführten Befragungen darlegen.

7.5 Forschungsfrage 5: Vorliegen von Heterogenität hinsichtlich des Unterrichtsfachs

Die Vorerhebungen zu den Akzeptanzbefragungen (Tabelle 6) zeigen, dass keine:r der Studierenden der Stichprobe Erfahrungen im Umgang mit Arduino zur Akzeptanzbefragung mitbrachte. Ebenso verfügte laut Selbstauskunft der Studierenden nur eine Person über gute Programmierkenntnisse. Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen unterstreichen somit einmal mehr die Aussagen aus den Vorerhebungen zur Entwicklung der Lerngelegenheiten (Abschnitt 4.2.): Aus den Transkripten und Artefakten der Akzeptanzbefragungen konnte rekonstruiert werden, dass sich die Studierenden im Umgang mit digitalen Medien insgesamt nicht besonders sicher fühlen. Schwierigkeiten der Studierenden im Umgang mit USB-Kabeln, Recherchetätigkeiten im Internet und parallel geöffneten Browserfenstern konnten beispielsweise aus den Transkripten dargelegt werden. Bezogen auf relevante Vorerfahrung konnte auf Basis der Vorerhebung zu den Akzeptanzbefragungen und der Transkripte kein Unterschied zwischen den einzelnen mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern festgestellt werden.

Demnach ist es anzunehmen, dass Studierende unterschiedlicher mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterrichtsfächer mit gleich (geringem) Vorwissen in Bezug auf Arduino und Programmieren sich gleichermassen lernwirksam, Grundkenntnisse im Kontext Arduino anzueignen.

7.6 Design-Kriterien und Beiträge zu lokalen Lehr-Lern-Theorien

Der Artikel gibt einen Einblick in die auf empirische Erkenntnisse und theoretische Grundlagen gestützte Entwicklung einer Moodle-Lernumgebung mit dem inhaltlichen Schwerpunkt der digitalen Messwerterfassung mit Arduino als Teil

eines Lehrveranstaltungsformates zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte für die Umsetzung digital transformierten Fachunterrichts. Die entlang von Design-Kriterien entwickelte Moodle-Lernumgebung für den Einstieg in die Arbeit mit Arduino-Mikrocontrollern wurde vor deren erstmalige Umsetzung in der Lehrveranstaltung mittels Akzeptanzbefragungen hinsichtlich für Studierende hilfreicher und irreführender Aspekte untersucht. Nachstehend werden die für die Entwicklung der Moodle-Lernumgebung herangezogenen Design-Kriterien auf Basis der Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen reflektiert und ausgeschärft sowie erste, prospektive Beiträge zu lokalen Lehr-Lern-Theorien formuliert.

7.6.1 Forschungsfrage 6: Ausschärfung von Design-Kriterien

Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen zeigen, dass Design-Kriterium B, die Herstellung eines Alltagsbezuges, im Rahmen der Entwicklung der einzelnen Lerngelegenheiten der Moodle-Lernumgebung adäquat umgesetzt werden konnte, da die Studierenden die alltagsnahen Erklärungen als hilfreich für das Verständnis der Lerninhalte artikulierten. Bezugnehmend auf das formulierte Design-Kriterium C, das Anknüpfen des Erklärungsangebots und der Inhalte an das Vorwissen der Studierenden, muss auf Basis der Akzeptanzbefragungen ergänzt werden, dass von insgesamt sehr geringen Kenntnissen im Bereich der digitalen Medien ausgegangen werden muss. Deshalb wird Design-Kriterium C ausgeschärft und folgendermassen erweitert:

- Bereits grundlegende und allgemeine Fertigkeiten im Umgang mit digitalen Medien werden im Rahmen der Lehrveranstaltung erklärt.

Diese Erkenntnis entspricht auch anderen empirischen Ergebnissen, wie beispielsweise den Erkenntnissen von Finger et.al. (2020).

Design-Kriterium D, das Ermöglichen von Interaktionen mit Mitstudierenden, wurde im Zuge der Entwicklung des Designs der Moodle-Lernumgebung aus Phase 1 der Akzeptanzbefragungen noch nicht berücksichtigt und sollte ursprünglich erst im Design der Präsenzphase des Flipped Classroom Formates der Lehrveranstaltung Anwendung finden. Die Studierenden äusserten jedoch im Rahmen der Akzeptanzbefragungen Schwierigkeiten im selbstständigen Bearbeiten der Inhalte zur Arduino-Entwicklungsumgebung (Lektion 4 der Moodle-Lernumgebung) und zum Physical Computing mit Arduino (Lektion 5 der Moodle-Lernumgebung). Aus diesem Grund wird Design-Kriterium D auch im Kontext der Moodle-Lernumgebung umgesetzt: Das Flipped-Classroom Format wird so gestaltet, dass die Studierenden die Lektionen 1, 2 und 3 der Moodle-Lernumgebung in der Selbstlernphase als Vorbereitung auf die Lehrveranstaltung und die Lektionen 4 und 5 des Moodle-Kurses im Präsenz-Setting, in der Lehrveranstaltung, bearbeiten. Durch diese Organisationsstruktur können sich die Studierenden über die Inhalte der Moodle-Lektionen austauschen und offene Fragen gemeinschaftlich klären. Dem Design-Kriterium E, der Ermöglichung von selbstständigem Lernen und Selbstreflexion unterstützt durch Lehrende, wird dadurch ebenso entsprochen. Die selbstständige Arbeit in den Moodle-Lektionen kann durch das Präsenz-Setting besser von Lehrenden unterstützt und begleitet werden. Die Unterstützung durch Lehrende im Zuge der individuellen Bearbeitung der einführenden Lektionen 1, 2 und 3 im Flipped-Classroom-Setting erfolgt in Form von schriftlichen Feedbacks via Moodle.

Bezogen auf die Inhalte der Moodle-Lektionen zeigt sich, dass die Studierenden teilweise Schwierigkeiten hatten, die für sie grösstenteils völlig neuen Inhalte zu erlernen. Grundlegendes, theoretisches Wissen über den Aufbau und die Funktionsweise des Arduino-Boards, der Sensoren und der Arduino-Entwicklungsumgebung konnte anhand der Lerngelegenheiten innerhalb der digitalen Lernumgebung besser aufgenommen und verstanden werden als komplexere Kenntnisse, wie beispielsweise zur Implementierung von Algorithmen und Bibliotheken in einen Programm-Code. Für die Umsetzung von Aufgabenstellungen, die ein solches, bereits auf die grundlegenden Inhalte der ersten drei Moodle-Lektionen aufbauendes Wissen abverlangen, sind zusätzliche Hilfestellungen für Studierende notwendig. Die Studierenden wurden durch die Bearbeitung der Inhalte der digitalen Lernumgebung nicht ausreichend darauf vorbereitet, die im Rahmen der Moodle-Lektionen erlernten theoretischen Kenntnisse auch praktisch umzusetzen. Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass sich komplexere Aufgabenstellungen nicht für die Integration in die Selbstlernphase eignen. Sie können in die Aufgabenphase der Präsenzphase des Flipped Classroom Formates integriert werden. Bezugnehmend auf Design-Annahme VII, dass das Arbeitsgedächtnis der Studierenden geschont werden kann (Mayer, 2009; Sweller, 2012), werden aus den Ergebnissen der Akzeptanzbefragungen zwei neue Design-Kriterien abgeleitet:

- Die Studierenden werden durch das Bereitstellen eines Handouts zu den Inhalten der digitalen Lernumgebung beim multimedialen Lernen unterstützt.
- Die Studierenden werden durch die Integration von Musterlösungen und Schritt-für-Schritt-Anleitungen beim multimedialen Lernen unterstützt.

Design-Kriterium I, das Schonen des Arbeitsgedächtnisses der Studierenden durch die Verwendung unterschiedlicher Darstellungsformen für Inhalte (Multimediaprinzip), wurde teilweise im Rahmen der Entwicklung der Moodle-Lerngelegenheiten bereits erfolgreich umgesetzt. Die Studierenden äusserten, dass die in die Moodle-Lernumgebung inte-

grierten Videos und Abbildungen hilfreich für ihr Verständnis sind. Da die Studierenden-Aussagen im Zuge der Akzeptanzbefragungen die Notwendigkeit der Umsetzung von Design-Kriterium L bestätigten, gilt es, dieses Design-Kriterium noch intensiver umzusetzen.

Die an den Akzeptanzbefragungen teilnehmenden Studierenden äusserten den Wunsch nach direktem Feedback zu den von ihnen gelösten Aufgabenstellungen. Daraus lässt sich folgende Erweiterung der Design-Kriterien G (alternative Leistungsbeurteilung) und J (Einsatz eines Analysetools zur Überprüfung des Lernerfolgs) ableiten:

- Den Studierenden wird direktes Feedback zur Richtigkeit von im Rahmen der digitalen Lernumgebung gelösten Aufgabenstellungen gegeben, um die Selbsteinschätzung der Studierenden hinsichtlich ihres Lernerfolgs zu steigern und den Studierenden bei Bedarf die Notwendigkeit des Wiederholens von Inhalten aufzuzeigen.

Im Paradigma des Design-Based Research (Abschnitt 3.1.) sind diese hier angeführten Ausschärfungen und Erweiterungen von Design-Kriterien als Erkenntnisse auf Entwicklungsebene anzusehen. Diese Design-Kriterien gelten als handlungsleitend für den nächsten Design-Zyklus.

7.6.2 Forschungsfrage 7: Ableitung erster prospektiver Beiträge zu lokalen Lehr-Lern-Theorien

Neben den Erkenntnissen auf der Ebene der Entwicklung von Lerngelegenheiten werden im Paradigma des Design-Based Research auch Erkenntnisse auf Forschungsebene generiert (Abschnitt 3.1.).

Aus den Akzeptanzbefragungen können für Lehramtsstudierende mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterrichtsfächer ohne Vorkenntnisse im Bereich digitale Messwerterfassung mit Arduino sowie ohne Programmierkenntnisse folgende erste prospektive Beiträge zu lokalen Lehr-Lern-Theorien abgeleitet werden:

- Eine entlang der Design-Kriterien entwickelte Moodle-Lernumgebung kann lernwirksam hinsichtlich des Erlangens theoretischer und grundlegender Kenntnisse über Grundbegriffe zu Physical Computing, über den Aufbau und die Funktionsweise eines Arduino-Boards, der Sensoren und der Arduino-Entwicklungsumgebung sein.
- Eine entlang der Design-Kriterien entwickelte Moodle-Lernumgebung ist in dieser Form als eigenständiges Tool nicht dafür geeignet, Studierende auf die selbstständige Umsetzung digitaler Messwerterfassung mit Arduino vorzubereiten. Dazu sind ergänzend zur Moodle-Lernumgebung Praxiserfahrungen, Austausch mit Mitstudierenden, Unterstützung durch Lehrende sowie zusammenfassende Unterlagen in Form eines Handouts notwendig.

8 Ausblick

Die auf Basis der ausgeschärfen Design-Kriterien weiterentwickelte Moodle-Lernumgebung wurde gemeinsam mit dem gesamten prototypischen Lehrveranstaltungs-Design im Sommersemester 2022 erstmalig mit 17 Studierenden umgesetzt.

Mithilfe eines Mixed-Methods-Ansatzes wurde die Lernwirksamkeit der einzelnen Lerngelegenheiten erhoben. Auf quantitativer Ebene wurden dazu Pre-Mid-Post-Befragungen und auf qualitativer Ebene Reflexionsjournale als Instrumente eingesetzt.

Die Ergebnisse der Analysen führen zu einer erneuten Ausschärfung und bedarfsorientierten Erweiterung von Design-Kriterien sowie zur Formulierung erster, prospektiver Beiträge zu lokalen Lehr-Lern-Theorien als Ausgangspunkt für einen neuen, weiteren Design-Zyklus.

Literaturverzeichnis

- acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften & Joachim Herz Stiftung (Hrsg.). (2022). *MINT Nachwuchsbarometer 2022*. München, Hamburg. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/MINT_Nachwuchsbarometer_2022.pdf
- Allert, H. & Richter, C. (2011). Designentwicklung: Anregungen aus Designtheorie und Designforschung. In M. Ebner & S. Schön (Hrsg.), *Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien: L3T* (2011. Aufl.). Books on Demand.
- Anderson, T. & Shattuck, J. (2012). Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25. <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 21–37. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0053-0>
- Barab, S. (2014). Design-Based Research: A Methodological Toolkit for the Learning Scientist. In R. K. Sawyer (Hrsg.), *Cambridge handbooks in psychology. The Cambridge handbook of the learning sciences* (S. 151–170). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139519526.011>

- Bastian, J. (2017). Lernen mit Medien – Lernen über Medien? Eine Bestandsaufnahme zu aktuellen Schwerpunktssetzungen. *DDS - Die Deutsche Schule*, 109(2), 146–162.
- Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & Kotzebue, L. von. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Messinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungsbilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14–43).
- Beisswenger, M., Borukhovich-Weis, S., Brinda, T., Bulizek, B., Burovikhina, V., Cyra, K., Gryl, I. & Tobinski, D. (2020). Ein integratives Modell digitalitätsbezogener Kompetenzen für die Lehramtsausbildung. In M. Beisswenger, B. Bulizek, I. Gryl & F. Schacht (Hrsg.), *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung* (S. 43–76). Universitätsverlag Rhein-Ruhr. <https://doi.org/10.17185/DUEPUBLICO/73330>
- Beniermann, A., Bergmann, Alexander & Büssing, A. (2021). Ein Like für die Fachdidaktik? Potentiale und Grenzen sozialer Medien für Professionalisierungsprozesse angehender Lehrkräfte am Beispiel Twitter. In D. Graf, N. Graulich, K. Lengnink, H. Martinez & C. Schreiber (Hrsg.), *Digitale Bildung für Lehramtsstudierende: TE@M – Teacher Education and Media*. VS Verlag für Sozialwissenschaften. Preprint.
- Bloom, B. S., Krathwohl, D. R. & Masia, B. B. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals. Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals*. Longmans, Green. <https://books.google.at/books?id=rJNqAAAAMAAJ>
- Brinda, T., Brügggen, N., Diethelm, I., Knaus, T., Kommer, S., Kopf, C., Missomelius, P., Leschke, R., Tilemann, F. & Weich, A. (2019). Frankfurt-Dreieck zur Bildung in der digital vernetzten Welt: Ein interdisziplinäres Modell. In A. Pasternak (Hrsg.), *GI-Edition - lecture notes in informatics (LNI) Proceedings, Informatik für alle: 18. GI-Fachtagung Informatik und Schule, 16.-18. September 2019, Dortmund* (S. 25–33). Gesellschaft für Informatik e.V. (GI). <https://doi.org/10.18420/infos2019-a1>
- Brinda, T., Brügggen, N., Diethelm, I., Knaus, T., Kommer, S., Kopf, C., Missomelius, P., Leschke, R., Tilemann, F. & Weich, A. (2020). Frankfurt-Dreieck zur Bildung in der digital vernetzten Welt. Ein interdisziplinäres Modell. In T. Knaus & O. Merz (Hrsg.), *FraMediale: (Band 7). Schnittstellen und Interfaces: Digitaler Wandel in Bildungseinrichtungen* (S. 157–167). kopaed. <https://doi.org/10.25656/01:22117>
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.). (2010). *Kompetenzen in einer digital geprägten Kultur: Medienbildung für die Persönlichkeitsentwicklung, für die gesellschaftliche Teilhabe und für die Entwicklung von Ausbildungs- und Erwerbsfähigkeit*. Bonn, Berlin. https://www.dlr.de/pt/Portaldata/45/Resources/a_dokumente/bildungsforschung/Medienbildung_Broschuere_2010.pdf
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (Hrsg.). (2020a). *Digitale Schule*. www.digitale-schule.gv.at
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (Hrsg.). (Oktober 2020b). *Digitale Schule: Der 8-Punkte-Plan für den digitalen Unterricht*. Wien. https://digitaleschule.gv.at/wp-content/uploads/2020/10/201015-4_Folder_Digitale_Schule_DINlang_A4_BF.pdf
- Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (Hrsg.). (2018). *Digitales Kompetenzmodell für Österreich: DigComp 2.2 AT*. Wien. https://www.arbeiterkammer.at/ueberuns/zukunftsprogramm/zukunfts-fonds/wien/DigComp_2.2_AT.pdf
- Burde, J.-P. (2018). *Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells* [Dissertation]. Johann Wolfgang Goethe-Universität.
- Castro Benavides, L. M., Tamayo Arias, J. A., Arango Serna, M. D., Branch Bedoya, J. W. & Burgos, D. (2020). Digital Transformation in Higher Education Institutions: A Systematic Literature Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(11). <https://doi.org/10.3390/s20113291>
- Centre for Education Statistics and Evaluation (Hrsg.). (September 2017). *Cognitive load theory: Research that teachers really need to understand*. www.cese.nsw.gov.au
- Design-Based Research Collective (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>
- Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture. (2019). *Key competences for lifelong learning*. <https://data.europa.eu/doi/10.2766/569540>
- Döbeli Honegger, B. (2016). *Mebr als 0 und 1: Schule in einer digitalisierten Welt* (1. Aufl.). hep-Verlag.
- Döbeli Honegger, B. (2021a). Covid-19 und die digitale Transformation in der Schweizer Lehrerinnen- und Lehrerbildung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 39(3), 411–422.
- Döbeli Honegger, B. (2021b, 22. November). *Anforderungen an die Lehrkräftebildung MIT - ÜBER - IN digitalen Medien: Eröffnungsk keynote im Rahmen des 3. Programmkongresses der BMBF-Qualitätsinitiative Lehrerbildung (QLB)*, Berlin. <https://www.youtube.com/watch?v=LwNUspmrUm0&t=821s>
- Doğan, Y., Batdı, V. & Yaşar, M. D. (2021). Effectiveness of flipped classroom practices in teaching of science: a mixed research synthesis. *Research in Science & Technological Education*, 1–29. <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1909553>
- Dresing, T. & Pehl, T. (Hrsg.). (2011). *Praxisbuch Transkription: Regelsysteme, Software und praktische Anleitungen für qualitative ForscherInnen* (2. Aufl.). Dr. Dresing und Pehl GmbH.

- Drossel, K. & Eickelmann, B. (2018). Die Rolle der Lehrerprofessionalisierung für die Implementierung neuer Technologien in den Unterricht: Eine Latent-Class-Analyse zur Identifikation von Lehrertypen. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 31(Digitale Bildung), 166–191. <https://doi.org/10.21240/mpaed/31/2018.06.04.X>
- Drossel, K., Eickelmann, B., Schaumburg, H. & Labusch, A. (2019). Nutzung digitaler Medien und Prädiktoren aus der Perspektive der Lehrerinnen und Lehrer im internationalen Vergleich. In B. Eickelmann, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil & J. Vahrenhold (Hrsg.), *ICLS 2018 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking* (S. 205–240). Waxmann.
- Floridi, L. (2017). Die Mangroven-Gesellschaft: Wie können Menschen und Maschinen zusammenleben. In P. Otto & E. Gräf (Hrsg.), *3THICS: Die Ethik der digitalen Zeit* (1. Aufl.). iRights Media. <https://irights.info/artikel/die-mangroven-gesellschaft-wie-koennen-menschen-und-maschinen-zusammenleben/29353> digitalisierter Auszug aus dem Buch.
- Freese, M., Winkelmann, J., Teichrow, A. & Ullrich, M. (2021). Nutzung von und Einstellungen zu Augmented Reality im Physikunterricht. In S. Habig (Vorsitz), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2020*. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP).
- Geiger, V., Deibl, I. & Zumbach, J. (2019). Flipped Classroom – Ein pädagogisches Fehlkonzept? *Erziehung und Unterricht*, 1(2), 169–179.
- Gesellschaft für Informatik e.V. (Hrsg.). (März 2016). *Dagstuhl-Erklärung. Bildung in einer digitalen vernetzten Welt: Eine gemeinsame Erklärung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Seminars auf Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik GmbH*. Berlin. https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/Dagstuhl-Erklärung_2016-03-23.pdf
- Gilboy, M. B., Heinerichs, S. & Pazzaglia, G. (2015). Enhancing student engagement using the flipped classroom. *Journal of nutrition education and behavior*, 47(1), 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2014.08.008>
- Gokus, S., Ortloff, L. & Lange, T. (2019). Bildung in der digitalen Transformation: Plädoyer für einen Bewusstseinswandel. In A. F. Koch, S. Kruse & P. Labudde (Hrsg.), *Zur Bedeutung der Technischen Bildung in Fächerverbänden* (S. 65–75). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25623-4_6
- Goulart, V. G., Liboni, L. B. & Cezarino, L. O. (2022). Balancing skills in the digital transformation era: The future of jobs and the role of higher education. *Industry and Higher Education*, 36(2), 118–127. <https://doi.org/10.1177/09504222211029796>
- Grafe, S. & Bucher, K. (2018). Gestaltung von Media Labs für die Lehrerinnen- und Lehrerbildung am Beispiel des MET@JMU. *Synergie Fachmagazin für Digitalisierung in der Lehre*(6), 56–59.
- Haagen-Schützenhöfer, C., Fehringer, I. & Hopf, M. (2013). Akzeptanzbefragung zu Optikunterrichtsmaterialien: Farben. In S. Bernholt (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht* (S. 639–641). LIT Verlag.
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2020). Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), Artikel 020152. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020152>
- Harwardt, M. (2019). *Management der digitalen Transformation: Eine praxisorientierte Einführung*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-27337-8>
- Hauck-Thum, U. (2021). Lehrer*innenbildung im Kontext kultureller Veränderungsprozesse. *Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik Online-Magazin des Interdisziplinären Zentrums für Medienpädagogik und Medienforschung an der PH Ludwigsburg*(21). <http://www.medienpaed-ludwigsburg.de/>
- Heuermann, R. (2018). Begriff Digitalisierung und neuzeitliche Technikgeschichte. In R. Heuermann, M. Tomendal & C. Bressemer (Hrsg.), *Digitalisierung in Bund, Ländern und Gemeinden: IT-Organisation, Management und Empfehlungen* (S. 9–50). Springer Berlin Heidelberg.
- Hmelo-Silver, C., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107. <https://doi.org/10.1080/00461520701263368>
- Holländer, M., Greitemann, L. & Melle, I. (2021). Online seminar and online laboratory course on chemistry experiments for schools – Digitalization of a bachelor course for chemistry teacher training. *CHEMKON*, 28, 1–6. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100007>
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU Journal*, (5), 358–364.
- Huwer, J., Thyssen, C. & Vogelsang, C. (2020). Lehre:digital – Erwerb digitaler Lehrkompetenz im fächerübergreifenden Kontext Chemie, Biologie und Physik. In M. Beisswenger, B. Bulizek, I. Gryl & F. Schacht (Hrsg.), *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung* (S. 353–367). Universitätsverlag Rhein-Ruhr.
- Irion, T., Peschel, M. & Schmeinck, D. (2023). Grundlegende Bildung in der Digitalität. Was müssen Kinder heute angesichts des digitalen Wandels lernen? In Irion, Thomas, Peschel, Markus, Schmeinck & Daniela (Hrsg.), *Beiträge zur Reform der Grundschule: Bd. 155. Grundschule und Digitalität. Grundlagen, Herausforderungen, Praxisbeispiele* (S. 18–42). Grundschulverband.
- Jadin, T. (2013). Multimedia und Gedächtnis. Kognitionspsychologische Sicht auf das Lernen mit Technologien. In M. Ebner & S. Schön (Hrsg.), *L3T. Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien* (2. Aufl.). Epubli.

- Jung, W. (1992). Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Hrsg.), *IPN: Bd. 131. Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen, March 4-8, 1991* (S. 278–295). Inst. für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität.
- Kamsker, S., Janschitz, G. & Monitzer, S. (2020). Digital Transformation and Higher Education: A Survey on the Digital Competencies of Learners to Develop Higher Education Teaching. *International Journal for Business Education*(160), 22–41.
- Kastaun, M. & Meier, M. (2020). Freiland digital: Lehren und Lernen mit digitalen Werkzeugen an außerschulischen Lernorten. In S. Becker, J. Messinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 78–81).
- Kim, M. K., Kim, S. M., Khera, O. & Getman, J. (2014). The experience of three flipped classrooms in an urban university: an exploration of design principles. *The Internet and Higher Education*, 22, 37–50. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2014.04.003>
- Kotzebue, L. von & Fleischer, T. (2020). Experimentieren mit digitalen Sensoren - Unsichtbares sichtbar machen. In S. Becker, J. Messinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 58–62).
- Krause, M. & Eilks, I. (2020). Erklärvideos und digitale Messwerterfassung - fachliche, experimentelle und kreative Aspekte kombinieren. In S. Becker, J. Messinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 50–53).
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Aufl.). *Grundlagentexte Methoden*. Beltz Juventa. <http://www.beltz.de/de/nc/verlagsgruppe-beltz/gesamtprogramm.html?isbn=978-3-7799-3682-4>
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2020). *Fokussierte Interviewanalyse mit MAXQDA*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-31468-2>
- Kultusminister Konferenz (Hrsg.). (2016). *Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2017/Strategie_neu_2017_datum_1.pdf
- Kurth, C. & Wodzinski, R. (2018). Messwerterfassung mit dem Arduino in der Lehramtsausbildung. In H. Grötzebauch & V. Nordmeier (Vorsitz), *PhyDid B, Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung - Jahresband 2018*.
- Kwan Lo, C. & Foon Hew, K. (2017). Using “First Principles of Instruction” to Design Secondary School Mathematics Flipped Classroom: The Findings of Two Exploratory Studies. *Educational Technology & Society*, 20(1), 222–236.
- Mahler, D. & Arnold, J. (2017). Wissen und Motivation von Lehrkräften im Umgang mit digitalen Technologien. In J. Messinger-Koppelt, S. Schanze & J. Gross (Hrsg.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen: Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 264–277). Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Mandl, A.; Haagen-Schützenhöfer, C.; Spitzer, P.; Schubatzky, T. (2022a). Digitale Transformation der mathematisch-naturwissenschaftlichen Lehramtsausbildung: Entwicklung und Beforschung eines Masterlehrveranstaltungsformates zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte. In S. Habig & H. von Vorst (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen* (S. 532–535). GDGP.
- Mandl, A., Haagen-Schützenhöfer, C., Spitzer, P. & Schubatzky, T. (2022b). Digitalität im mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachunterricht: Entwicklung und Beforschung einer Masterlehrveranstaltung für die Lehramtsausbildung. In H. Grötzebauch & S. Heinicke (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2022. DPG-Frühjahrstagung, 21.03.-23.03.2022* (S. 161-168). DGP.
- Matriano, M. T. (2023). Balancing of Skills in the Digital Transformation of Education and Employability. *SHS Web of Conferences*, 156, 8004. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202315608004>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (Second edition). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 43–59. <https://doi.org/10.1007/BF02505024>
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- O’Flaherty, J. & Phillips, C. (2015). The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. *The Internet and Higher Education*, 25, 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2015.02.002>
- Oppl, S. (2018). Zum Umgang mit Heterogenität in gestaltungsorientierten Lehrveranstaltungen durch Flipped-Classroom-Formate und Design-Thinking-Projekte. In J. Weissenböck, W. Gruber, C. F. Freisleben-Teutscher, J. Haag & S. Hemmer (Hrsg.), *Problembasiertes Lernen, Projektorientierung, forschendes Lernen & beyond: Beiträge zum 7. Tag der Lehre an der FH St. Pölten am 18.10.2018* (1. Aufl., S. 27–39). ikon Verlag.
- Ordóñez, J. G. (2022). ICT in the digital transformation of education in schools in Southern Spain in the context of post-pandemic learning. *European School Education Platform*.
- Petko, D., Döbeli Honegger, B. & Prasse, D. (2018). Digitale Transformation in Bildung und Schule: Facetten, Entwicklungslinien und Herausforderungen für die Lehrerinnen- und Lehrerbildung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 36(2), 157–174.
- Pettersson, F. (2021). Understanding digitalization and educational change in school by means of activity theory and the levels of learning concept. *Education and Information technologies*, 26(1), 187–204. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10239-8>

- Puddu, S. (2021). Zwei Beispiele für Gelingensbedingungen für Forschendes Lernen im Chemieunterricht. *PlusLucis*(1), 8–11. https://www.pluslucis.org/ZeitschriftenArchiv/2021-1_PL.pdf
- Pusch, A. (2019). Arduino im Physikunterricht. *Physik Journal*, 18(5), 26–29.
- Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu* (JRC Science for Policy Report JRC107466). Luxemburg.
- Reinmann, G. (2007). Innovationskrise in der Bildungsforschung: Von Interessenkämpfen und ungenutzten Chancen einer Hard-to-do-Science. In G. Reinmann (Hrsg.), *Der Nutzen wird vertagt: Bildungswissenschaften im Spannungsfeld zwischen wissenschaftlicher Profilbildung und praktischem Mehrwert* (S. 198–220). Pabst Science Publ.
- Reinmann, G. (2022). Was macht Design-Based Research zu Forschung? *EDeR. Educational Design Research*, 6(2), 1–22. <https://doi.org/10.15460/eder.6.2.1909>
- Reinmann, G. & Sesink, W. (2011). *Entwicklungsorientierte Bildungsforschung: Diskussionspapier*. https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2011/11/Sesink-Reinmann_Entwicklungsforschung_v05_20_11_2011.pdf
- Richter, C. & Allert, H. (2017). Design as critical engagement in and for education. *EDeR. Educational Design Research*, 1(1), 1–20. <https://doi.org/10.15460/eder.1.1.1023>
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In D. Krüger (Hrsg.), *Springer-Lehrbuch. Theorien in der biomedizinischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden ; mit 12 Tabellen* (S. 69–79). Springer.
- Rohrbach-Lochner, F. (2019). Design-Based Research zur Weiterentwicklung der chemiedidaktischen Lehrerbildung zu Schülervorstellungen: Entwicklung und Evaluation eines an Forschendem Lernen orientierten Seminar-konzepts. In A. Marohn (Hrsg.), *Lernen in Naturwissenschaften: verstehen und entwickeln*. Logos Verlag.
- Sajons, C. M. (2020). *Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren: Kontextualisierung, Problemorientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln. Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 302*. Logos Verlag. <https://www.doabooks.org/doab?func=fulltext&uiLanguage=en&rid=49255>
- Schanze, S., Schneeweiss, N. & Sieve, B. (2020). Kompetenzen zur digitalen Messwerterfassung fördern. In S. Becker, J. Messinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 54–57).
- Schmid, M. & Petko, D. (2020). „Technological Pedagogical Content Knowledge“ als Leitmodell medienpädagogischer Kompetenz. *Medienpädagogik (Medienpädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung) (Jahrbuch Medienpädagogik)*, 17(Jahrbuch Medienpädagogik), 121–140. <https://doi.org/10.21240/mpaed/jb17/2020.04.28.x>
- Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J. & Shin, T. S. (2009). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK):: The Development and Validation of an Assessment Instrument for Preservice Teachers. *Journal of Research on Technology in Education (JRTE)*, 42(2), 123–149.
- Schneider, R. U. (1. Februar 2002). Eine Revolution aus 0 und 1: Was bedeutet digital? -Über die grosse Karriere der kleinsten Informationseinheit. *Neue Zürcher Zeitung online*. <https://www.nzz.ch/folio/eine-revolution-aus-0-und-1-ld.1618236?reduced=true>
- Scott, E. E., Wenderoth, M. P. & Doherty, J. H. (2020). Design-Based Research: A Methodology to Extend and Enrich Biology Education Research. *CBE life sciences education*, 19(3), Artikel es11, 1-12. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-11-0245>
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Stalder, F. (2016). *Kultur der Digitalität*. Suhrkamp.
- Stalder, F. (2021). Was ist Digitalität? In U. Hauck-Thum & J. Noller (Hrsg.), *Was ist Digitalität?* (S. 3–7). Springer Berlin Heidelberg.
- Stinken-Rösner, L. (2021). Implementation digitaler Medien in die naturwissenschaftliche Lehramtsausbildung. In C. Maurer, K. Rincke & M. Hemmer (Vorsitz), *Fachtagung der Gesellschaft für Didaktik 2020*.
- Stokes, D. E. (1997). *Pasteur's quadrant: Basic science and technological innovation*. Brookings Institution Press.
- Sweller, J. (2012). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 19–30). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.003>
- Tondeur, J., Petko, D., Christensen, R., Drossel, K., Starkey, L., Knezek, G. & Schmidt-Crawford, D. A. (2021). Quality criteria for conceptual technology integration models in education: bridging research and practice. *Educational Technology Research and Development*, 69(4), 2187–2208. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09911-0>
- Tondeur, J., van Braak, J., Sang, G., Voogt, J., Fisser, P. & Ottenbreit-Leftwich, A. (2012). Preparing pre-service teachers to integrate technology in education: A synthesis of qualitative evidence. *Computers & Education*, 59(1), 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.009>
- Turan, Z. (2021). Evaluating Whether Flipped Classrooms Improve Student Learning in Science Education: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/00313831.2021.1983868>
- Ulbrich, H. (2021). Prozessmerkmale guten Unterrichts mit Flipped Classroom. *Re&E-SOURCE Online Journal for Research and Education*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.53349/resource.2021.i16.a1003>
- van Braak, J., Tondeur, J. & Valcke, M. (2004). Explaining different types of computer use among primary school teachers. *European Journal of Psychology of Education*, 19(4), 407–422. <https://doi.org/10.1007/BF03173218>

- Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 115–129. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6>
- Weiler, D., Burde, J.-P., Grosse-Heilmann, R., Lachner, A., Riese, J. & Schubatzky, T. (2022). Bedarfsanalyse zu digitalen Medien bei Physik-Lehramtsstudierenden. In S. Habig & H. von Vorst (Vorsitz), *GDCP Jahrestagung*. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDCP), virtuell.
- Weiler, D., Burde, J.-P., Lachner, A., Riese, J., Schubatzky, T. & Grosse-Heilmann, R. (2021). Entwicklung eines Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mittels digitaler Medien. In J. Grebe-Ellis & H. Grötzebauch (Vorsitz), *DPG-Frühjahrstagung*.
- Widodo, A. & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 233–255.
- Wilhelm, T., Tobias, V., Waltner, C., Hopf, M. & Wiesner, H. (2012). Design-Based Research am Beispiel der zweidimensional-dynamischen Mechanik. In S. Bernholt (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht* (S. 31–47). LIT Verlag.
- Zieris, H. (2018). Der Arduino als Medium für den naturwissenschaftlichen Unterricht. *PlusLucis*(1), 4–7.
- Zloklikovits, S. & Hopf, M. (2020). Akzeptanzbefragungen zu elektromagnetischer Strahlung. In S. Habig (Vorsitz), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung*. Symposium im Rahmen der Tagung von Universität Duisburg-Essen, Wien.