

## Digitalität im mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachunterricht:

- Entwicklung und Beforschung einer Masterlehrveranstaltung für die Lehramtsausbildung -

Angelika Mandl\*, Claudia Haagen-Schützenhöfer<sup>+</sup>, Philipp Spitzer<sup>o</sup>, Thomas Schubatzky<sup>+</sup>

\*Universität Graz, DINAMA, Harrachgasse 21, 8010 Graz, Österreich, <sup>+</sup>Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik, <sup>o</sup>Universität Graz, Institut für Chemie, Chemiedidaktik, Heinrichstraße 28/IV, Universitätspl. 5  
angelika.mandl@uni-graz.at

### Kurzfassung

Mit dem Ziel der Professionalisierung angehender Lehrkräfte mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterrichtsfächer für die Umsetzung eines digital transformierten Fachunterrichts, wird an der Universität Graz eine Masterlehrveranstaltung im Paradigma des Design-Based Research entwickelt und beforscht. Basierend auf Vorerhebungen konnten zwei inhaltliche Schwerpunkte für die Lehrveranstaltung abgeleitet werden: digitale Messwerterfassung mit Arduino-Mikrocontrollern und der Umgang mit Falschinformationen in einer Kultur der Digitalität. Dieser Beitrag stellt die Forschungs- und Entwicklungsschritte dar, die zum Design des ersten Teils der Lehrveranstaltung führten, insbesondere zu einer Moodle-basierten Lernumgebung als Einstieg in die Arbeit mit Arduino. Aus einer dazu mit sieben Studierenden durchgeführten Lernprozessstudie im Rahmen von Akzeptanzbefragungen, konnten Implikationen für die Weiterentwicklung der Lerngelegenheiten abgeleitet werden. Das adaptierte Design dieser Lernumgebung wurde im Rahmen der erstmaligen Umsetzung der Lehrveranstaltung im Sommersemester 2022 erprobt.

### 1. Einleitung und theoretischer Hintergrund

Durch digitale Transformationsprozesse in unterschiedlichsten Bereichen des Alltags und des Berufslebens, entwickelt sich eine neue Kultur der Digitalität [1]. Damit einher gehen neue Chancen und Herausforderungen, unter anderem im Zusammenhang mit sozialen Medien und dort kursierenden Falschinformationen. Für eine selbstbestimmte und kritisch reflektierte Teilhabe an dieser sich wandelnden Gesellschaft, benötigen Schüler:innen umfangreiche mathematisch-naturwissenschaftliche und digitale Kompetenzen [2, 3]. Es werden Lehrkräfte benötigt, die auf diese Herausforderungen gut vorbereitet sind, um zielführende Lerngelegenheiten der Bereiche Lernen mit und Lernen über digitale Medien im Unterricht zur Förderung digitaler Kompetenzen zu bieten [4, 5]. Das Ziel des an der Universität Graz angesiedelten Projekts ProDigiTrans (Teilprojekt des Kooperationsprojekts Teaching Digital Thinking) ist die Professionalisierung angehender Lehrkräfte hinsichtlich des reflektierten Einsatzes von digitalen Medien im Fachunterricht. Dazu wird eine Masterlehrveranstaltung für Lehramt-Studierende mathematisch-naturwissenschaftlicher (math.-nawi.) Fächer im Paradigma des Design-Based Research [6] entwickelt und beforscht.

#### 1.1. Digitale Transformation in der Bildung

Aufbauend auf den grundlegenden Prozessen der Digitalisierung [7] können Abläufe neu gedacht, mittels digitaler Technologien revolutioniert und neue, innovative Herangehensweisen eingebracht werden [8]. Bei digitaler Transformation handelt es sich demnach

um einen maßgeblichen Wandel von Strukturen in den Bereichen Gesellschaft, Wirtschaft und Bildung [2, 4, 7, 8].

Dem MINT-Barometer 2022 [3] ist jedoch zu entnehmen, dass sich digitale Transformationsprozesse bislang im Bereich der Bildung noch nicht stark durchgesetzt haben. Lehrkräfte nutzen in den letzten Jahren zwar digitale Medien intensiv für ihren Unterricht, passen die Unterrichtsmethoden jedoch nicht entsprechend an. Bei der digitalen Umsetzung von Unterricht werden häufig die erweiterten Möglichkeiten und Herausforderungen der Arbeit mit digitalen Medien nicht aufgegriffen. Es wird gefordert, dass Lehrkräfte ihren Unterricht digital transformiert gestalten und ihn somit an die neuen, durch die Digitalisierung entstandenen, Gegebenheiten anpassen und weiterentwickeln. Dafür müssen entsprechende Ausbildungsangebote für Lehrkräfte geboten werden [3].

#### 1.2. Lernen mit und über digitale Medien

In Diskussionen über Lehr- und Lernprozesse mit Medienbezug geht es immer mehr um eine ganzheitliche und umfassende Medienpädagogik, die ein Lernen mit digitalen Medien und ein Lernen über digitale Medien beinhaltet und das Ziel einer mehrdimensionalen digitalen Kompetenz verfolgt [5, 9, 10]. Beim Lernen mit Medien gelten digitale Medien als Werkzeug und nicht als Lerngegenstand per se [11]. Lernprozesse sollen mittels digitaler Medien verbessert und digitale Medien als Grundbaustein für eine lernförderliche Umgebung zur Ermöglichung effizienten und nachhaltigen Lernens angesehen werden [5, 9, 12]. Im Gegensatz zum Lernen mit digitalen

Medien rückt das Lernen über digitale Medien das Digitale als eigentlichen Lehr- und Lerngegenstand ins Zentrum. Digitale Medien dienen somit im Zuge des Lernens über digitale Medien nicht bloß als Mittel, sondern vielmehr als Zweck [13]. Ziel des Lernens über digitale Medien ist es, Lernende hin zu einem aktiven, kritischen, selbstständigen und reflektiven Umgang mit digitalen Medien zu führen [12].

### 1.3. Professionalisierung von Lehrkräften

Im internationalen Raum wurde in den vergangenen Jahren eine Vielzahl an Kompetenzmodellen und -rahmen für die Pädagog:innen-Bildung entwickelt, die als Leitlinien zur Professionalisierung von Lehrkräften im Bereich der digitalen Transformation herangezogen werden können. Im Projekt ProDigiTrans wird zur Sicherstellung der Adressierung umfassender digitaler Kompetenzen auf eine Kombination von Kompetenzmodellen und -rahmen zurückgegriffen: Das Technological Pedagogical Content Knowledge (TPaCK) Modell [14] legt den Fokus auf das notwendige Zusammenspiel technischer, pädagogischer und fachlicher Kompetenzen für einen sinnvollen Einsatz digitaler Medien im Fachunterricht. In diesem Modell kommen allerdings digitalitätsbezogene Kompetenzen, sowie das Verständnis für Digitalität zu kurz [15]. Deshalb werden ergänzend dazu die Dagstuhl-Erklärung und das Frankfurt-Dreieck als Rahmung hinsichtlich der zu adressierenden Kompetenzbereiche herangezogen. Diese Modelle gelten als überfachliche Konzepte zur umfassenden Thematisierung von Aspekten und Prozessen der Digitalität [10, 16].

### 1.4. Design-Based Research

Mithilfe des Paradigmas Design-Based Research (DBR) soll der Wissens- und Erkenntnis-Transfer zwischen Forschung und Praxis gewährleistet werden [17], da die im Rahmen fachdidaktischer Forschung gewonnenen Erkenntnisse den Weg in die Bildungspraxis häufig nicht finden [18]. Den Ausgangspunkt für ein DBR-Projekt liefert eine Problemstellung aus der Bildungspraxis [6]. Theoriegeleitete Entwicklung und Forschung werden in Form iterativer Zyklen (Design-Zyklen) miteinander verzahnt [17] (Abb. 1). Auf Entwicklungsebene werden, geleitet von Design-Kriterien, Lerngelegenheiten entwickelt und in der Praxis erprobt. Die Umsetzung dieser Lernangebote wird dabei als Intervention bezeichnet. Design-Kriterien sind als Hypothesen im Hinblick auf das Design der Lehrveranstaltung zu verstehen [19]. Sie leiten die Handlungen im Zuge des iterativen Entwicklungsprozesses. Auf Basis der Reflexion der Intervention eines Design-Zyklus, werden diese Design-Kriterien ausgeschärft. Auf Forschungsebene werden gegenstandsbezogene Theorien (= lokale Lehr-Lern-Theorien) zur wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung generiert [17].

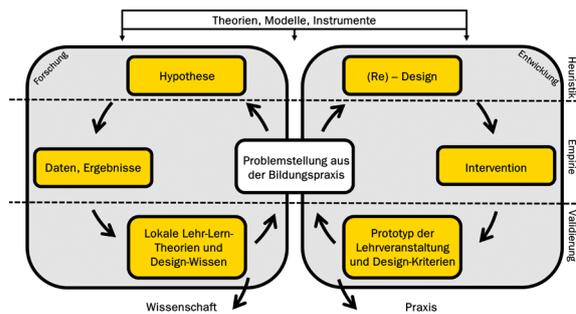


Abb. 1: Design-Based Research Modell (erstellt nach [6])

### 1.5. Akzeptanzbefragung

Die Methode der Akzeptanzbefragung ist auf Jung [20] zurückzuführen und kann als eine Kombination aus Instruktion von Lerninhalten und Interview verstanden werden. Nach der Auseinandersetzung der Teilnehmer:innen mit dem Informationsangebot, folgen die Phase der Paraphrasierung und die Frage nach der Akzeptanz des Lernangebots, bevor Transferaufgabenstellungen zur Überprüfung des Verständnisses zu lösen sind. Ziel einer solchen Befragung ist es, Reaktionen auf das Lernangebot zu erheben und somit unverständliche, irreführende, aber auch für das Verständnis hilfreiche Aspekte zu identifizieren [21, 22].

### 2. Charakterisierung der Problemstellung

Zur theoriegeleiteten Definition von Design-Kriterien und Lernzielen sowie zur Entwicklung eines prototypischen Designs der Lehrveranstaltung für deren erstmalige Umsetzung (Intervention im Design-Zyklus 1), wurden eine Curricula-Analyse sowie Lehrenden- und Studierenden-Befragungen durchgeführt [23]. Damit konnten Lücken im Bereich digitalitätsbezogener Lernangebote innerhalb der bestehenden Ausbildung von Lehrkräften math.-nawi. Fächer im Entwicklungsverbund Süd-Ost (EVSO)<sup>1</sup> erhoben werden. Dies führte zur Charakterisierung der Problemstellung aus der Bildungspraxis (siehe 1.4) als Ausgang für iterative Design-Zyklen.

#### 2.1. Curricula-Analyse

Mit der Analyse von im EVSO bestehenden Bachelor- und Master-Curricula der math.-nawi. Fächer, konnten normativ festgelegte Inhalte mit Bezug zu digitalen Medien in der math.-nawi. Lehramtsausbildung erfasst werden [23].

#### 2.2. Lehrenden- und Studierenden-Befragung

Um genauere Aussagen hinsichtlich der im Rahmen der math.-nawi. Lehramtsstudien adressierten Kompetenzen aus dem Bereich der digitalen Medien tätigen zu können, wurden die Lehrenden (N = 64) der mittels Curricula-Analyse identifizierten Lehrveranstaltungen anhand eines Online-Fragebogens befragt. Parallel dazu wurde eine Bachelor- und Master-Studierenden-Befragung (N = 357) durchgeführt.

<sup>1</sup> Universitäten: Graz, Klagenfurt, TU Graz; Pädagogische Hochschulen: Augustinum, Burgenland, Kärnten, Steiermark

Folgende Konstrukte wurden im Rahmen dieser beiden Befragungen erhoben: Einstellung zum Lernen mit digitalen Medien [24], motivationale Orientierung und wahrgenommene Hemmnisse zum Einsatz digitaler Medien [24], subjektive Normerwartung [24], Selbstwirksamkeitserwartung [24], wahrgenommener Nutzen digitaler Medien [25], Selbsteinschätzung des TPaCK [26], Erfahrung mit digitalen Medien in der Lehramtsausbildung [24, 27], Lernen mit und über digitale Medien im Lehramtsstudium (Studierende), Adressierung digitaler Kompetenzen an die Studierenden (Lehrende) [28].

Aus der Triangulation der Ergebnisse der Befragungen kann abgeleitet werden, dass Studierende math.-nawi. Lehramtsstudien im Rahmen ihres Studiums nur wenig Erfahrung mit digitaler Messwerterfassung sammeln. Ebenso zeigt sich, dass Studierenden größtenteils Lernangebote im Sinne eines Lernens mit digitalen Medien, weniger jedoch im Sinne eines Lernens über digitale Medien geboten werden. Diese Angaben decken sich mit den Ergebnissen der Curricula-Analyse [23].

### 3. Design des ersten Teils der Lehrveranstaltung

In diesem Beitrag wird auf die theoriegeleiteten Designentscheidungen und Handlungsschritte für das Design der Lerngelegenheiten des ersten Teils der Lehrveranstaltung eingegangen.

#### 3.1. Kompetenzziele und Design-Kriterien

Kompetenzmodelle und -rahmen (siehe 1.3.) bilden die normative Setzung digitaler Kompetenzen für Lehrkräfte. Mit der Curricula-Analyse wurde ein Abgleich dieser Modelle mit den in den Curricula des EVSO verankerten Lernangeboten hergestellt. Die Ergebnisse der Befragungen liefern zusätzlich Evidenzen zur Identifikation von Divergenzen zwischen diesen Ebenen. Daraus lassen sich die zu adressierenden Kompetenzziele sowie die inhaltliche Schwerpunktsetzung der geplanten Lehrveranstaltung ableiten. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage des Lehrveranstaltungs-Designs.

Es konnten zwei inhaltliche Schwerpunkte für die Lehrveranstaltung abgeleitet werden: Im ersten Teil werden Kompetenzen aus dem Bereich der digitalen Messwerterfassung adressiert, im zweiten Teil wird der Fokus auf das Verständnis für die Digitalität der Gesellschaft nach Stalder [1] und auf den Umgang mit Falschinformationen gelegt. Zur digitalen Messwerterfassung werden in der Lehrveranstaltung Arduino-Mikrocontroller eingesetzt, da die Studierenden in diesem Bereich noch wenig Erfahrung vorweisen, diese sich jedoch gut für den Einsatz im Unterricht eignen [29, 30].

Der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt auf dem ersten Teil der Lehrveranstaltung, der digitalen Messwerterfassung. Nachstehend werden wichtige Lernziele im Zusammenhang mit dem Einsatz von Arduino-Mikrocontrollern zur digitalen Messwerterfassung dargestellt:

Die Studierenden...

- kennen den Aufbau und die Funktionsweise eines Arduino-Boards sowie der Arduino-Software.
- können mithilfe digitaler Software (Arduino IDE) math.-nawi. Untersuchungen durchführen.
- kennen Chancen und Herausforderungen des Einsatzes von Arduino-Mikrocontrollern im math.-nawi. Fachunterricht.

Zur Übersetzung dieser Ziele in Lerngelegenheiten wurden Design-Kriterien definiert. Design-Kriterien gelten als Leitlinien für das Design der Lehrveranstaltung [6]. Diese wurden aus den Erkenntnissen der Vorerhebungen, einer Literaturrecherche sowie aus allgemeinen und speziellen Lehr-Lern-Theorien, die für die Entwicklung der geplanten Lehrveranstaltung von Relevanz sind, abgeleitet. Für das prototypische Design der Lehrveranstaltung wurden einerseits Design-Kriterien, bezogen auf Aspekte des Lehrens und Lernens im Allgemeinen, definiert. Andererseits wurden spezifische Design-Kriterien formuliert. Diese beziehen sich auf spezielle Aspekte des Lehrens und Lernens mit digitalen Medien. Nachstehend werden die wichtigsten allgemeinen (1-4) und spezifischen (5-6) Design-Kriterien dargestellt, die als Leitlinien zur Entwicklung der Lerngelegenheiten mit Arduino-Mikrocontrollern dienen:

1. Die Inhalte der Lehrveranstaltung knüpfen an das Vorwissen und die Einstellungen der Studierenden zum Thema an [31, 32].
2. Theoretische Implikationen und praktisches Arbeiten werden sinnvoll miteinander verwoben [33].
3. Den Studierenden wird die Möglichkeit der Kollaboration mit Mitstudierenden geboten [33].
4. Den Studierenden werden Möglichkeiten zur Reflexion über die Lerninhalte geboten [33].
5. Der Arduino-Mikrocontroller wird mithilfe von Aufgabenstellungen, die an die Vorkenntnisse der Studierenden anknüpfen, eingeführt [29, 30].
6. Die Arbeit mit Arduino-Mikrocontrollern erfolgt vor dem Hintergrund eines bestimmten, fächerübergreifenden Kontextes [30].

Die Design-Kriterien wurden in Anlehnung an die Semarkonzept-Entwicklung des DiKoLeP-Verbundprojekts formuliert [34].

#### 3.2. Design von Teil 1 der Lehrveranstaltung: Digitale Messwerterfassung mit Arduino

Mit dem Design-Kriterium 1 und aufgrund der aus der Studierenden-Befragung abgeleiteten Heterogenität der Studierenden hinsichtlich ihrer Vorerfahrung und Selbstwirksamkeitserwartung, wird das Ziel verfolgt, Lerngelegenheiten zu konzipieren, die zur Entwicklung eines allgemeinen Grundverständnisses für digitale Messwerterfassung mit Arduino-Mikrocontrollern beitragen.

In Form eines Moodle-Kurses, untergliedert in fünf Lektionen, werden grundlegende Kompetenzen zur Arbeit mit Arduino-Mikrocontrollern adressiert (Tabelle 1). Für das Design der Lerngelegenheiten des Moodle-Kurses gilt unter anderem insbesondere Design-Kriterium 5 als leitend. Anhand von fünf

Lektionen können sich Studierende in ihrem eigenen Lerntempo durch theoretische Informationen, unter anderem zum Aufbau und zur Funktionsweise eines Arduino-Boards, zu Anschlussmöglichkeiten von Sensoren sowie zu Möglichkeiten innerhalb der Arduino-Entwicklungsumgebung, arbeiten. In den Moodle-Kurs integrierte Aufgabenstellungen und Tests dienen der Sicherung des Erlernten. Alltagsbeispiele und alltagsnahe Erklärungsangebote dienen der Anknüpfung an das Vorwissen der Studierenden.

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

**Tab. 1:** Lernziele der 5 Lektionen des Moodle-Kurses zum Einstieg in das Arbeiten mit Arduino

Ziel dieses Moodle-Kurses ist der Aufbau einer möglichst homogenen Wissensbasis aller Studierenden, sodass diese im weiteren Lehrveranstaltungsverlauf dazu befähigt sind, mit anderen Studierenden kollaborativ an einem Projekt mit Arduino-Mikrocontrollern zu arbeiten. Die Einführung in das Arbeiten mit Arduino-Mikrocontrollern wird somit durch das individuelle Arbeiten innerhalb der digitalen Lernumgebung auf Moodle umgesetzt.

Zur Vertiefung dieses Grundlagenwissens und zur Förderung des Erreichens der formulierten Lernziele, wurden für den weiteren Lehrveranstaltungsverlauf Lerngelegenheiten entwickelt, die es den Studierenden ermöglichen, kollaborativ (Design-Kriterium 3) an einem Arduino-Projekt zu arbeiten. Die inhaltliche, fächerübergreifende Rahmung (Design-Kriterium 6) bietet die aktuelle COVID-19 Pandemie. Die

Studierenden bearbeiten mithilfe eines 3D-gedruckten Modellkopfes, Arduino-Boards, Sensoren und Schutzmasken Fragestellungen rund um die Wirksamkeit von (FFP2)-Masken. Mit der Kombination aus digitaler Lernumgebung via Moodle, kollaborativer Projektarbeit und Inputphasen im Rahmen der Lehrveranstaltungseinheiten wird Design-Kriterium 2 umgesetzt und den Studierenden eine sinnvolle Verknüpfung von theoretischen Informationen und Praxiserfahrungen geboten. Das Führen eines digitalen, persönlichen Reflexionsjournals bietet den Studierenden die Möglichkeit zur Reflexion über ihre Arbeit mit Arduino-Mikrocontrollern und die in diesem Kontext ablaufenden Lernprozesse (Design-Kriterium 4).

#### 4. Akzeptanzbefragung: Moodle-Kurs zur Einführung in das Arbeiten mit Arduino

Zur bestmöglichen Anpassung der Lerngelegenheiten des Moodle-Kurses an die Bedürfnisse der Studierenden, wurden Akzeptanzbefragungen (siehe 1.5.) vor der ersten Umsetzung des prototypischen Lehrveranstaltungs-Designs (Intervention in Design-Zyklus 1) durchgeführt.

##### 4.1. Umsetzung

Sieben Studierende, vier männliche, drei weibliche, nahmen an der Akzeptanzbefragung teil. Das Unterrichtsfach Biologie war unter den Teilnehmer:innen drei Mal, Chemie vier Mal, und die Fächer Mathematik und Physik jeweils zwei Mal vertreten. Im Mittel studierten die Teilnehmer:innen zum Zeitpunkt der Befragung sieben Semester. Eine Person schloss erst das dritte Semester, eine bereits das elfte Semester ab. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen, wurden die Teilnehmer:innen im Vorfeld zu ihren Vorerfahrungen und Einstellungen hinsichtlich des Einsatzes von digitalen Medien im Allgemeinen und von (Arduino)-Mikrocontrollern im Speziellen, befragt. Hierbei zeigt sich, dass die Teilnehmer:innen dem sinnvollen und zielgerichteten Einsatz digitaler Medien durchwegs positiv gegenüberstehen. Bezogen auf den Einsatz von Mikrocontrollern gaben nur zwei Personen an, erste Erfahrungen im Umgang mit dem Programmieren eines Mikro:Bits gesammelt zu haben. Niemand gab an, bereits mit Arduino gearbeitet zu haben. Digitale Messwerterfassung war den Studierenden teilweise unter anderem durch Arbeiten mit Sensoren im naturwissenschaftlichen Labor bekannt.

Die Akzeptanzbefragungen wurden in Form von Einzelbefragungen durchgeführt und zu deren Auswertung aufgezeichnet. Nachstehend wird der Ablauf der durchgeführten Akzeptanzbefragungen dargestellt:

- (1) Informationsangebot: Die Studierenden bearbeiteten jeweils eine Lektion des Moodle-Kurses. Im Vorfeld wurden ihnen die Lernziele für die entsprechende Lektion (Tab. 1) dargelegt.
- (2) Frage nach der Akzeptanz: Nach der Bearbeitung jeder Lektion bekamen die Studierenden Fragestellungen zum von ihnen durchgearbeiteten

Lernangebot. Unverständliche, irreführende und für das Verständnis besonders hilfreiche Aspekte wurden dabei erfragt. Eine Verbindung zu den für die jeweilige Lektion definierten Lernzielen wurde hergestellt und erfasst, inwieweit die Lernangebote als passend zum Erreichen dieser Ziele angesehen werden.

- (3) Paraphrasierung: Die Studierenden wurden gebeten, die wichtigsten Inhalte der jeweiligen Lektion zu erklären.
- (4) Transfer: Den Studierenden wurden Transferaufgaben geboten. Für die praktische Umsetzung dieser wurden ein Arduino-Board, ein Erweiterungs-Shield und Sensoren zur Verfügung gestellt. Die Arduino-Entwicklungsumgebung wurde im Zuge der Befragung von den Teilnehmer:innen selbstständig installiert.

Eine Befragung dauerte rund 2,5 Stunden.

#### 4.2. Analyse

Die aufgezeichneten Befragungen wurden transkribiert, wobei auf ein inhaltlich-semantisches Regelsystem zurückgegriffen wurde [35].

Bewertung	Akzeptanz	Paraphrasierung	Transfer
+	Es wurden keine für das Erreichen der angegebenen Lernziele (Tab. 1) relevante Unklarheiten geäußert.	Alle für die jeweilige Lektion relevanten Begriffe wurden richtig erklärt.	Die Transfer-Aufgaben konnten problemlos gelöst werden.
~	Es wurden bis zu 3 Nennungen für das Erreichen der angegebenen Lernziele (Tab. 1) relevante Unklarheiten geäußert.	Die Mehrheit der für die jeweilige Lektion relevanten Begriffe wurde richtig erklärt.	Die Transfer-Aufgaben konnten größtenteils gelöst werden.
x	Es wurden mehr als drei Nennungen für das Erreichen der angegebenen Lernziele (Tab. 1) relevante Unklarheiten geäußert.	Die Mehrheit der für die jeweilige Lektion relevanten Begriffe konnte nicht richtig erklärt werden.	Die Transfer-Aufgaben konnten nicht gelöst werden.

Tab. 2: Rating-Kriterien zur Analyse der Befragungen

Zur qualitativen Inhaltsanalyse der Transkripte nach Kuckartz [36] wurde eine Kombination aus deduktivem und induktivem Kategoriensystem gewählt. Die Gliederung der Akzeptanzbefragung in fünf Lektionen und drei Befragungsteile je Lektion (Akzeptanz, Paraphrasierung, Transfer) wurde übernommen, um daraus insgesamt 22 Ordnungs- bzw. thematische Kategorien zu formulieren [36]. Innerhalb dieses deduktiv festgelegten Kategoriensystems wurden induktiv 91 Unterkategorien erstellt, um Aussagen hinsichtlich unverständlicher bzw. für das Verständnis hilfreicher

Aspekte kategorisieren zu können.

Um innerhalb der definierten Kategorien Rating-Urteile betreffend der Akzeptanz des Lernangebots, des Erfolges der Paraphrasierung sowie der Umsetzung der Transferaufgaben durchführen zu können, wurden ordinal skalierte Rating-Kriterien erstellt [36]. Diese sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Nach der Durchführung von fünf Befragungen (Version 1 des Moodle-Kurses) wurden diese analysiert. Aus den Analyse-Ergebnissen wurden die in Punkt 4.4. angeführten Adaptionen der Lernangebote abgeleitet. Nach der Weiterentwicklung der Lerngelegenheiten wurden zwei weitere Akzeptanzbefragungen (Version 2 des Moodle-Kurses) durchgeführt.

#### 4.3. Ergebnisse

Basierend auf den Kriterien aus Tabelle 2 wurden die kodierten Befragungen zu Version 1 und Version 2 des Moodle-Kurses beurteilt. Insgesamt wurden 105 Rating-Urteile für die sieben Befragungen, unterteilt in jeweils fünf Lektionen mit je drei Befragungsteilen, abgegeben. Diese sind Tabelle 3 zu entnehmen. 20 % (21 Abschnitte) der Akzeptanzbefragungen wurden kommunikativ validierend geratet. Diese Rating-Urteile sind in Tabelle 3 unterstrichen dargestellt. Für 4,2 % (4 Abschnitte) konnte keine Übereinstimmung der Rating-Urteile erzielt werden.

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

Tab. 3: Rating der Akzeptanzbefragungen laut Kriterien (Tab. 2); unterstrichene Urteile: kommunikative Validierung; TN = Teilnehmer:in; „/“: unklares Rating-Urteil

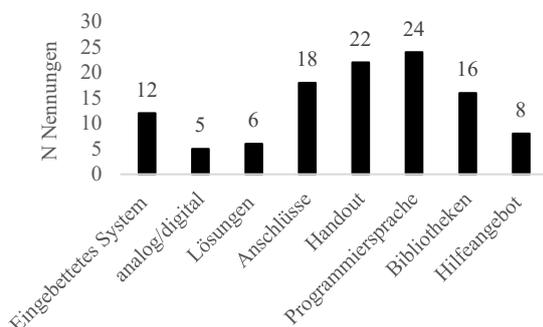
#### 4.4. Diskussion der Ergebnisse

Die qualitative Inhaltsanalyse der Akzeptanzbefragungen zu Version 1 des Moodle-Kurses (5 Befragungen) führte zur Ableitung von insbesondere acht Implikationen zur Weiterentwicklung der digitalen Lernumgebung auf Moodle (Abb. 2).

Hinsichtlich der Klärung von für das Arbeiten mit Arduino grundlegenden Begriffen (Lektion 1) wurde mehrfach (12 Nennungen) geäußert, dass der Begriff Eingebettetes System nur schwer von Physical Computing unterschieden werden kann und eine Erklärung anhand von weiteren Beispielen dafür hilfreich wäre. Demzufolge wurde diese begriffliche Klärung im Moodle-Kurs ausgeschärft und anhand von Alltagsbeispielen verstärkt.

Im Zusammenhang mit dem Arduino-Board und den Erklärungen zu analogen und digitalen Schaltkreisen wurde von den Studierenden angegeben (5

Nennungen), dass sie insbesondere eine in das Lernangebot integrierte Abbildung zur Veranschaulichung von analogen und digitalen Schaltkreisen irritieren würde. Diese Abbildung wurde folglich aus dem Moodle-Kurs entfernt.



**Abb. 2:** Für die Adaption der digitalen Lernumgebung relevante Nennungen, thematisch geordnet

Zur Arbeit mit Sensoren und Aktoren (Lektion 3) wurde mehrfach (18 Nennungen) angemerkt, dass sich der Anschluss von Sensoren mithilfe von Erweiterungsshields als komplex erweisen würde. Die Studierenden gaben an, nähere Informationen zur Funktionsweise von Erweiterungsshields und Anschlussmöglichkeiten zu benötigen.

Als besonders komplex (24 Nennungen) stellten sich im Rahmen der Arbeit mit der Arduino-Software (Lektion 4) das leichte Verändern des Programmcodes zur angepassten Daten-Darstellung und der dafür nötige, zielführende Einsatz der Programmiersprache heraus. Hierzu wurde angeführt, dass vorgefertigte Algorithmen fehlen würden. Viele Studierende (16 Nennungen) hatten beim Umsetzen von Physical Computing mit Arduino (Lektion 5) Probleme, das Prinzip einer Bibliothek zu verstehen und eine solche entsprechend zu installieren.

Themen- und somit Lektionen-übergreifend wurde geäußert (6 Nennungen), dass Lösungen zu den in die Moodle-Lernumgebung integrierten Übungen hilfreich wären, um die eigene Leistung besser einschätzen zu können. Demzufolge wurde für die Studierenden eine Auswertung der von ihnen absolvierten Übungen in den Moodle-Kurs integriert. Ebenso wurde von den Studierenden angemerkt (8 Nennungen), dass sie, insbesondere für das Arbeiten mit Sensoren und den Umgang mit der Programmiersprache, ein Hilfeangebot durch Lehrende benötigen würden. Davon abgeleitet wurde für die erstmalige 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 selbstständig und als Vorbereitung auf die erste Lehrveranstaltungseinheit im Sinne von Flipped-Classroom, bearbeitet werden. Mit den Inhalten der Lektionen zur Software (Lektion 4) und zum Physical Computing (Lektion 5) beschäftigen sich die Studierenden ebenso individuell, jedoch im Präsenz-Setting. Dadurch kann persönliche Hilfeleistung durch Lehrende gewährleistet werden.

Im Rahmen der Akzeptanzbefragungen wurde ebenso Lektionen-übergreifend mehrfach (22 Nennungen) angesprochen, dass ein zusammenfassendes Handout sehr hilfreich für das selbstständige Arbeiten mit Arduino wäre. Es wurde somit ein Handout erstellt, das die wichtigsten Inhalte der Moodle-Lernumgebung komprimiert abbildet. Grundlegende Algorithmen, Informationen zur Programmiersprache und zu Bibliotheken sowie Schritt-für-Schritt-Anleitungen sind ebenso am Handout zu finden.

Die überarbeitete Version dieser ersten Version der Moodle-Lernumgebung inklusive des Handouts diente als Grundlage für die Durchführung zweier weiterer Akzeptanzbefragungen (Version 2). Wie in Tabelle 3 ersichtlich, zeigt sich, dass die durchgeführten Adaptionen hilfreich sind. Dies wird insbesondere in Zusammenhang mit der Umsetzung des Physical Computings (Lektion 5) deutlich. Den beiden Studierenden war es mithilfe des Handouts und aufgrund der zusätzlichen Hilfestellungen im Moodle-Kurs möglich, die Inhalte dieser Lektion erfolgreich zu paraphrasieren sowie die gestellten Transferaufgaben zu lösen. Ebenso wurden von diesen beiden Studierenden keine Aussagen geäußert, die auf für sie irreführende Aspekte innerhalb dieser anspruchsvollen Lektion schließen lassen.

Im Sommersemester 2022 wurde dieses Lehrveranstaltungsdesign erstmalig mit 17 Studierenden umgesetzt. Der Einstieg in das Arbeiten mit Arduino erfolgte anhand der fünf digitalen Lektionen, die auf Basis der Akzeptanzbefragungen adaptiert wurden. Im Anschluss daran wurden Projektarbeiten mit Arduino-Mikrocontrollern zu Forschungsfragen rund um die (FFP2)-Schutzmaske in Kleingruppen umgesetzt.

## 5. Ausblick

Um Einblick in die Lernprozesse der Studierenden zu bekommen und zur Erhebung der Lernwirksamkeit dieses Lehrveranstaltungsdesigns, wird ein Mixed-Methods-Ansatz verfolgt: Auf quantitativer Ebene erfolgt die Analyse von Pre-Mid-Post-Erhebungen und auf qualitativer Ebene die Analyse von Studierendenartefakten, wie z.B. von Reflexionsjournalen. Anhand der Ergebnisse dieser Begleitforschung, wird das Design der Lerngelegenheiten reflektiert. Auf der Ebene der Entwicklung des Lehrveranstaltungsdesigns werden die eingangs formulierten Design-Kriterien ausgeschärft. Sie dienen im anschließenden (Wintersemester 2022/23) Design-Zyklus 2 wieder als handlungsleitend. Auf der Ebene der Forschung werden erste lokale, gegenstandsspezifische, Lehr-Lern-Theorien formuliert, die sich aus den erhobenen Lernprozessen der Studierenden ableiten lassen.

## 6. Literatur

- [1] STALDER, Felix: *Kultur der Digitalität*. Berlin : Suhrkamp, 2016
- [2] GOKUS, Susanne ; ORTLOFF, Luise ; LANGE, Thomas: *Bildung in der digitalen*

- Transformation : Plädoyer für einen Bewusstseinswandel. In: KOCH, Alexander Franz; KRUSE, Stefan; LABUDDE, Peter (Hrsg.): *Zur Bedeutung der Technischen Bildung in Fächerverbänden*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019, S. 65–75
- [3] ACATECH DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (Hrsg.); JOACHIM HERZ STIFTUNG (Hrsg.); IPN - Leibniz-Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (Mitarb.): *MINT Nachwuchsbarmeter 2022*. München, Hamburg, 2022
- [4] PETKO, Dominik ; DÖBELI HONEGGER, Beat ; PRASSE, Doreen: *Digitale Transformation in Bildung und Schule: Facetten, Entwicklungslinien und Herausforderungen für die Lehrerinnen- und Lehrerbildung*. In: *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung* 36 (2018), Nr. 2, S. 157–174
- [5] BASTIAN, Jasmin: *Lernen mit Medien – Lernen über Medien? : Eine Bestandsaufnahme zu aktuellen Schwerpunktsetzungen*. In: *DDS - Die Deutsche Schule* 109 (2017), Nr. 2, S. 146–162
- [6] HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, Claudia ; HOPF, Martin: *Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics*. In: *Physical Review Physics Education Research* 16 (2020), Nr. 2
- [7] HARWARDT, Mark: *Management der digitalen Transformation : Eine praxisorientierte Einführung*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019
- [8] BARRINGTON, Red: *What Is Digital Transformation and What Do I Need To Know About It?* URL <https://blog.oxfordcollegeofmarketing.com/2015/01/09/what-is-digital-transformation-and-what-do-i-need-to-know-about-it/>. – Aktualisierungsdatum: 2016-12-10 – Überprüfungsdatum 2021-05-19
- [9] RAU, Franco: *Lernen mit und über Wikibooks : Erkenntnisse entwicklungsorientierter Fallstudien zur integrativen Medienbildung im Lehramtsstudium*. In: RUMMLER, Klaus; KOPPEL, Ilka; ABMANN, Sandra; BETTINGER, Patrick; WOLF, Karsten (Hrsg.): *Jahrbuch Medienpädagogik 17 : Lernen mit und über Medien in einer digitalen Welt*, 2020 (17), S. 273–296
- [10] GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E.V. (Hrsg.): *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, März 2016
- [11] SCHMID, Ulrich ; GOERTZ, Lutz ; BEHRENS, Julia: *Monitor Digitale Bildung: Die Weiterbildung im digitalen Zeitalter*. – Aktualisierungsdatum: 2017
- [12] WETTERICH, Frank ; BURGHART, Martin ; RAVE, Norbert; WEBER, Annemarie (Mitarb.): *Medienbildung an deutschen Schulen : Handlungsempfehlungen für die digitale Gesellschaft*. Berlin, 2014
- [13] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UNTERRICHT UND KULTUS: *Mit und über Medien lernen – Digitale Bildung an bayerischen Schulen*. URL <https://www.km.bayern.de/extern/erziehung-und-bildung/medien.html> – Aktualisierungsdatum: 2021-03-04 – Überprüfungsdatum 2021-03-04
- [14] MISHRA, Punya ; KOEHLER, Matthew J.: *Technological Pedagogical Content Knowledge : A Framework for Teacher Knowledge*. In: *Teachers College Record* 108 (2006), Nr. 6, S. 1017–1054
- [15] HUWER, Johannes ; IRION, Thomas ; KUNTZE, Sebastian ; SCHAAL, Steffen ; THYSSEN, Christoph: *Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen*. In: *MNU Journal* (2019), Nr. 5, S. 358–364
- [16] BRINDA, Torsten ; BRÜGGEN, Niels ; DIETHELM, Ira ; KNAUS, Thomas ; KOMMER, Sven ; KOPF, Christine ; MISSOMELIUS, Petra ; LESCHKE, Rainer ; TILEMANN, Friederike ; WEICH, Andreas: *Frankfurt-Dreieck zur Bildung in der digital vernetzten Welt : Ein interdisziplinäres Modell*. In: PASTERNAK, Arno (Hrsg.): *Informatik für alle : 18. GI-Fachtagung Informatik und Schule, 16.-18. September 2019, Dortmund*. Bonn : Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), 2019 (GI-Edition - lecture notes in informatics (LNI Proceedings), S. 25–33
- [17] DESIGN-BASED RESEARCH COLLECTIVE: *Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry*. In: *Educational Researcher* 32 (2003), Nr. 1, S. 5–8
- [18] REINMANN, Gabi ; SESINK, Werner: *Entwicklungsorientierte Bildungsforschung : Diskussionspapier*. URL [https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2011/11/Sesink-Reinmann\\_Entwicklungs-forschung\\_v05\\_20\\_11\\_2011.pdf](https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2011/11/Sesink-Reinmann_Entwicklungs-forschung_v05_20_11_2011.pdf)
- [19] SCOTT, Emily E. ; WENDEROTH, Mary Pat ; DOHERTY, Jennifer H.: *Design-Based Research: A Methodology to Extend and Enrich Biology Education Research*. In: *CBE life sciences education* 19 (2020), Nr. 3, 1-12
- [20] JUNG, W.: *Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties*. In: DUIT, Reinders; GOLDBERG, Fred; NIEDDERER, Hans (Hrsg.): *Research in physics learning : Theoretical issues and empirical studies*. proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen, March 4-8, 1991. Kiel :

- Inst. für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Univ, 1992 (IPN, 131), S. 278–295
- [21] ZLOKLIKOVITS, Sarah ; HOPF, Martin: Akzeptanzbefragungen zu elektromagnetischer Strahlung. In: HABIG, Sebastian (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen : Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Wien 2019, 2020* (40), S. 479–482
- [22] HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, Claudia ; FEHRINGER, Iris ; HOPF, Martin: Akzeptanzbefragung zu Optikunterrichtsmaterialien: Farben. In: BERNHOLT, Sascha (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht* : LIT Verlag, 2013, S. 639–641
- [23] MANDL, Angelika ; HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, Claudia ; SPITZER, Philipp ; SCHUBATZKY, Thomas: Digitale Transformation der mathematisch-naturwissenschaftlichen Lehramtsausbildung : Entwicklung und Beforschung eines Masterlehrveranstaltungsformates zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte. In: HABIG, Sebastian; VORST, Helena von (Hrsg.): *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen*. Duisburg-Essen, 2022 (GDGP Tagungsband, 42), S. 532–535
- [24] VOGELSANG, Christoph ; FINGER, Alexander ; LAUMANN, Daniel ; THYSSEN, Christoph: *Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 25 (2019), Nr. 1, S. 115–129
- [25] VAN BRAAK, Johan ; TONDEUR, Jo ; VALCKE, Martin: *Explaining different types of computer use among primary school teachers*. In: *European Journal of Psychology of Education* 19 (2004), Nr. 4, S. 407–422
- [26] STINKEN-RÖSNER, Lisa: Implementation digitaler Medien in die naturwissenschaftliche Lehramtsausbildung. In: MAURER, Christian; RINCKE, Karsten; HEMMER, Michael (Hrsg.): *Fachliche Bildung und digitale Transformation - Fachdidaktische Forschung und Diskurse*. Regensburg Universität, 2021, S. 181–184
- [27] BECKER, Sebastian ; BRUCKERMANN, Till ; FINGER, Alexander ; HUWER, Johannes ; KREMSEMER, Erik ; MEIER, Monique ; THOMS, Lars-Jochen ; THYSSEN, Christoph ; KOTZEBUE, Lena von: Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In: BECKER, Sebastian; MEBINGER-KOPPELT, Jenny; THYSSEN, Christoph (Hrsg.): *Digitale Basiskompetenzen : Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*, 2020, S. 14–43
- [28] SCHMIDT, Denise A. ; BARAN, Evrim ; THOMPSON, Ann D. ; MISHRA, Punya ; KOEHLER, Matthew J. ; SHIN, Tae S.: *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): The Development and Validation of an Assessment Instrument for Preservice Teachers*. In: *Journal of Research on Technology in Education (JRTE)* 42 (2009), Nr. 2, S. 123–149
- [29] PUSCH, Alexander: *Arduino im Physikunterricht*. In: *Physik Journal* 18 (2019), Nr. 5, S. 26–29
- [30] ZIERIS, Holger: *Der Arduino als Medium für den naturwissenschaftlichen Unterricht*. In: *PlusLucis* (2018), Nr. 1, S. 4–7
- [31] RIEMEIER, Tanja: Moderater Konstruktivismus. In: KRÜGER, Dirk (Hrsg.): *Theorien in der biomedizinischen Forschung : Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden ; mit 12 Tabellen*. Berlin : Springer, 2007 (Springer-Lehrbuch), S. 69–79
- [32] WIDODO, Ari ; DUIT, Reinders: *Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 10 (2004), S. 233–255
- [33] TONDEUR, Jo ; VAN BRAAK, Johan ; SANG, Guoyuan ; VOOGT, Joke ; FISSER, Petra ; OTTENBREIT-LEFTWICH, Anne: *Preparing pre-service teachers to integrate technology in education: A synthesis of qualitative evidence*. In: *Computers & Education* 59 (2012), Nr. 1, S. 134–144
- [34] WEILER, David ; BURDE, Jan-Philipp ; LACHNER, Andreas ; RIESE, Josef ; SCHUBATZKY, Thomas ; GROBE-HEILMANN, Rike: Entwicklung eines Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mittels digitaler Medien. In: GREBE-ELLIS, Johannes; GRÖTZEBAUCH, Helmuth (Hrsg.): *PhyDid B : Didaktik der Physik*. Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2021, 2021, S. 209–215
- [35] DRESING, Thorsten (Hrsg.); PEHL, Thorsten (Hrsg.): *Praxisbuch Transkription : Regelsysteme, Software und praktische Anleitungen für qualitative ForscherInnen*. 2. Aufl. Marburg : Dr. Dresing und Pehl GmbH, 2011
- [36] KUCKARTZ, Udo ; RÄDIKER, Stefan: *Fokussierte Interviewanalyse mit MAXQDA*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020