Die Entwicklung von TPACK bei angehenden Lehrkräften durch medienbezogene Lernprozesse im Makerspace

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Pädagogik
(Dr. phil.)

der Pädagogischen Hochschule Weingarten

vorgelegt von
Anna-Lisa Max aus Weingarten

Weingarten, Juli 2022

Erstgutachter:

Prof. Dr. Holger Weitzel, Pädagogische Hochschule Weingarten

Zweitgutachterin:

Jun.-Prof. Dr. Sarah Lukas, Pädagogische Hochschule Weingarten

Förderung

Die Arbeit entstand im Rahmen des Projekts *TPACK 4.0*. Dieses Projekt wurde vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg unter der Förderlinie digital@bw, Az.: 43-6700.-4/2/1/1, gefördert.

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei meinem Betreuer Prof. Dr. Holger Weitzel bedanken, der mich für diese Arbeit bestärkt und während der gesamten Zeit verständnisvoll und geduldig begleitet hat. Seine Art an mich und meine Fähigkeiten zu glauben, haben mir den notwendigen Mut und das Durchhaltevermögen gegeben, diese intensive und arbeitsreiche Lebensphase erfolgreich zu meistern.

Dasselbe gilt für meine zweite Betreuerin, Jun.-Prof. Dr. phil. Sarah Lukas. Sie war durchweg eine hilfsbereite Anlaufstelle, wenn statistische Hürden mir zunächst unbezwingbar schienen. Als Projektleiterin von *TPACK 4.0* brachte sie mir, ebenso wie das gesamte Projektteam, vollstes Vertrauen und ihren Zuspruch für die Umsetzung von Ideen bei der Implementierung des pädagogischen Makerspace *CoLiLab* entgegen, wodurch ich meinen kreativen Kopf an verschiedenen Stellen ausleben konnte.

Des Weiteren gilt mein Dank dem CoLiLab-Team, das auch während der CVID19-Pandemie dafür gesorgt hat, dass das CoLiLab jederzeit unter den jeweils aktuellen Hygienebedingungen für die angehenden Lehrkräfte entweder vor Ort, oder „virtuell“ zugänglich blieb.

Ich bedanke mich bei meinen Kolleginnen und Kollegen aus dem Fachbereich Biologie der pädagogischen Hochschule Weingarten für das durchweg offene Ohr, egal welchen Pfad ich auf der „Insel der Forschung“ gerade bestritten habe.

Abschließend gilt ein besonderer Dank den liebevollen und geduldigen Menschen in meinem privaten Umfeld, die mich immer emotional unterstützt und stets an meinen eigenen Grundsatz erinnert haben, dass aufgeben keine Option ist.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS ..... **V**

TABELLENVERZEICHNIS ..... **VII**

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS ..... **VIII**

ZUSAMMENFASSUNG ..... **IX**

SUMMARY ..... **X**

1. EINLEITUNG **1**

2. TPACK **3**

2.1 DAS TPACK-MODELL 3

2.2 ANFORDERUNGEN AN EINEN INTERVENTIONSANSATZ ZUR FÖRDERUNG VON TPACK 5

2.3 MESSINSTRUMENTE ZUR ERHEBUNG VON TPACK 9

2.4 PERSONENBEZOGENE EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE ENTWICKLUNG VON TPACK 12

2.4.1 Einstellungen gegenüber der Arbeit und dem Einsatz digitaler Medien *13*

2.4.2 Technologiespezifische Selbstwirksamkeit *14*

2.4.3 Intrinsische Motivation für die Auseinandersetzung mit digitalen Medien *15*

2.4.4 Technologieakzeptanz *15*

2.4.5 Intentionen zur Beschäftigung mit digitalen Medien *16*

2.4.6 Konstruktivistisches Lehr-Lernverständnis für offene Lehr-Lernsettings *17*

3. PÄDAGOGISCHER MAKERSPACE ZUR FÖRDERUNG VON TPACK **18**

3.1 DEFINITION MAKERSPACE 18

3.2 EIGENSCHAFTEN EINES PÄDAGOGISCHEN MAKERSPACE 19

3.3 MAKERSPACES UND IHRE LERNKULTUR 20

3.4 POTENZIALE UND HERAUSFORDERUNGEN VON MAKERSPACES 23

4. FORSCHUNGSFRAGEN **25**

5. ANLAGE DER EMPIRISCHEN FORSCHUNG **28**

5.1 INTERVENTION IM PROJEKT TPACK 4.0 28

5.1.1 Medienprojekte und ihre Projektorganisation *28*

5.1.1.1 Unterstützungsangebot *30*

5.1.1.2 Pädagogischer Makerspace CoLiLab *31*

5.1.2 Mediendidaktischer Input *33*

5.1.3 Projektprodukte *35*

5.1.4 Future Skills *36*

5.2 METHODISCHER RAHMEN 39

5.2.1 Forschungsdesign *41*

5.2.2 Stichprobenziehung *42*

5.2.3 Auswahl der Messinstrumente zur TPACK-Selbsteinschätzung *43*

6. *STUDIE 1*: ENTWICKLUNG VON AUFGABEN ZUR BEWERTUNG DES TPACK VON BIOLOGIELEHRAMTSTUDIERENDEN **48**

6.1 Zusammenfassung 49
6.2 Abstract 49
6.3 Einleitung 49
6.4 Theorie 50
6.5 Ziel- und Fragestellung 53
6.5.1 Das Projekt TPACK 4.0 53
6.5.2 Entwicklung der Aufgaben 54
6.5.3 Formulierung der Aufgaben 56
6.5.4 Entwicklung eines Kodierleitfadens 58
6.5.5 Validierung der Aufgaben und des Kodierleitfadens in Experteninterviews 58
6.5.6 Inhaltliche Validierung der Aufgaben mit Peers 58
6.5.7 Pilotierung des Instruments und Triangulation 59
6.6 Fazit und Ausblick 59
7. *STUDIE 2:* THE PEDAGOGICAL MAKERSPACE: LEARNING OPPORTUNITY AND CHALLENGE FOR PROSPECTIVE TEACHERS` GROWTH OF TPACK 60
7.1 Abstract 61
7.2 Introduction 61
7.2.1 Pedagogical makerspace as a constructivist learning environment 63
7.2.2 Purpose of this study 65
7.3 Methodology 66
7.3.1 Sample 66
7.3.2 TPACK intervention 66
7.3.3 Instruments to identify students' challenges and problem-solving strategies 68
7.3.4 TPACK as dependent variable and independent personal variables 69
7.4 Results 69
7.4.1 Prospective teachers perceived challenges and coping strategies 69
7.4.2 Impact of the intervention on TPACK and personal factors 72
7.5. Discussion 74
7.5.1 Qualitative Results 74
7.5.2 Quantitative Results 75
7.5.3 Implications for the practice 76
7.5.4 Limitations 77
7.5.5 Conclusions 77
7.6 Appendix 78
8. *STUDIE 3:* HOW TO SUCCESSFULLY ORGANIZE A MEDIA PROJECT IN A PEDAGOGICAL MAKERSPACE FOR STUDENT TEACHERS 83
8.1 Abstract 84
8.2 Introduction 84
8.3 Project Management 85
8.4 Pedagogical makerspace CoLiLab 86

8.5 METHODOLOGY 88
8.5.1 Instruments to identify challenges and problem-solving strategies *88*
8.5.2 Results *88*
8.6 DISCUSSION 89
8.7 CONCLUSIONS 91
8.7.1 Limitations *92*
9. *STUDIE 4*: THE RELATIONSHIP BETWEEN SELF-ASSESSMENT AND PERFORMANCE IN LEARNING TPACK – ARE SELF-ASSESSMENTS A GOOD WAY TO SUPPORT PRESERVICE TEACHERS' LEARNING? 93
9.1 ABSTRACT 94
9.2 INTRODUCTION 95
9.2.1 TPACK as a framework for studying ICT knowledge *95*
9.2.2 Strengths and weaknesses of self- and external assessments for measuring TPACK *96*
9.2.3 Self-assessment instruments as means for self-regulated learning *97*
9.2.4 Purpose of the study *98*
9.3 METHODOLOGY 98
9.3.1 Structure of the intervention *98*
9.3.2 Sample *100*
9.3.3 Instrument to measure TPACK with Self-assessment *101*
9.3.4 Performance test to measure TPACK *102*
9.4 RESULTS 105
9.4.1 Self-assessment *105*
9.4.2 Performance test *106*
9.4.3 Self- and external assessment in comparison *108*
9.4.4 Ability for self-assessment in relation to performance *109*
9.5 DISCUSSION 110
9.5.1 Limitation *113*
9.5.2 Conclusion *113*
10. *STUDIE 5*: FACTORS INFLUENCING THE DEVELOPMENT OF PRE-SERVICE SCIENCE TEACHERS' TECHNOLOGICAL PEDAGOGICAL AND CONTENT KNOWLEDGE IN A PEDAGOGICAL MAKERSPACE 115
10.1 ABSTRACT 116
10.2 INTRODUCTION 116
10.3 THEORETICAL BACKGROUND 117
10.3.1 TPACK framework *117*
10.3.2 Factors influencing the teaching of TPACK *118*
10.4 RESEARCH QUESTIONS 120
10.5 METHODOLOGY 121
10.5.1 Design of Intervention *121*
10.5.2 Sample *123*

10.5.3 Measures *123*
10.5.4 Research Design *125*
10.5.5 Analysis *126*
10.6 RESULTS 127
10.6.1 Descriptive statistics and correlations of TPACK and influencing factors *127*
10.6.2 TPACK development and impact influenced by other constructs *128*
10.7 DISCUSSION 130
10.7.1 Limitations of this study *133*
10.7.2 Conclusion *134*
11. GEMEINSAME DISKUSSION DER ERGEBNISSE 135
11.1 TPACK-ENTWICKLUNG IM PÄDAGOGISCHEN MAKERSPACE UND VERGLEICH DER MESSINSTRUMENTE 137
11.2 EINFLUSS PERSONENBEZOGENER KONSTRUKTE AUF DIE TPACK-ENTWICKLUNG 140
11.3 HERAUSFORDERUNGEN BEI DER TPACK-ENTWICKLUNG IN EINEM PÄDAGOGISCHEN MAKERSPACE 144
11.4 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE TPACK-BEZOGENE ARBEIT IM PÄDAGOGISCHEN MAKERSPACE 147
11.5 LIMITATIONEN UND AUSBLICK 149
11.6 SCHLUSSFOLGERUNGEN 152
12. LITERATURVERZEICHNIS 155
13. ANHANG 175
13.1 PUBLIKATIONSLISTE 175
13.2 PRÄ-POST-FRAGEBOGEN ZUR SELBSTEINSCHÄTZUNG VON TPACK 176
13.3 AUFGABENVIGNETTEN ZUR FREMDEINSCHÄTZUNG VON TPACK 181
13.4 KODIERLEITFADEN DER TPACK-AUFGABENVIGNETTEN 184
13.5 INTERVIEWLEITFADEN 201
13.6 LEBENSLAUF UND WISSENSCHAFTLICHER WERDEGANG 203

Abbildungsverzeichnis[1]

Abbildung 2.1 TPACK-Modell nach Koehler und Mishra (eigene Darstellung)…….3

Abbildung 3.1 Lernkultur in einem Makerspace basierend auf einem selbstgesteuerten, agilen Entwicklungs- und Umsetzungsprozess (Innerer Kreis: Stakeholder; Mittlerer Kreis: Phasen im Making-Prozess; Äußerer Kreis: Tätigkeiten im Making Prozess [nicht chronologisch]) …….……..….21

Abbildung 5.1 Zeitliche Einordnung der Projektphasen in ein Fachseminar mit abnehmenden Phasen der Instruktion und zunehmenden Phasen der Konstruktion ……...…29

Abbildung 5.2 Übersicht des Design- und Entwicklungsprozesses, kombiniert aus klassischen und agilen Projektelementen sowie fixen (helle Kreise) und optionalen (dunkle Kreise) Bestandteilen ……..……31

Abbildung 5.3 Lageplan und räumlicher Aufbau des CoLiLab ……...……32

Abbildung 5.4 Einblicke in die Räumlichkeiten des CoLiLab …….……...…32

Abbildung 5.5 Projektbeispiele aus den Fächern Biologie (Beispiel 1 und 2) und Psychologie (Beispiel 3) …….....…36

Abbildung 5.6 *Übersicht zum konzeptionellen und evaluativen Gesamtablauf der vorliegenden Dissertations-Arbeit (K = Kohorte; IG = Interventionsgruppe; KG = Kontrollgruppe; *Studien 1 und 2 sind zeitgleich, aber mit einem unterschiedlichen Fokus zu denselben Forschungsfragen entstanden).*……..40

Abbildung 5.7 Prä-Post-Kontrollgruppenvergleich als Forschungsdesign über vier Kohorten im Überblick (*in Kohorte 2 wurden nur Post Aufgabenvignetten eingesetzt) ……..41

Abbildung 5.8 Verortung der Erhebungszeitpunkte von Prä-Post-Fragebogen, Prä-Post-Aufgabenvignetten und Interviews innerhalb einer Kohorte (t0 = Beginn des Semesters; t1 = Ende des Semesters) in Interventions- und Kontrollgruppen (IG, KG) ……...……42

Abbildung 6.1 Das TPACK-Modell von Koehler und Mishra (eigene Darstellung)……51

Abbildung 7.1 Overview of the cross-semester media project with visualisation of project phases, evaluation points, student activities and TPACK-related instructions.……...……. 67

Abbildung 8.1 Process model combining traditional and agile elements of project management in a pedagogical Makerspace. The project process starts with the elaboration of a vision and a shortened project plan along the one-liner through the central design and development process to a finished product ... ……...……91

[1] Die, aus den Studien 1, 3 und 5 in Sprache und Formatierung, abweichenden Abbildungsbeschriftungen wurden zu Gunsten einer einheitlichen Darstellung angeglichen.

Abbildung 9.1 Integration of the TPACK-promoting intervention (media project and TPACK-input) into a science seminar and location of the survey time points in the intervention and control group ……..….99

Abbildung 9.2 The structure of the three tasks (A, B, C): three domains of the performance test technological, pedagogical and content domain as well as three performance dimensions: remember, apply and understand. …….102

Abbildung 9.3 Changes in self-assessment of TPACK (4-stage Likert scale) between intervention group (received intervention) and control group (did not receive intervention) before (pre) and after (post) the intervention……..…….105

Abbildung 9.4 Percentage of scores achieved in externally measured TPACK in task part 1 Remember, task part 2 Apply, task part 3 Understand and total score before (pre) and after (post) the intervention. …….106

Abbildung 9.5 Dependence on the ability to Understand versus Apply knowledge between the identified clusters…….108

Abbildung 9.6 Subdivision of the matched TPACK self-assessment with the sub-areas of task completion (I, II & III) as well as the task total score (IV) into underestimation (below grey bar), realistic self-assessment (grey bar) and overestimation (above grey bar) ……..…….109

Abbildung 10.1 Overview of the cross-semester media project with three main project phases, evaluation points, student activities, and TPACK-related compulsory input for the intervention group (IG) in comparison to the control group (CG). ……..….*122*

Abbildung 10.2 Research design with the constructs used over the time before (t_1) and after (t_2) the intervention. …….*125*

Abbildung 10.3 Path model of the regression with p-values for the hypotheses H1-H7 (solid arrows show significant paths, dashed arrows show not significant paths). ……..…..*129*

Abbildung 11.1 Erhobenen Konstrukte und ihre Veränderungen……*141*

Tabellenverzeichnis[2]

Tabelle 5.1 Ausgewählte Kriterien als Kernkomponente des mediendidaktischen Inputs mit unterschiedlichen Schwerpunkten in den TPACK-Dimensionen ……..33

Tabelle 5.2 Ausgewählte Konstrukte, basierend auf Selbsteinschätzungen im Fragebogen ……..……44

Tabelle 6.1 Kriterien zur Bewertung des TPACK der Studierenden……56

Tabelle 6.2 Exemplarischer Aufbau einer Aufgabe …….……..56

Tabelle 6.3 Aufgabenbeispiel …….…….……57

Tabelle 6.4 Aufbau des Scoring-Guide zum Raten der Evaluationsaufgaben ……..57

Tabelle 7.1 Comparison of the measured constructs at both measurement times as well as between the intervention group (IG) and the control group (CG) ……..…73

Tabelle 8.1 Elements of traditional and agile project methods.……..……..... 86

Tabelle 8.2 Categories regarding cooperative structures and TPACK.……..……..... 88

Tabelle 8.3 Perceived difficulties and problem-solving strategies.……..……...…..…89

Tabelle 9.1 Example task (A) from the subject Biology. Technological domain: Explanatory videos. Pedagogical domain: remember - subtask 1, apply - subtask 2, understand - subtask 3. Content domain: Immunobiology……..……....103

Tabelle 9.2 Identified cluster centres in the sample with respect of performance in the subtasks Remember, Apply and Understand……..……..……....107

Tabelle 10.1 Reliabilities (t_1 = pre and t_2 = post) of the scales used……..……..……..……123

Tabelle 10.2 Descriptive statistics and correlations of all measures. $TPACK_{t1}$ = Technological pedagogical content knowledge (Pre), TSE_{t1} = Technological self-efficacy (Pre), TAM_{t1} = Technology Acceptance (Pre), $IMDM_{t1}$ = Intrinsic Motivation to use digital media (Pre), $TPACK_{t2}$ = Technological pedagogical content knowledge Post), $IUDM_{t2}$ = Intention to use digital media (Post). Two asterisks (**) indicate correlations significant at $p < .001$……...…..*128*

Tabelle 10.3 Results of the hypothesis tests include the path coefficients, z-values, and p-values (** = $p < 0.01$, * = $p < 0.05$) as well as the statistical power r according to Cohen (1988). $TPACK_{t1}$ = Technological pedagogical content knowledge (Pre), TSE_{t1} = Technological Self-Efficacy (Pre), TAM_{t1} = Technology Acceptance (Pre), $IMDM_{t1}$ = Intrinsic Motivation to use digital media (Pre), $TPACK_{t2}$ = Technological pedagogical content knowledge (Post), $IUDM_{t2}$ = Intention to use digital media (Post)……..……..……..……..……..…...*129*

[2] Die, aus den Studien 1, 3 und 5 in Sprache und Formatierung, abweichenden Tabellenbeschriftungen wurden zu Gunsten einer einheitlichen Darstellung angeglichen.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung nach alphabetischer Sortierung	Ausgeschriebene Form
bzw.	beziehungsweise
ca.	cicra
CK	Content Knowledge (Fachwissen)
ebd.	ebenda
et al.	et aliae (lateinisch = und andere)
e. g.	Exempli gratia (lateinisch = for example/ zum Beispiel)
ICT	Information and communication technology (Informations- und Kommunikationstechnik)
KMK	Kultusministerkonferenz der Länder
PCK	Pedagogical Content Knowledge (Fachdidaktisches Wissen)
PK	Pedagogical Knowledge (Pädagogisches Wissen)
SAMR	Substitution Augmentation Modification Redefinition (Modell von Puentedura)
s.	siehe
s. a.	siehe auch
TAM	Technology Acceptance Model (Technologieakzeptanz Modell)
TCK	Technologigal Content Knowledge (Fachtechnologisches Wissen)
TK	Technologigal Knowledge (Technisches Wissen)
TPACK	Technologigal Pedagogical and Content Knowledge (Medienfachdidaktisches Wissen)
TPK	Technologigal Pedagogical Knowledge (Mediendidaktisches Wissen)
u. a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
vs.	versus
z. B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

Um Technologien zielgerichtet und lernwirksam in den modernen Unterricht integrieren zu können, müssen Lehrkräfte heutzutage über komplexes technologisches, pädagogisches und inhaltsbezogenes Wissen (TPACK) verfügen (Mishra & Koehler, 2006). TPACK sollte deshalb frühzeitig als Teil der universitären Lehrerkräftebildung gefördert werden. Hierfür scheint die projektbezogene Arbeit in einem pädagogischen Makerspace vielversprechend, da er eine konstruktivistische Lehr-Lernumgebung zur selbstgesteuerten, technologie-gestützten Konzeption und Erstellung (digitaler) Lehr-Lernmaterialen für den Fachunterricht darstellt. Allerdings wurde die potentielle TPACK-Förderung durch projektbezogenes Arbeiten in einem Makerspace bislang nur unzureichend empirisch untersucht.

Die vorliegende Dissertation leistet daher einen wichtigen Beitrag zum bisherigen Forschungsstand, insb. der TPACK-Forschung in der Lehrkräftebildung, indem evaluiert werden sollte, inwieweit sich (1) ein pädagogischer Makerspace für die Entwicklung von TPACK – auch unter Berücksichtigung möglicher personeller Kontextfaktoren – bei angehenden Lehrkräften eignet, (2) wie aussagekräftig die in der Forschung hauptsächlich verwendeten standardisierten Selbsteinschätzungsskalen zur Messung des anwendungsbezogenen TPACK sind und (3) auf welche Herausforderungen angehende Lehrkräfte bei der Arbeit im pädagogischen Makerspace stoßen.

Um diese Ziele zu verfolgen und abgeleitete Forschungsfragen zu beantworten, wurde das Arbeiten im Makerspace als Intervention mit mehreren Kohorten angehender Lehrkräfte der Naturwissenschaften realisiert. TPACK wurde als Prä-Post-Variable einerseits mittels einer standardisierten Selbsteinschätzungsskala und andererseits mittels eines selbst entwickelten vignettenbasierten Leistungstest auf Basis von Fremdeinschätzungen gemessen. Darüber hinaus dienten prozessbegleitete Interviews der Identifikation wahrgenommener Herausforderungen und Problemlösestrategien der Studienteilnehmer.

Insgesamt zeigen die der Dissertationsarbeit zugrundeliegenden Studien einen pädagogischen Makerspace als vielversprechende Umgebung zur Förderung von TPACK auf. Außerdem lassen die vorliegenden Ergebnisse aus der Triangulation der Selbst- und Fremdeinschätzung von TPACK darauf schließen, dass Selbsteinschätzungsskalen mit Bedacht verwendet und im Rahmen empirischer Forschung um ein objektives Maß ergänzt werden sollten um die Validität der Schlussfolgerungen zu erhöhen. Die Ergebnisse werden unter Berücksichtigung sowohl der pandemiebedingten Einschränkungen als auch der von den angehenden Lehrkräften wahrgenommenen Herausforderungen während der Studiendurchführung hinsichtlich des Potenzials eines pädagogischen Makerspace kritisch diskutiert, und Empfehlungen zur Optimierung dieses Unterstützungspotenzials abgeleitet.

Summary

In order to be able to integrate technologies into modern teaching in a targeted and effective way, teachers today need to have complex technological, pedagogical and content-related knowledge (TPACK; Mishra & Koehler, 2006). TPACK should therefore be promoted to prospective teachers at an early stage as part of teacher education. For this purpose, project-based work in a pedagogical makerspace seems promising as it represents a constructivist teaching-learning environment for self-directed, technology-supported conception and creation of (digital) teaching-learning materials for subject teaching. However, the potential positive effect of project-based work in a makerspace on TPACK has so far only sparsely been investigated empirically.

This dissertation therefore makes an important contribution to the state of research to date, especially TPACK research in teacher education, by evaluating to what extent (1) a pedagogical makerspace is suitable for the development of TPACK - also taking into account possible personnel contextual factors - among prospective teachers, (2) how meaningful the standardized self-assessment scales mainly used in research are for measuring application-oriented TPACK, and (3) which challenges prospective teachers encounter when working in a pedagogical makerspace.

To pursue these goals and answer the respective research questions derived, working in the makerspace was implemented as an intervention with multiple cohorts of prospective science teachers. TPACK was measured as a pre-post variable using a standardized self-assessment scale on the one hand and a self-developed vignette-based test based on external assessments on the other hand. In addition, in-process interviews served to identify perceived challenges and problem-solving strategies of the study participants.

Overall, the studies that this dissertation builds on reveal that an educational makerspace is a promising environment for promoting TPACK. Furthermore, the present results regarding the triangulation of self-assessment and external assessment of TPACK suggest that self-assessment scales should rather cautiously be used and supplemented with an objective measure in empirical research to increase the validity of conclusions. Taking into account both the pandemic constraints and the challenges perceived by prospective teachers while conducting the studies, the results are critically discussed in terms of the potential of pedagogical makerspaces, and recommendations for optimizing their potential support are derived.

1. Einleitung

Die rasant fortschreitende digitale Transformation beeinflusst zunehmend das soziale, berufliche und politische Leben der Menschen. Damit neue Generationen durch sinnvollen mediengestützten Unterricht auf ein Leben in einer digital vernetzten Gesellschaft vorbereitet werden können, müssen (angehende) Lehrkräfte als zentrale Schlüsselstellen mit den erforderlichen Informations- und Medienkompetenzen des 21. Jahrhunderts ausgestattet werden (Willermark, 2017). Dazu gehört auch der kritische und reflektierte Umgang mit Medien im Zuge der fachspezifischen Unterrichtsplanung und -umsetzung (Becker et al., 2020; Herzig & Martin, 2018). Internationale Standards wurden für die dafür erforderlichen Kompetenzen bereits vorgeschlagen (Vuorikari et al., 2016) und teilweise in nationale Strategien für die Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften aufgenommen (KMK 2016, 2019, 2021; SWK, 2021). Im Ländervergleich der ICILS-2018-Studie zeigt sich allerdings eine signifikant geringere Nutzungshäufigkeit digitaler Medien von deutschen Lehrkräften im Fachunterricht (Eickelmann et al., 2019).

Um den Anforderungen einer zeitgemäßen Lehrkräftebildung nachzukommen, haben Koehler und Mishra (2006) in ihrem Modell des *Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK)* die notwendigen medien- und fachdidaktischen Kompetenzen beschrieben, über die eine (angehende) Lehrkraft verfügen sollte. In diesem TPACK-Modell bilden das Technologische Wissen (engl. Technological Content [TK]), das Didaktische Wissen (engl. Pedagogical Knowledge [PK]) und das Fachwissen (engl. Content Knowledge [CK]) die Basis. Durch die Interdependenz der Wissensbereiche entstehen weitere Schnittstellen, wie u. a. das erforderliche medienfachdidaktische Wissen (TPACK). Das Modell sieht eine Einbindung mediendidaktischer Inhalte in die verschiedenen Fachcurricula der Lehrkräftebildung vor, welche dort erst in Ansätzen zum Tragen kommen und laut Beschlüssen der Kultusministerkonferenz (2019) curricular noch stärker in die Fächer integriert werden müssen.

National wie international existierende Forschungsvorhaben liefern zwar Hinweise, welche Anforderung Interventionen bzw. Lehr-Lernsettings zur Förderung von TPACK in der Lehrkräftebildung erfüllen sollten, jedoch finden diese Anforderungen in den bisherigen Ansätzen der Lehrkräftebildung nur teilweise Beachtung. Deshalb wurde im Zuge des praxisorientierten Forschungsprojekts *TPACK 4.0* an der Pädagogischen Hochschule Weingarten ein neuer Interventionsansatz für die Lehrkräftebildung entwickelt, der TPACK bei angehenden Lehrkräften (zunächst fokussiert auf den MINT-Bereich) durch selbstorganisierte und fachbezogene Medienprojekte in einem pädagogischen Makerspace (ein an der Hochschule implementiertes, offenes Medienlabor mit frei verfügbaren analogen und digitalen Medien) fördern möchte. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation, die in diesem Projekt

verankert ist, wurde dabei zunächst ein solcher Makerspace basierend auf vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnissen und Anregungen zur Unterstützung von TPACK für den pädagogischen Kontext konzipiert (s. *Kapitel 3* und *5.1.1.2*).

Als erstes übergeordnetes Ziel sollte dabei empirisch untersucht werden, inwieweit sich dieser pädagogische Makerspace für die Förderung von TPACK bei angehenden Lehrkräften eignet. Basierend auf diesem Ziel ergeben sich weitere Ziele: Die in der Fachliteratur beschriebenen und zu wissenschaftlichen Zwecken verwendeten Messinstrumente zur Erhebung von TPACK fokussieren sich oft ausschließlich auf Selbsteinschätzungsskalen. Deshalb wurde auch im Rahmen des Dissertationsvorhabens die Wirksamkeit der Intervention im pädagogischen Makerspace über Prä-Post-Selbsteinschätzungen gemessen. Gerade bei der Messung des komplexen, kontextbasierten und anwendungsbezogenen TPACK stoßen Selbsteinschätzungen jedoch schnell an ihre Grenzen. Mehrere Autoren schlagen deshalb die Triangulation der TPACK-Daten aus Selbsteinschätzungen mit Performanzmessungen vor. Da bisher nur wenige Instrumente zur Performanzmessung von TPACK existierten und weil Messinstrumente gut auf den jeweiligen Kontext der Erhebung abgestimmt sein sollten, wurden die Selbsteinschätzungsskalen daher um einen selbst konzipierten Leistungstest zur Messung der TPACK-Performanz ergänzt (s. *Studie 1).* Speziell wurde hier als zweites übergeordnetes Ziel des vorliegenden Dissertationsvorhabens neben dem Effekt des pädagogischen Makerspace selbst mittels Triangulation untersucht, inwiefern die Daten aus selbsteingeschätztem TPACK und dem neu konzipierten Messinstrument tatsächlich ähnliche Ergebnisse liefern, um zu wissen wie sinnvoll ein Rückschluss der TPACK-Selbsteinschätzung auf die TPACK-Performanz ist (s. *Studie 4*). Ergänzend dazu wurden außerdem weitere personenbezogene Konstrukte wie die technologiebezogene Selbstwirksamkeit, die Motivation zur Nutzung digitaler Medien und die Technologieakzeptanz erhoben, um die Rolle der Konstrukte für die Förderung von TPACK zu untersuchen (s. *Studie 5*).

Das dritte übergeordnete Ziel des vorliegenden Dissertationsvorhabens ist in der Tatsache begründet, dass das Arbeiten in einem Makerspace Herausforderungen birgt, denen sich angehende Lehrkräfte bei der Umsetzung der selbstorganisierten und fachbezogenen Medienprojekte stellen müssen. Diese Herausforderungen sowie die von den Studienteilnehmern verwendeten Problemlösestrategien sollten daher auf Basis von Interviews identifiziert werden (s. *Studien 2 und 3*), um entsprechende Rückschlüsse bezüglich erforderlicher struktureller und konzeptioneller Weiterentwicklungen der vorliegenden Unterstützungsstrukturen im pädagogischen Makerspace ableiten zu können, und so künftigen Projekten für eine erfolgreiche Selbstorganisation der Projektgruppen und eine erfolgreiche Umsetzung der Medienprojekte zu unterstützen.

Bevor auf die einzelnen konzeptionellen Planungen und Interventionsstudien (s. *Kapitel 6* bis *10)* eingegangen wird, beschreiben die folgenden Kapitel zunächst die hierfür relevanten theoretischen und wissenschaftlichen Grundlagen zu TPACK und einem Makerspace.

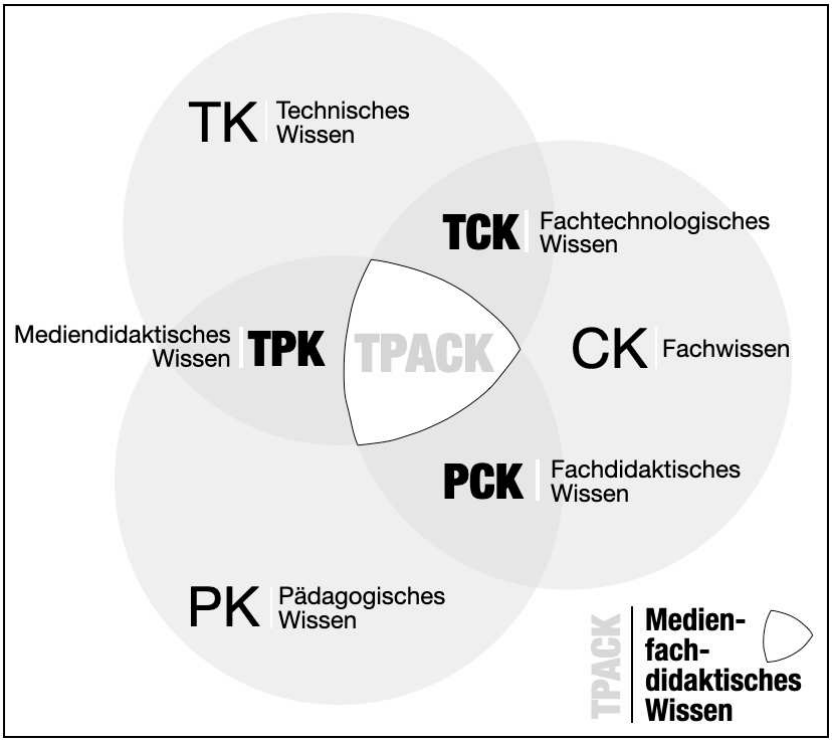
2. TPACK

2.1 Das TPACK-Modell

Das TPACK-Modell ist ein weit verbreitetes Modell zur Beschreibung der erforderlichen medienbezogenen Kompetenzen von (angehenden) Lehrkräften, das auf Shulmans Modell zur Beschreibung der Wissensdimensionen von Lehrkräften basiert (Shulman, 1986). Shulman unterscheidet hierfür domänenspezifisches Fachwissen (engl. Content Knowledge [CK]) von pädagogischem Wissen (engl. Pedagogical Knowledge [PK]), sowie deren Schnittmenge, die als fachdidaktisches Wissen (engl. Pedagogical Content Knowledge [PCK]) eine eigene Wissensdomäne darstellt. TPACK (s. Abbildung 2.1) ergänzt Shulmans Modell um das technische Wissen (engl. Technological Content [TK]), also Wissen um die Nutzung von technischen Geräten und Medien (Mishra & Koehler, 2006, 2008; Schmidt et al., 2009).
Wie in Shulmans Modell ergeben sich auch im TPACK-Modell aus den jeweiligen grundlegenden Wissensdimensionen verschiedene Schnittmengen. So bildet das technische

Abbildung 2.1

TPACK-Modell nach Koehler und Mishra (eigene Darstellung).



und domänenspezifische Wissen, das fachtechnologische Wissen (engl. Technological Content Knowledge [TCK]), das Kenntnisse über die Existenz und die Nutzung konkreter Soft- und Hardware beschreibt (z.B. Messwerterfassungssysteme). Außerdem formt die Schnittmenge aus technischem und pädagogischem Wissen das mediendidaktische Wissen (engl. Technological Pedagogical Knowledge [TPK]), welches fachunabhängig didaktische Konzepte z.B. zur Gestaltung lernförderlicher Medien oder für den sinnvollen methodischen Einsatz zur Verfügung stehender Technologien beinhaltet (Schmidt et al., 2009). Die Überschneidung aller Basisdimensionen bildet schließlich als Gesamtschnittmenge das medienfachdidaktische Wissen (engl. Technological, Pedagogical and Content Knowledge [TPACK]). TPACK umfasst somit alle notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten, um in der Praxis professionell und reflektiert digitale Medien für domänenspezifische Vermittlungsprozesse auswählen und einsetzen zu können (Mishra & Koehler, 2006, 2008). Dabei wird TPACK weniger als rein konzeptionelles Wissen verstanden, sondern mehr als eine Fähigkeit, dieses konzeptionelle Wissen performativ („in-action“) bei der Gestaltung und Umsetzung von Unterricht zu beachten und anzuwenden (Lachner et al., 2019; Willermark, 2017). Entsprechend äußert sich der Grad, zu dem (angehende) Lehrkräfte TPACK beherrschen vor allem in beobachtbarem Handeln und Verhalten, wenn Entscheidungen über eine didaktisch sinnvolle Verwendung von Technologien im Fachkontext getroffen werden sollen.

Das Hauptziel der vorliegenden Dissertation lag darin, eine Intervention im Rahmen eines Lehr-Lernsettings zur Förderung von TPACK bei angehenden Lehrkräften zu entwickeln und empirisch zu überprüfen. Aufgrund der oben beschriebenen Komplexität von TPACK stellen sich jedoch gewisse Herausforderungen, auf die zunächst im Folgenden näher eingegangen werden soll. Zum einen ergibt sich aus der Komplexität von TPACK die Herausforderung der Konzeption geeigneter Lehr-Lernsettings (oder Interventionen), die – wie in der Fachliteratur vorgeschlagen - den Fokus weniger auf die sechs Teilfacetten, sondern mehr auf dem TPACK als Gesamtkonstrukt, das es zu fördern gilt, legen (Brantley-Dias & Ertmer, 2013; Willermark, 2017). Brantley-Dias und Ertmer (2013) schlagen für die Entwicklung von Interventionen bzw. Lehr-Lernsettings aus dieser Argumentation heraus einen pragmatischen Umgang vor, nämlich aus Wirkungsstudien erfolgreichere Umsetzungsstrategien für die Praxis abzuleiten. Im Folgenden *Kapitel 2.2* werden daher zunächst die in der Literatur diskutierten Anforderungen an einen solchen wirkungsvollen Kontext als Lehr-Lernsetting / Intervention diskutiert, um darauf gründend den im Rahmen der vorliegenden Dissertation konzipierten pädagogischen Makerspace als Interventionskontext zu beschreiben. Zum anderen – und nicht zuletzt weil sich digitale Medien rasant entwickeln (vgl. TPK) - birgt die oben beschriebene Komplexität von TPACK die Herausforderung valide Messinstrumente zur

formativen und summativen Evaluation des Lehr-Lernsettings zu finden bzw. zu entwickeln, mittels derer das domänenspezifische TPACK angehender Lehrkräfte in Bezug auf spezifische Fachinhalte und aktuelle Technologien ausreichend differenziert erfasst werden können (Archambault & Barnett, 2010; Mouza et al., 2014; Njiku et al., 2020). Deshalb geht *Kapitel 2.3* im Anschluss kritisch auf die bislang verwendeten Messinstrumente und Evaluationsansätze für TPACK ein, um daraus forschungsmethodische Entscheidungen für die angestrebten Interventionsstudien der vorliegenden Dissertation ableiten zu können.

2.2 Anforderungen an einen Interventionsansatz zur Förderung von TPACK

In der Literatur existieren bislang nur wenige empirische Interventionsstudien zur Förderung von TPACK (insbesondere bei angehenden Lehrkräften in den Naturwissenschaften, wie in der vorliegenden Dissertation adressiert). Die Interventionsansätze unterscheiden sich im Rahmen der Hochschullehre vor allem in der Dauer der Intervention und darin, ob TPACK eher instruktional in Kursen oder projektbasiert in eher konstruktivistischen Lehr-Lernsettings gefördert werden soll. Des Weiteren werden in der Forschungsliteratur unterschiedliche Ansätze zur Konzeption von Interventionen bzw. Lehr-Lernsettings theoretisch diskutiert, aus denen sich zentrale Anforderungen an Interventionsansätze ableiten lassen. Sowohl aus den Interventions- bzw. Wirkungsstudien als auch aus dem theoretischen Diskurs der Forschungsliteratur lassen sich wichtige Anforderungen zusammentragen, die anschließend der theoretischen Entwicklung eines angemessenen Lehr-Lernsettings für das vorliegende Forschungsvorhaben dienen.

Damit sich TPACK zielgerichtet entwickelt, muss für angehende Lehrkräfte ein *authentischer Kontext* geschaffen werden, der qualitativ hochwertige Technologieerfahrungen ermöglicht (Schmid et al., 2020; Tondeur, 2012). Dieser Kontext sollte hochindividuell, stark differenziert, personalisiert und anpassungsfähig sein, um seine Wirkung erzielen zu können (Harris, 2016). Aus der Kombination verschiedener Lerngelegenheiten, bestehend aus unterschiedlichen Seminaren, Praxiserfahrungen und instruktionale Fördereinheiten, die unterschiedliche Aspekte von TPACK (Technologie, Inhalt und Pädagogik) adressieren (Tondeur et al., 2020) und damit das Repertoire möglicher Aktivitäten und Strategien zur Technologieintegration erweitern (Chai et al., 2011), ergeben sich für die angehenden Lehrkräfte dann *komplexe Lernerfahrungen*, die einen stetigen Perspektivwechsel sowohl ermöglichen als auch einfordern. Die einzelnen TPACK-Fördereinheiten gleichen dabei Mosaiksteinen, die langsam und in erster Linie punktuell dazukommen und beginnend in der Lehrkräftebildung über viele Jahre mit neuen Mosaiksteinen in Form von Technologieerfahrungen ergänzt und zunehmend

zu einem Gesamtgemälde verbunden werden (Wang et al., 2018). So können (angehende) Lehrkräfte zwar erst über die Zeit verschiedene (fachspezifische) Einsatzkonfigurationen für digitale Medien kennenlernen und mit multiplen Handlungsoptionen vertraut werden, jedoch wird nur so die Entwicklung von effektivem Wissen über die wirkungsvolle Integration digitaler Medien in den Fachunterricht und damit der Eintritt in einen lebenslangen TPACK-Lernprozess möglich (Baran & Uygun, 2016; Willermark, 2017). Mouza und Kollegen (2014) haben dies in ihrem Interventionsansatz für angehende Lehrkräfte durch die Kombination eines Methodenseminars sowie eines Technologie-Didaktik-Kurses (dieser dauert 15 Wochen und thematisiert verschiedene digitale Medien, dazugehörige Einsatzmöglichkeiten für den Unterricht und digitalgestützte Unterrichtsmaterialien, die anschließend reflektiert werden und Anstoß für die Entwicklung von Unterrichtsplänen liefern) mit einer dreiwöchigen Praxiseinheit beachtet, in der das theoretische TPACK direkt mit der Praxis verknüpft wurde. Dabei entwickelten die angehenden Lehrkräfte auf der theoretischen Basis technologiebasierte Unterrichtsstunden, die anschließend in der Praxiseinheit direkt bei Schülerinnen und Schülern zum Einsatz kamen. Neben einem signifikanten Zuwachs an TPACK konnte bei den angehenden Lehrkräften ein reflektierter Transfer des erlernten TPACK auf die daran anknüpfende Praxisphase gemessen werden (Mouza et al., 2014). Als wichtigstes Element stellte sich die *aktive* und *erfahrungsbasierte Auseinandersetzung* mit konkreten digitalen Medien während des praktischen Technologie-Didaktik-Kurses heraus (ebd.). Diese spielte auch bei der TPACK-Intervention von Lachner und Kollegen (2021) eine wesentliche Rolle. Dort mussten angehende Lehrkräfte innerhalb eines dreiwöchigen, fachspezifischen TPACK-Moduls (bestehend aus drei 90 Minuten Einheiten) ein technologiegestütztes Lernszenarium basierend auf einem kurzen theoretischen Input planen und im Rahmen von videografierten Microteaching-Einheiten bei Kommilitonen durchführen. Die Videos wurden anschließend zur Reflexion herangezogen. Auch hier konnte trotz des sehr kurzen Zeitraums in der Interventionsgruppe bereits ein Zuwachs des selbsteingeschätzten TPACK gemessen werden. In beiden Interventionen wurde das zunächst theoretisch vermittelte TPACK für die Unterrichtsplanung herangezogen und anschließend in Lerngelegenheiten praktisch umgesetzt, wodurch Kompetenz in Performanz überführt wird (Willermark, 2017).

Im Gegensatz dazu wählten Baran und Uygun (2016) in ihrem Graduiertenkurs einen offen-projektbasierten Ansatz, in dem Lehramtsstudierende ihr TPACK direkt durch die Bewältigung realer Herausforderungen, z. B. bei der Entwicklung technologiegestützter Lernmaterialien, konstruktiv im Prozess aufbauen konnten. Der sich über einen längeren Zeitraum erstreckende Lernprozess wird durch ein Problem initiiert, zu dem die Lernenden unter der Nutzung verschiedener Technologien eine kreative und innovative Lösung entwickeln müssen. Die von Baran und Uygun (2016) im Anschluss an die projektbasierten Gestaltungs-

und Konstruktionsaufgaben durchgeführten Reflexionsrunden ergaben, dass die angehenden Lehrkräfte anschließend in der Lage waren, TPACK in der Praxis, z. B. bei der Durchführung von TPACK-Workshops, anzuwenden. Die Auseinandersetzung mit dem Einsatz von Technologien im fachbezogenen Kontext (und damit auch TPACK) im Rahmen von Projektarbeiten wird auch von anderen Autoren als vielversprechender Ansatz zur individuellen Förderung von TPACK vorgeschlagen (s. a. Koehler et al., 2009; Tondeur et al., 2020; Zhang & Tang, 2021), da während des projektbasierten Arbeitens nicht mehr nur aktiv und erfahrungsbasiert, sondern zusätzlich auch noch *selbstorganisiert* und *kollaborativ* gearbeitet wird. Inhalte von Gestaltungsprojekten können Aufgaben wie die Erstellung von Video-Screencasts unter der Verwendung mathematischer Applikationen (Bonafini & Lee, 2021) oder die Entwicklung von Lernvideos, Animationen und Simulationen z. B. für ein virtuelles Labor (Juanda et al., 2021) umfassen. Dabei lassen sich die Aktivitäten im Grad der Vorgaben hinsichtlich Zeit, Inhalt, didaktischer Umsetzung und Technologie differenzieren und damit individuell an die zur Verfügung stehenden Voraussetzungen der Ziel- und Projektgruppe anpassen. So finden zum einen die medienbezogenen Vorerfahrungen der angehenden Lehrkräfte sowie deren persönlichen Überzeugungen und Einstellungen gegenüber digitalen Medien Beachtung (Petko, et al., 2018). Zum anderen knüpft der Lernprozess dadurch kumulativ an heterogene TPACK-Ausgangsvoraussetzungen an, die sich zuvor, wie für den Entwicklungsprozess für TPACK charakteristisch, nicht zeitlich linear und auf die gleiche Art und Weise bei unterschiedlichen Personen entwickelt haben (Hofer & Grandgenett, 2012).

Ungeachtet des gewählten Ansatzes (instruktional oder projektbasiert) lassen sich noch weitere Anforderungen an TPACK-Interventionen identifizieren. Wichtig ist z. B. auch die Bereitschaft der angehenden Lehrkräfte zur praktischen Umsetzung und Anwendung des theoretischen TPACK (Baran & Uygun, 2016). Diese Bereitschaft ist vor allem dann erforderlich, wenn es wenige *Vorbilder* in der Lehrkräftebildung gibt (was häufig der Fall ist), die einen zielgerichteten und sinnvollen Medieneinsatz vorleben (Tondeur, 2012; Tondeur et al., 2020). Gerade dann sind positive Praxiserfahrungen mit digitalen Medien notwendig, um die Angst vor unerwarteten Situationen beim Technologieeinsatz zu minimieren (Valtonen et al., 2020) und negative Einstellungen gegenüber digitalen Medien gezielt zu adressieren (Keser et al., 2015).

Darüber hinaus sollten die Medienerfahrungen von angehenden Lehrkräften der Naturwissenschaften direkt in den MINT-Fächern angesiedelt und dort durch eine *interdisziplinäre Verzahnung* mehrerer Lehrbereiche (z. B. Fachseminare mit Pädagogik und Medienbildung) mit konkreten naturwissenschaftlichen Inhalten unter Beachtung der Voraussetzungen des Schulkontextes gefördert werden (Hofer & Grandgenett, 2012;

Tondeur, 2012; Tondeur et al., 2020). Dadurch erhalten angehende Lehrkräfte die Chance, das volle Potenzial des digitalen Lernens für sich selbst, ihren Unterricht und ihre zukünftigen Schülerinnen und Schüler gewinnbringend und nachhaltig zu erfahren (Fraillon et al., 2014).
Damit aktive und professionelle Medienpraktiken mit experimentellen sowie zielgerichteten Erfahrungen in die Lehrkräftebildung integriert werden können, müssen eine flächendeckende *Infrastruktur* sowie ein *Unterstützungssystem* etabliert werden (Tondeur et al., 2020). Denn das TPACK kann sich weder in einer schlecht ausgestatteten Lernumgebung entfalten (Sojanah et al., 2021), noch durch selbstorganisierte Gestaltungsprojekte effektiv gefördert werden, wenn keine (technische) Unterstützung und Hilfestellungen als Bestandteil eines zielgerichteten Scaffolding verfügbar sind (Jen et al., 2016; Voogt et al., 2016; Zhang & Tang, 2021). Die Qualität der Auseinandersetzung mit den Lerninhalten sowie der Lernprozesse werden davon zusätzlich mitbestimmt (Stürmer & Lachner, 2017). Außerdem würden eine unzureichende technische Unterstützung, technologische Schwierigkeiten und die fehlende Erfahrungspraxis von den angehenden Lehrkräften als Hindernis wahrgenommen werden (Valtonen et al., 2020), das eine TPACK-Entwicklung nicht nur unmöglich macht, sondern die Einstellungen der angehenden Lehrkräfte negativ beeinflusst. Dabei sind besonders eine positive Einstellung und die Bereitschaft, sich dem Thema ‚Digitalität im Unterricht' zu öffnen, eine entscheidende Voraussetzung für die Entwicklung von TPACK (Scherer et al., 2018). Diese beeinflusst und fördert zusätzlich auch das für den Unterricht notwendige Selbstbewusstsein im Umgang mit digitalen Medien (ebd.; s. a. *Kapitel 2.4)*. Eine grundsätzliche Offenheit gegenüber digitalen Medien ist vor allem unter den jüngeren Generationen immer stärker zu beobachten (Herzig & Martin, 2018). Diese Generationen wurden bereits in einem hohen Maß durch fachspezifische Medienerfahrungen geprägt (Vogelsang et al., 2019).
Damit als Konsequenz zweckdienliches TPACK entsteht, sollten in iterativen *Reflexionsrunden* die Technologierfahrungen, hinsichtlich ihrer Verbesserung der Lernkultur sowie der Auswirkungen auf die Unterrichtsqualität, auf einer Metaebene kritisch diskutiert werden (Koh et al., 2014; Petko, Döbeli Honegger, et al., 2018; Zhang & Tang, 2021). Da ein konkretes Feedback zur Umsetzung und Beachtung des komplexen TPACK häufig unzureichend gegeben wird (Tondeur et al., 2020), kommt der Einbettung einer intensiven Zusammenarbeit, zum Anstoßen des reflektierenden Denkens in Praxisphasen, eine zentrale Bedeutung zu. Denn nur so kann eine Sensibilisierung der angehenden Lehrkräfte zur Selbsteinschätzung des eigenen TPACK stattfinden (Lipowsky & Rzejak, 2017; Valtonen et al., 2020), was für einen langfristigen lernförderlichen Einsatz digitaler Medien nach initialem Erlernen von TPACK nötig ist.

2.3 Messinstrumente zur Erhebung von TPACK

Um TPACK zu messen, wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche *quantitative* und *qualitative Testverfahren* entwickelt.

Zu den quantitativen Verfahren zählt der Einsatz von Fragebögen, bei deren Beantwortung TPACK durch die Selbsteinschätzung der angehenden Lehrkräfte gemessen wird. Am häufigsten werden quantitative Testverfahren gewählt, um den Ist-Stand oder die Wirkung von Interventionen auf das TPACK angehender Lehrkräfte hypothesengeleitet zu messen. Dabei werden häufig standardisierte Fragebögen wie z. B. der von Schmidt et al. (2009) verwendet (Scott, 2021). Dieser Fragebogen wurde teilweise für die individuellen Forschungsvorhaben weiterentwickelt und an den Forschungskontext angepasst wurde (vgl. Chai et al., 2011; Lee & Tsai, 2010; Schmid et al., 2020). Ein Teil der Studien erfragt TPACK unabhängig von konkreten Unterrichtssituationen mit lediglich geringfügig ausdifferenzierten Technologiebeschreibungen (vgl. Handal et al., 2013; Kaplon-Schilis & Lyublinskaya, 2019; Lee & Tsai, 2010), wohingegen ein anderer Teil der Studien die Fragen auf konkrete Situationen bezieht und damit die Domänen von TPACK inhaltlich ausdifferenziert: Diese Fragebogenvarianten widmen sich spezifischen technologischen Themen wie dem Online-Unterricht (vgl. Lee & Tsai, 2010) oder dem Einsatz von Erklärvideos (vgl. Krauskopf et al., 2012). Aber auch die Arbeit mit fiktionalen mediengestützten Unterrichtsszenarien (vgl. Jen et al., 2016) oder eine Konkretisierung der Items in der pädagogischen Dimension (vgl. Chai et al., 2011) sind Anpassungen an den Forschungskontext. Die Vorteile des Fragebogeneinsatzes sind die übersichtliche Anzahl an Items, der einfache und flexible Einsatz des Fragebogens bei der Erhebung, die zeitökonomische Auswertung und die Möglichkeit zur disziplinübergreifenden Standardisierung des Messinstruments (Chai et al., 2016). Problematisch ist dabei jedoch, dass die Selbsteinschätzung isoliert von der Anwendungspraxis vorgenommen wird und die angehenden Lehrkräfte nicht immer über die gleichen Fähigkeiten verfügen, um ihr TPACK adäquat und realistisch einschätzen zu können (Willermark, 2017). So kann ein gemessener Anstieg des TPACK auch durch einen Anstieg des Selbstvertrauens bedingt sein. Njiku und Kollegen (2020) empfehlen deshalb, bei einigen Studien eine stärkere Präzisierung der Items durch die Nennung konkreter Themen, der Soft- und Hardware sowie didaktischer Strategien und Konzepte durchzuführen, die im Rahmen der Intervention behandelt wurden, statt lediglich von allgemeinen Begriffen wie ‚Biologieunterricht', ‚Technologie' und ‚Lehrmethode' zu sprechen. Dabei sollte trotz kontextbezogener Spezifizierung der standardisierten Fragebögen stets auf eine hinreichende Validität und Reliabilität des Testinstruments geachtet werden (Backfisch et al., 2020; Schmid et al., 2020), was bei der Konzeption von Fragebögen zur Messung des komplexen, anwendungsorientierten TPACK eine Herausforderung darstellt.

Um trotz quantitativer Erhebungsverfahren eine inhaltliche Nähe zur Praxis zu gewährleisten, kann durch die Konzeption und den Einsatz kontextualisierter Aufgabenvignetten, basierend auf Lehr-Lernszenarien der Unterrichtsplanung und -durchführung, eine kontrollierte Erhebung von TPACK anhand von Fremdeinschätzungen mit gleichzeitig stärkerem Kontextbezug durchgeführt werden (Akyuz, 2018; Backfisch et al., 2020; Khoirul Antony & Paidi, 2019; Mouza et al., 2014; Yeh et al., 2014). Ein Vorteil liegt hier in der kognitiv aktivierenden und motivierenden Wirkung authentischer Szenarien (Bolzer et al., 2015), zu welchen die angehenden Lehrkräfte Fragen unter kritischem Einbezug TPACK-bezogener Inhalte diskursiv beantworten müssen. Die Aufgabenantworten können anschließend von externen Ratern entlang eines Kodierleitfadens ausgewertet und quantifiziert werden. Die TPACK-Performanz wird so über Fremdeinschätzung ermittelt (Mouza et al., 2014; Wang et al., 2018). Findet die Analyse über eine größere Anzahl an Ratern statt, wird so eine höhere Objektivität in der Auswertung gewährleistet (Willermark, 2017). Die erforderliche Raterschulung sowie die Kodierung der Aufgabenantworten sind dabei jedoch mit einem hohen Zeitaufwand verbunden.

Mithilfe rein *qualitativer Testverfahren* kann ebenfalls die TPACK-Performanz über die Fremdeinschätzung gemessen werden. Qualitative Messverfahren werden nach Willermark (2017) seltener umgesetzt und zeichnen sich vor allem durch ihre unterschiedliche Nähe zur Schulpraxis aus: Zum einen können Unterrichtsartefakte (z. B. Unterrichtsskizzen und entwickelte Lehr-Lernmaterialien) oder die Unterrichtsplanung analysiert werden. Die Analyse von Unterrichtsartefakten ermöglicht einen inhaltlichen Einblick in die Entscheidungs- und Anwendungsmuster, wie die (angehenden) Lehrkräfte digitale Medien in den Unterricht einplanen wollen (Backfisch et al., 2020; Graham et al., 2012; Harris & Hofer, 2011). Eine ergänzende mündliche oder schriftliche Reflexion hilft, eine kriterienbasierte Begründung für die TPACK-bezogenen Konzeptions- und Entwicklungsentscheidungen sowie explizit wahrgenommene Chancen und Herausforderungen für den Einsatz digitaler Medien in den fachbezogenen Unterricht zu erhalten (Koh et al., 2014; Valtonen et al., 2020). Zum anderen kann die eigentliche TPACK-Performanz während der Unterrichtdurchführung erfasst werden. Die direkte und indirekte Beobachtung von (videografierten) Unterrichtsstunden oder Mikroteachingeinheiten (Harris et al., 2010; Hofer & Grandgenett, 2012) deckt dabei situatives Wissen („TPACK-in-action") auf der Grundlage von beobachtbarem Verhalten, Absichten und Entscheidungen in der Praxis auf (Lachner et al., 2019; Willermark, 2017). Zur Evaluation der Lehrertätigkeiten können zudem mündliche Reflexionsrunden im Rahmen von Studienseminaren, Teamgesprächen, individuellen Besprechungen oder Interviews sowie schriftliche Reflexionen in Tagebucheinträgen oder Portfolios ergänzt werden (Koehler et al., 2009; Wang et al., 2018; Willermark, 2017). Die qualitativen Verfahren geben strukturierte

Einblicke in praxisnahe Prozesse und Produkte, die eine externe Bewertung des konzeptionellen und situativen TPACK mit domänenspezifischer Fokussierung der angehenden Lehrkräfte möglich machen. Dadurch können auch fachspezifische Besonderheiten bei der Nutzung digitaler Medien Beachtung finden (u. a. Mouza, 2016; Voogt et al., 2013). Faktoren wie Störungen bei der Unterrichtsdurchführung oder die Teamarbeit im Medienprojekt fließen dabei wiederum als unkontrollierbare Variablen in die Messungen mit ein. Die Auswertung qualitativer Daten ist ebenso wie die Codierung von Antworten aus Aufgabenvignetten mit einem hohen zeitlichen wie personellen Aufwand verbunden.

Um von den Vorteilen der Messverfahren profitieren zu können, schlagen mehrere Autoren die Triangulation der Daten aus Selbsteinschätzungen mit jenen aus Fremdeinschätzungen vor, was bisher eher selten umgesetzt wurde (Akyuz, 2018; Graham et al., 2012; Kopcha et al., 2014; Mourlam et al., 2021; Voogt et al., 2013; Willermark, 2017). Erste Studien, die bereits eine Triangulation der TPACK Daten umgesetzt haben, sind sich über einen bestehenden Zusammenhang zwischen Selbst- und Fremdeinschätzung von TPACK uneinig: Schmid und Kollegen (2020) konnten einen Zusammenhang zwischen mediengestützten Unterrichtsplanungen mit dem selbstberichteten TPACK von angehenden Lehrkräften feststellen. Dabei weisen Lehramtsstudierende, die digitale Medien in ihren Unterricht einplanen (unabhängig der Sinnhaftigkeit), ein höher berichtetes TPACK auf als jene, die es nicht tun (ebd.). Dabei wurde jedoch keine Aussage darüber getroffen, wie stark die Selbsteinschätzung mit der Fremdeinschätzung von TPACK übereinstimmt, was ein Forschungsdesiderat darstellt und im Rahmen der vorliegenden Dissertation genauer untersucht wird (vgl. *Studie 4*). Andere Studien berichten wiederum von fehlenden, statistisch signifikanten Beziehungen zwischen dem selbstberichteten und dem umgesetzten TPACK (Hofer & Grandgenett, 2012; Mourlam et al., 2021). In einer Weiterbildungsstudie von Silva und Kollegen (2021) gaben Lehrkräfte im Feld zwar an, dass sie wüssten, wann und wie sie digitale Medien einsetzten würden, trotzdem hatten diese dann im Verlauf des Unterrichts Schwierigkeiten in der Umsetzung ihrer digitalgestützten Unterrichtsplanung. Somit scheint die Zunahme des selbsteingeschätzten TPACK bei Lehrkräften kein Indiz dafür zu sein, dass sich das Ausmaß des Technologieeinsatzes verändert oder hieraus eine sinnvolle didaktische und methodische Anpassung stattfindet, damit mediengestützter Unterricht erfolgreich durchgeführt werden kann (Graham et al., 2009).

Zusammenfassend kann man sagen, dass die unterschiedlichen Messverfahren zur Erhebung desselben Konstrukts (TPACK) forschungsmethodisch herausfordernd sind und ein einziges Instrument zur Erfassung von TPACK dafür nicht ausreicht (Mouza et al., 2014). Nicht nur die hohe technische Entwicklungsdynamik erfordert daher eine stetige Anpassung und Spezifizierung der Erhebungsinstrumente, damit trotz Generalisierbarkeit der Ergebnisse die

Messung der domänenspezifischen Förderung von TPACK (z. B. in Biologie) gewährleistet wird. Die Herausforderung liegt dabei in der richtigen Operationalisierung der Messinstrumente, da sonst durch die fehlende Passung unterschiedliche Anteile von TPACK (Wissen vs. Performanz) gemessen werden (Willermark, 2017). Eine zusätzliche Hürde stellt die Komplexität von TPACK dar, was das Begreifen des Konstrukts vor allem für angehende Lehrkräfte stark erschwert (Mourlam et al., 2021). Als Konsequenz wird daher empfohlen, auf den jeweiligen Forschungsschwerpunkt adaptierte Erhebungsinstrumente zu entwickeln sowie unterschiedliche Erhebungsverfahren und Formen der Datenanalyse parallel einzusetzen, um die gewonnenen Daten zu triangulieren, ohne die Stärke des jeweils anderen Messinstruments opfern zu müssen (Mouza et al., 2014; Willermark, 2017). Aus diesem Grund werden für das vorliegende Forschungsvorhaben, ergänzend zu einem Prä-Post-Fragebogen, auf den Kontext angepasste Aufgabenvignetten zur Fremdeinschätzung von TPACK entwickelt, die anschließend die Triangulation der TPACK-Daten zulassen. Außerdem sollen über den Prä-Post-Fragebogen weitere Konstrukte erhoben werden, von denen angenommen wird, dass sie die Entwicklung von TPACK beeinflussen (z. B. Selbstwirksamkeit, Überzeugungen; Mourlam et al., 2021). Diese werden im folgenden *Kapitel 2.4* dargestellt.

2.4 Personenbezogene Einflussfaktoren auf die Entwicklung von TPACK

Das Ziel einer zeitgemäßen Lehrkräftebildung sollte die Förderung von TPACK in einem wirksamen Lehr-Lernsetting sein, damit angehende Lehrkräfte zukünftig ein konstruktives und didaktisch sinnvolles Nutzungsverhalten digitaler Technologien im Fachunterricht entwickeln können. Neben konzeptionellen und strukturellen Rahmenbedingungen können auch personenbezogene Faktoren (z. B. Überzeugungen oder Einstellungen) für den Entwicklungsprozess von TPACK eine Rolle spielen, die untereinander in Verbindung stehen. Die in der Forschungsliteratur identifizierten Einflussfaktoren können zum einen bei der Konzeption wirksamer TPACK-Lerngelegenheiten Beachtung finden und zum anderen zusätzlich Aufschluss über das Konstrukt ‚TPACK' liefern.

Bestandteil der zugrundeliegenden Literatur sind Studien, die ihren Fokus entweder direkt auf die Vermittlung von TPACK (mit Bezug auf das TPACK-Modell von Mishra & Koehler, 2006) bei angehenden Lehrkräften (Abbitt, 2014; Joo et al., 2018, 2018; Lachner et al., 2021; Liu, 2011; Mei et al., 2017; Scherer et al., 2018; Seufert et al., 2021; Zahwa et al., 2021) oder Lehrkräften im Schuldienst (z. B. Guggemos & Seufert, 2021) als auch generell den Technologieeinsatz ohne direkten Bezug zu TPACK bei angehenden Lehrkräften (z. B. Teo,

2012; Vogelsang et al., 2019; Yamamoto, 2021) oder Lehrkräften im Schuldienst (z. B. Holden & Rada, 2011) legen.

In den Studien wurden folgende Einflussfaktoren identifiziert, welche für die TPACK-Entwicklung relevant sein könnten und deshalb im Rahmen des Forschungsvorhabens der Dissertation mit erhoben werden sollten: (a) Einstellungen gegenüber digitalen Medien, (b) die technologiespezifische Selbstwirksamkeit, (c) die intrinsische Motivation, sich mit digitalen Medien auseinanderzusetzen, (d) die Technologieakzeptanz (inklusiv wahrgenommener Benutzerfreundlichkeit und wahrgenommener Nützlichkeit digitaler Medien) und (e) die Intention, sich mit digitalen Medien zu beschäftigen. Zusätzlich wird auf das (f) konstruktivistische Lehr-Lernverständnis eingegangen, welches beim Arbeiten in offenen Lehr-Lernsettings an Relevanz gewinnt und damit ebenfalls Einfluss auf den Lernprozess von TPACK nehmen kann.

2.4.1 Einstellungen gegenüber der Arbeit und dem Einsatz digitaler Medien

Einstellungen können die von einer Person ausgehende Bewertung eines Aspekts der individuellen Umwelt (z. B. physisches Objekt, Person oder Verhalten) sowie dessen Fühlen und Handeln in bestimmten Situationen beeinflussen (Scherer et al., 2018). Im technologischen Kontext können Bewerten, Fühlen und Handeln auf die Akzeptanz von und den Umgang mit digitalen Medien, mediengestützten Materialien und Lernmethoden für Lehr-Lernprozesse Einfluss nehmen (ebd.). Für Scherer und Kollegen (2018) besteht die Einstellung angehender Lehrkräfte (im beruflichen und digitalisierungsbezogenen Sinne) aus allgemeinen Einstellungen gegenüber digitalen Medien, Einstellungen gegenüber digitalen Medien im Bildungskontext sowie der wahrgenommenen Benutzerfreundlichkeit (ein Baustein der [d] Technologieakzeptanz, s. a. Holden & Rada, 2011) dieser digitalen Medien. Positive Einstellungen erhöhen dabei die Wahrscheinlichkeit, dass (angehende) Lehrkräfte digitale Medien tatsächlich auch im Unterricht einplanen und einsetzen (Guggemos & Seufert, 2021; Scherer et al., 2018; Teo & van Schaik, 2012) und sich so mit der Zusammenwirkung TPACK-bezogener Aspekte auseinandersetzen. Scherer, Tondeur, Siddiq und Baran (2018) sowie Mei, Brown und Teo (2017) konnten die Einstellung zu digitalen Medien als einen wichtigen Prädiktor für TPACK bei angehenden Lehrkräften identifizieren. Liu (2011) berichtet entgegengesetzt von TPACK als Prädiktor für die technologiebezogenen Einstellungen. Darüber hinaus werden die Einstellungen entweder über TPACK als Mediator (Mei et al., 2017) oder direkt als Prädiktor für die (e) Intention der (angehenden) Lehrkräfte beschrieben, Technologie tatsächlich zu nutzten (Scherer & Teo, 2019; Seufert et al., 2021). Die Entwicklung positiver Einstellungen, zum Beispiel durch fachintegrierte Medienerfahrungen,

scheint durch die Verbindung zu TPACK ein nennenswerter Ansatz für die TPACK-Vermittlung zu sein (Bonafini & Lee, 2021; Vogelsang et al., 2019). Inwiefern dies ausschließlich für naturwissenschaftliche Fächer gilt, stellt jedoch bisher noch ein Forschungsdesiderat dar (Vogelsang et al., 2019).

2.4.2 Technologiespezifische Selbstwirksamkeit

Selbstwirksamkeit ist der Glaube einer Person in ihre Fähigkeit, eine bestimmte Aufgabe ausführen oder ein Ziel erreichen zu können (vgl. Holden & Rada, 2011). Sie gibt Menschen Selbstbewusstsein, Vertrauen und die Überzeugung, Aufgaben trotz Schwierigkeiten und Risiko, erfolgreich meistern zu können (Bandura, 1986; Niederhauser & Lindstrom, 2018; Sitzmann & Yeo, 2013; Yamamoto, 2021). Davon ausgehend bezieht sich die technologische Selbstwirksamkeit auf das Vertrauen der (angehenden) Lehrkraft in die zielgerichtete und erfolgreiche Nutzung digitaler Medien unter anderem für die persönliche (fachbezogene) Anwendung, die Gestaltung von Lehr-Lernmaterialien oder den Einsatz digitaler Medien im Unterrichtskontext. Darunter kann im weiteren Sinne auch das Vertrauen in den erfolgreichen Umgang mit TPACK verstanden werden. Der Zusammenhang zwischen der Selbstwirksamkeit und TPACK wurde von Zahwa und Kollegen (2021) bei angehenden naturwissenschaftlichen Lehrkräften empirisch untersucht und bestätigt. Konkreter wurde ein signifikanter Einfluss von TPACK auf die Selbstwirksamkeitsüberzeugung als Resultat gesammelter Erfahrungen mit dem Einsatz digitaler Medien gemessen (Abbitt, 2014; Joo et al., 2018; Lachner et al., 2021). Inwieweit die wahrgenommene Selbstwirksamkeit wiederum TPACK beeinflusst, wurde dabei nicht untersucht. Darüber hinaus berichten Studien von einem positiven Zusammenhang zwischen dem Vertrauen in die Arbeit mit digitalen Medien (Selbstwirksamkeit) und der (c) Motivation, Aufgaben mithilfe digitaler Medien zu bearbeiten (Lachner et al., 2021; Niederhauser & Lindstrom, 2018; Vogelsang et al., 2019; Yamamoto, 2021). Für Yamamoto (2021) ist die Motivation dabei einer von drei Bestandteilen der technologiespezifische Selbstwirksamkeit, wohingegen Lachner und Kollegen (Lachner et al., 2021) die technologiespezifischen Selbstwirksamkeit zusammen mit der wahrgenommenen Nützlichkeit digitaler Medien und den (e) Intensionen, diese für Lehr-Lernprozesse zu verwenden, als Bestandteil der Motivation zuordnen. Statistische Untersuchungen konnten unabhängig dieser kontroversen Zuordnungen die technologiespezifische Selbstwirksamkeit als Prädiktor für die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit (als Bestandteil der [d] Technologieakzeptanz, s. a. Davis, 1989) und die (d) Technologieakzeptanz (Holden & Rada, 2011) identifizieren, allerdings bezogen sich die Erhebungen vorwiegend auf Lehrkräfte im Schuldienst oder allgemein auf Nutzer der Technologien. Inwiefern die berichteten Faktoren

mit der technologiespezifischen Selbstwirksamkeit im Prozess der TPACK-Vermittlung bei angehenden Lehrkräften zusammenhängen, bleibt damit unbeantwortet.

2.4.3 Intrinsische Motivation für die Auseinandersetzung mit digitalen Medien

Motivation ist ein nicht beobachtbares, theoretisches Konstrukt, welches sich lediglich über die Zielstrebigkeit, Ausdauer und Intensität des menschlichen Verhaltens äußert (Ryan & Deci, 2000; Wilde et al., 2009). Hinsichtlich der Auseinandersetzung mit digitalen Medien schlägt sich die hohe Motivation einer angehenden Lehrkraft in einem starken Engagement und dem Wunsch nieder, mehr über die lernförderliche Integration und Verwendung digitaler Medien wissen zu wollen (Yamamoto, 2021). Die steigende Bereitschaft, sich der Herausforderung einer sinnvollen Gestaltung von technologiegestütztem Fachunterricht zu stellen, bedeutet gleichzeitig, sich der Verknüpfung von technologischem, pädagogischem und inhaltlichem Wissen (TPACK) anzunehmen. Den Zusammenhang zwischen der Motivation und TPACK beschreiben auch Sojanah und Kollegen (2021). Dabei liegt der Fokus bei Lehrkräften im Schuldienst im Gegensatz zu angehenden Lehrkräften (ohne Unterrichtserfahrung) häufig noch stärker auf dem Mehrwert, den das digitale Medium für die Planung, Gestaltung und Durchführung von Unterricht mitbringt (Backfisch et al., 2020). Prädiktor der technologiebezogenen Motivation sind die (a) Einstellungen gegenüber digitalen Medien (Vogelsang et al., 2019). Ebenso wird die (b) technologische Selbstwirksamkeit als Prädiktor vermutet (Lachner et al., 2021). Darüber hinaus beschreiben Lachner und Kollegen (2021) aufgrund der Vielschichtigkeit des Konstrukts die Notwendigkeit, mögliche Wechselwirkungen zu anderen Konstrukten wie (d) der Technologieakzeptanz oder der wahrgenommenen Nützlichkeit (als Bestandteil der [d] Technologieakzeptanz, s.a. Davis, 1989) auch im Bereich der Lehrkräftebildung weiter empirisch zu untersuchen.

2.4.4 Technologieakzeptanz

Die Technologieakzeptanz beschreibt, wie Nutzer digitale Medien akzeptieren oder nutzen (Holden & Rada, 2011). Das Nutzungsverhalten zur Verfügung stehender Medien wird im Modell zur Technologieakzeptanz (TAM) (Davis, 1989) über die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit und wahrgenommene Nützlichkeit als Kernfaktoren definiert, welche in diesem Kontext die Entscheidung einer (angehenden) Lehrkraft beeinflussen, wann und wie sie die digitalen Medien für die Planung, Gestaltung und Umsetzung von Unterricht nutzen kann. Die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit („ease of use“) ist für den Bildungsbereich wichtig, denn sie beschreibt, wie effektiv, effizient, sicher und einfach das digitale Medium

bedient werden kann und dadurch den Anforderungen an Flexibilität und Anpassung (an individuelle Bedürfnisse der Lernenden) nachkommt (Holden & Rada, 2011). Die wahrgenommene Nützlichkeit beschreibt die Erwartungen einer angehenden Lehrkraft an den Nutzen eines digitalen Mediums für ihren Unterricht (Vogelsang et al., 2019). Je nützlicher und essentieller ein digitales Medium für den Unterrichtsverlauf wahrgenommen wird, desto höher sind somit das Nutzungsverhalten und als Folge daraus die (a) Einstellung gegenüber dem digitalen Medium (Scherer et al., 2018; Teo, 2012) und die Nutzungsabsicht bzw. die (e) Intention, digitale Medien für die Gestaltung wirksamer Lehr-Lernsettings heranzuziehen (Holden & Rada, 2011; Mei et al., 2017). Die Bewertung eines digitalen Mediums und dessen Nutzen für den Fachkontext gehören zu den „TPACK-in-action"-Praktiken, die durch TPACK als Prädiktor vorhergesagt werden können (Joo et al., 2018). Ebenso wird der (b) technologiespezifischen Selbstwirksamkeit ein signifikanter Einfluss auf die Technologieakzeptanz zugesprochen (Holden & Rada, 2011; Yamamoto, 2021). Inwieweit die Technologieakzeptanz das TPACK der angehenden Lehrkräfte beeinflusst, ist scheinbar bisher unzureichend untersucht und stellt damit ein Forschungsdesiderat dar.

2.4.5 Intentionen zur Beschäftigung mit digitalen Medien

Intentionen als Verhaltensabsichten sind Faktoren, die angeben, wie sehr eine Person bereit ist, sich in einer gewissen Art und Weise zur verhalten (Teo, 2012), d. h. mit welcher Bereitschaft eine (angehende) Lehrkraft sich mit digitalen Medien auseinandersetzt. Eine höhere Bereitschaft kann demnach auch eine verstärkte Beschäftigung mit digitalen Medien für den fachspezifischen Unterrichtskontext (TPACK) zur Folge haben. Über den Einfluss der Intentionen auf TPACK scheinen bisher jedoch keine empirischen Daten vorzuliegen. Die Auswirkungen von TPACK auf die Intentionen wurden wiederum von Liu zwar signifikant gemessen (2011), das Ergebnis ließ sich von anderen Studien allerdings nicht bestätigen (Joo et al., 2018; Lachner et al., 2021). Dabei gehen Lachner und Kollegen (2021) bei den Messungen in ihrer TPACK-Interventionsstudie von sogenannten Deckeneffekten aus, die vermuten lassen, dass die Bereitschaft angehender Lehrkräfte für die Beschäftigung mit digitalen Medien bereits zu Beginn so hoch war, dass kein nennenswerter Zuwachs über die Zeit mehr möglich war. Darüber hinaus berichten zahlreiche Studien über signifikante Einflüsse der (a) Einstellungen gegenüber digitalen Medien (Guggemos & Seufert, 2021; Liu, 2011; Teo, 2012) und der (d) Technologieakzeptanz (Holden & Rada, 2011; Teo, 2012; Yamamoto, 2021) auf die Intentionen. Die Selbstwirksamkeit wurde auch als Prädiktor untersucht, hatte in diesem Zusammenhang jedoch keine signifikanten Auswirkungen (Mei et al., 2017; Teo & Zhou, 2014).

2.4.6 Konstruktivistisches Lehr-Lernverständnis für offene Lehr-Lernsettings

Jede Person verfügt über Wissen, Einstellungen und Überzeugungen, die von ihren Erfahrungen und Lernprozessen geprägt sind. So beeinflussen bei (angehenden) Lehrkräften die Erfahrungen aus der Schulzeit, der Lehrkräftebildung sowie aus Praxiserfahrungen ihr Verständnis des Lehrens und Lernens, welches Auswirkungen auf ihr Handeln im Lehr-Lernkontext haben kann (Biedermann et al., 2015). Das konstruktivistische Lehr-Lernverständnis kann in diesem Kontext als Fähigkeit einer (angehenden) Lehrkraft definiert werden, Lernen als aktiven, lernerzentrierten und selbstbestimmten Lernprozess (Göhlich et al., 2014) zu begreifen und den zugrundeliegenden Konstruktionsprozess damit selbst durchlaufen oder bei Lernenden initiieren zu können. Für den Prozess der individuellen TPACK-Entwicklung schlagen Olofson und Kollegen (2016) „TPACKing“ als ebensolchen aktiven Lernprozess vor, damit sich anwendbares technologisches, pädagogisches und inhaltliches Wissen (TPACK) im Zusammenspiel von Instruktion und Konstruktion entwickelt und damit (angehende) Lehrkräfte zum technologiegestützten Unterrichten befähigt. Gleichzeitig können dadurch im Sinne des pädagogischen Doppeldeckers eigene kollaborative, medienpädagogische und konstruktive TPACK-Lernerfahrungen gesammelt werden, die im Rahmen mediengestützter Lehr-Lernsettings sonst lediglich initiiert und begleitet werden würden (Glade, 2019). Inwiefern z. B. die kollaborative Gestaltung von Lehr-Lernmaterial bei Designaktivitäten (wird vorgeschlagen durch Baran & Uygun, 2016; Tondeur et al., 2020) in wirksamen Lehr-Lernsettings (*s. Kapitel 2.2*) und damit das zugrundeliegende konstruktivistische Lehr-Lernverständnis die Entwicklung von TPACK („TPACKing“) bei (angehenden) Lehrkräften beeinflussen, stellt ein Forschungsdesiderat dar, welches zunächst empirisch überprüft werden muss.

3. Pädagogischer Makerspace zur Förderung von TPACK

Um TPACK bei angehenden Lehrkräften zu fördern, schlagen Autoren die selbstorganisierte Umsetzung von Gestaltungsprojekten vor, wodurch in einem aktiven Lernprozess unter der Nutzung verschiedener Technologien in kollaborativer Zusammenarbeit eine kreative und innovative Lösung für Problemstellungen entwickelt werden soll (Baran & Uygun, 2016; Olofson et al., 2016; Tondeur et al., 2020; Zhang & Tang, 2021). Damit dieser Ansatz lernwirksam wird, sollten die bereits in der Literatur vorgeschlagenen Anforderungen an lernförderliche TPACK-Interventionen (vgl. *Kapitel 2.2.2)*, zu denen auch das zur Verfügung stellen eines adäquaten Lehr-Lernsettings mit flächendeckender Infrastruktur gehört, beachtet werden (Sojanah et al., 2021; Tondeur et al., 2020). Ein *Makerspace* (vgl. *Kapitel 3.1)* scheint durch seine Infrastruktur, seine Eigenschaften mit charakteristischen Organisations- und Arbeitsstrukturen (*Kapitel 3.2*) und die damit adressierte Lernkultur (*Kapitel 3.3)* alle Voraussetzungen für ein solches adäquates Lehr-Lernsetting zu erfüllen. Inwieweit ein Makerspace als Bestandteil einer TPACK-Intervention tatsächlich förderlich für die Entwicklung von TPACK ist, wurde bisher nur in ersten Ansätzen forschungsmethodisch untersucht (vgl. Figg, Khirwadkar & Welbourn, 2020*)* und stellt damit eine Forschungslücke dar, die in dieser Dissertation adressiert wird (vgl. *Kapitel 4)*.

3.1 Definition Makerspace

Makerspaces bestehen im Allgemeinen aus offenen Räumlichkeiten, in welchen teilweise kostspielige analoge und digitale Geräte allen Interessierten, Bastlern und kreativen Köpfen für die Erstellung von Einzelprodukten und Prototypen zur freien Verfügung stehen (Frauenhofer IAO, 2018; Knaus & Schmidt, 2020). Makerspaces sind das Ergebnis einer Bottom-Up "Maker-Bewegung", die mit den digitalen Technologien an Dynamik gewonnen haben und ursprünglich Unternehmen in der Wirtschaft die schnelle und einfache Umsetzung und Entwicklung innovativer und kreativer Ideen ermöglichen sollte (Frauenhofer IAO, 2018; Schön, 2018). Dort zielt der Makerspace auf das Erlernen von Objektdesign (CAD), Fertigungstechniken, Produktionsverfahren (z. B. 3D-Druck, Laserschneiden) oder Rapid Prototyping ab (Teo & van Schaik, 2012). Tüftler, Ingenieure, Künstler, Interessierte oder Lernende beschäftigen sich dabei teilweise sehr spielerisch und explorativ mit der kreativen Konzeption von Objekten und deren Umsetzung für vielfältig nützliche Zwecke (Martin, 2015; Mersand, 2021). Zweck und adressierte Zielgruppe variieren je nachdem, ob ein Makerspace „open access“ ist und damit allen Menschen öffentlich zur Verfügung steht (z. B. in Bibliotheken), ob er Bestandteil eines wissenschaftlichen Unternehmens ist oder curriculum-

basiert im Sinne eines Medien-Lehr-Lernlabors in die (Hoch-) Schule implementiert wurde und dort institutionsintern von Lernenden genutzt werden kann (Mersand, 2021).
Im Rahmen der Lehrkräftebildung ist ein *pädagogischer Makerspace* ein an der Hochschule angesiedelter Bildungsraum mit Infrastruktur und Experten, der fachspezifische Technologieerfahrungen bei angehenden Lehrkräften katalysiert und unterstützt. Das „Making“ der angehenden Lehrkräfte zielt dabei z. B. auf die selbstorganisierte Konzeption und Umsetzung wirksamer Lehr-Lernsettings und Unterrichtsmaterialien ab, was zugleich die Basis der zugrundeliegenden Herausforderung bzw. Problematik des Lernprozesses darstellt.

3.2 Eigenschaften eines pädagogischen Makerspace

Ein Makerspace im Bildungskontext wird häufig stationär an (Hoch-)Schulen aufgebaut und umfangreich eingerichtet, kann aber auch mobil, ortsunabhängig und transportabel zum Einsatz kommen (Mersand, 2021). Dabei sollte ein Makerspace auf institutioneller, arbeitsprozessbezogener und individueller Ebene folgenden Anforderungen genügen:
Auf *institutioneller Ebene* ist eine attraktive und ansprechende Gestaltung des Makerspace als Bildungsraum ausschlaggebend dafür, ob sich „ein Maker“ wohlfühlt und in dem Arbeitsraum lernen kann (Kurti et al., 2014; Mersand, 2021). Eine umfangreiche und sinnvoll ausgewählte Ausstattung ist vor allem dann entscheidend (Cohen, 2017; Jaatinen & Lindfors, 2019), wenn Ziel und Form der Lernaktivitäten bereits durch die Auswahl und Qualität der Geräte und Materialien vorbestimmt werden sollen (Fernandes et al., 2020; Mersand, 2021). So sind nicht nur die Schulung des Personals für ein sinnvolles Raummanagement, die Technologie- und Lernprozessbegleitung sowie die Instandhaltung und Wartung der Geräte und Ressourcen für ein funktionierendes Makerspace-System entscheidend, sondern auch die Kooperation innerhalb und zwischen Institutionen, damit „Making“ z. B. auch durch die Unterstützung von Experten funktionieren kann (Cohen, 2017; Kurti et al., 2014).
Die Unterstützung durch Experten (z. B. durch Fach- oder Technikexperten, Lehrkräfte oder Lehrende), der gegenseitige Support sowie die Integration von Workshops und Tutorials gehören auf *arbeitsprozessbezogener Ebene* als Grundbestandteil zur Arbeit im Makerspace dazu, da vor allem die Qualität dieser Angebote den Arbeitsflow mitbestimmt (Fernandes et al., 2020; Frauenhofer IAO, 2018; Jaatinen & Lindfors, 2019; Knaus & Schmidt, 2020; Seidl, 2017). Stetiges Feedback zielt darauf ab, Lernende mit der Kultur der Fremd- und Selbsteinschätzung vertraut zu machen (Jaatinen & Lindfors, 2019), da durch den Perspektivwechsel die Sensibilität für eigene Selbstregulationsmechanismen gefördert werden kann. Erst durch die Fähigkeiten zur Selbstregulation und Selbstorganisation werden Freiheit und Flexibilität im Arbeitsprozess vermehrt als Entlastung und weniger als Belastung wahrgenommen (Heredia & Tan, 2021).

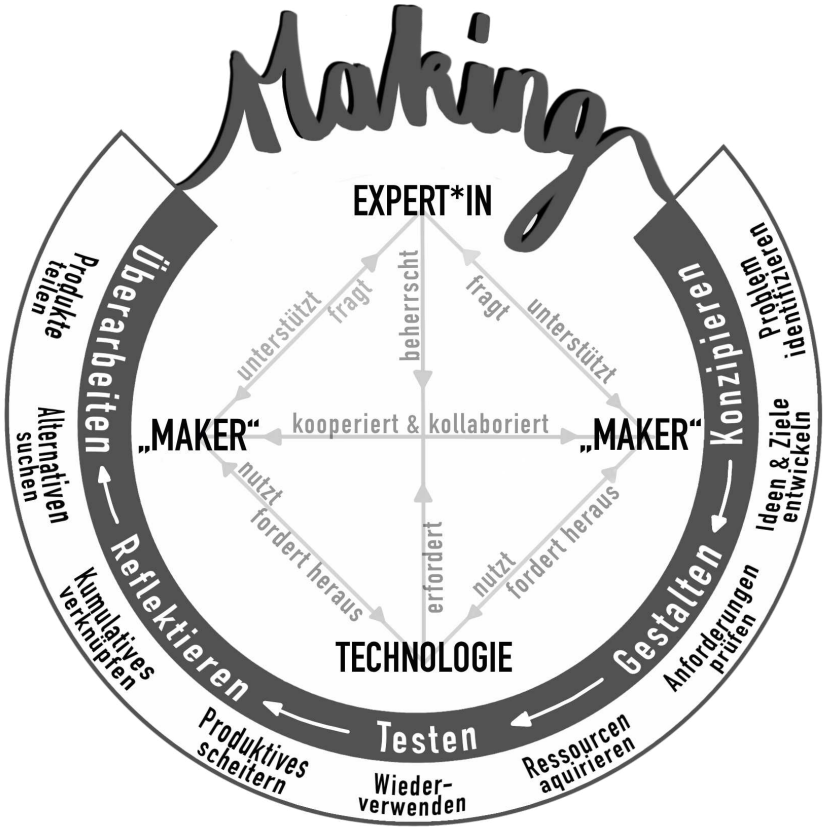
Auf *individueller Ebene* sollte der Makerspace für jeden Lernenden, unabhängig von Alter, Vorerfahrung und vorhandenen Kompetenzen, nutzbar und zugänglich sein (Bevan, 2017; Knaus & Schmidt, 2020). Trotz der großen Heterogenität ist ein offenes, kollaboratives Umfeld wichtig, in dem durch spielerisch ästhetisches Arbeiten Interesse und Neugierde geweckt werden können (Bevan, 2017; Ismer & Mietzner, 2019; Kurti et al., 2014; Vuorikari et al., 2016). Dabei übernimmt das Wecken des Interesses eine wichtige Funktion für den innovativen Designprozess, da das Interesse stark den Präzisionsgrad der Produktion beeinflusst (Zhan et al., 2021). Ein offener und gemeinschaftlicher Austausch gibt Inspiration, fördert Engagement und ermöglicht die gegenseitige Unterstützung bei der Realisierung von Ideen (Frauenhofer IAO, 2018; Hilton et al., 2018; Ismer & Mietzner, 2019).
Diese Faktoren sollten bei der Implementierung und Leitung eines (pädagogischen) Makerspace beachtet werden, damit das kreative, experimentelle und praktische Arbeiten die Leistungen der Lernenden positiv beeinflussen kann (Khalifa & Brahimi, 2017). Die zugrundeliegenden Lernprozesse sind dabei Teil der charakteristischen Lernkultur eines Makerspace.

3.3 Makerspaces und ihre Lernkultur

Die Forderungen nach einer veränderten Lernkultur (Ismer & Mietzner, 2019; Tan, 2019), in der angehende Lehrkräfte umfangreiche und für die heutige Zeit zielführende Erfahrungen machen und neuzeitliche Kompetenzen entwickeln können, lenken den Blick auf das Format Makerspace als Bildungsraum. Unter einer Lernkultur versteht man einen „Teil der gesellschaftlichen Gesamtkultur - zur Lernkultur gehören die Lernstile, Lernmotivationen, Lernthemen, Lernräume, Lernangebote, Lerneinrichtungen [und] die lokale Lerninfrastruktur […].“ (Siebert, 2001, S.142). Die Lernkultur eines Makerspace (*Abbildung 3.1*) vereint neue Technologien und Trends mit verschiedenen altbewährten und etablierten Lerntheorien, -prinzipien und -strategien.
Die Basis der Lernkultur in Makerspaces bilden projektbasierte Arbeitsformen (Andrews et al., 2021; Blackley et al., 2017; Ismer & Mietzner, 2019; Khalifa & Brahimi, 2017; Martin, 2015; Rosenfeld Halverson & Sheridan, 2014; Schön et al., 2019). Ausgangspunkt sind Probleme, die in einem pädagogischen Makerspace für angehende Lehrkräfte weitgehend lernprozess- und vermittlungsbezogene Inhalte aufweisen. Die Frage, wie wirksame analoge oder digitalgestützte Bildungsmedien oder Lehr-Lernsettings zu einem konkreten Fachinhalt aussehen können, wird damit Kernstruktur des Problems und Inhalt der Projektziele.

Abbildung 3.1

Lernkultur in einem Makerspace basierend auf einem selbstgesteuerten, agilen Entwicklungs- und Umsetzungsprozess (Innerer Kreis: Stakeholder; Mittlerer Kreis: Phasen im Making-Prozess; Äußerer Kreis: Tätigkeiten im Making Prozess [nicht chronologisch]).



Der Projektprozess beginnt mit der Entwicklung von Ideen, die eine sinnvolle Auswahl der Werkzeuge, Geräte und Programme zur Folge haben (Kolikant et al., 2020) und anschließend in einer „Making“-Phase zu ersten Prototypen (Projektprodukten) umgesetzt werden. Auch wenn ein Makerspace Dreh- und Angelpunkt ist, können die Recherche, Ideenfindung, Akquisition von Ressourcen und Konzeption in Teilen auch daheim oder unterwegs stattfinden (Jones et al., 2020). Denn der Makerspace gewinnt vor allem für die konkrete Umsetzung des Konzepts und die Konstruktion mit anschließender Erprobung und Überarbeitung der Prototypen an Bedeutung (Bevan, 2017; Zhan et al., 2021). Der Gesamtprozess oder die untergeordneten Teilprozesse können hierbei flexibel nach Bedarf und im eigenen Tempo durchlaufen und wiederholt werden.

In den Projekten arbeiten die Lernenden meist untereinander kollaborativ in Projektgruppen und mit Experten zusammen (Fernandes et al., 2020). Dabei sind flache Hierarchien für Makerspaces charakteristisch, wodurch Teilnehmer und Mitarbeiter als gleichwertige und gleichgesinnte Mitglieder einer Maker-Community angesehen werden (Jones et al., 2020). So kann jede Person je nach Fach- und Interessensgebiet Lerner, Mentor oder Experte sein und

dadurch unterschiedliche Rollen einnehmen (Mersand, 2021). Durch gegenseitiges Vor- und Nachmachen (s. a. Lernen am Modell nach Bandura (1977)) können im situativen und sozialen Geschehen Ansätze, Strategien, Techniken und Wissen für Verfahren und die Anwendung von Technologien kumulativ erworben und untereinander weitergegeben werden (Hilton et al., 2018). Diese Fähigkeiten und Fertigkeiten sind wichtig, um in einem überblickenden Denkprozess kreative Lösungen und Umsetzungsideen für die Bearbeitung der aktiv herbeigeführten Herausforderungen (s. o. Probleme) meistern zu können (Bevan, 2017; Ismer & Mietzner, 2019; Jaatinen & Lindfors, 2019; Martin, 2015; Schön, 2018; Zhan et al., 2021). Die Umsetzung von der Idee zur Problemlösung findet parallel zum Denkprozess aktiv und erfahrungsbasiert direkt unter Verwendung analoger Materialien und digitaler Hard- und Software statt (Bevan, 2017; Blackley et al., 2017). Somit entstehen Prototypen im Lernprozess während des „Machens“ (Heredia & Tan, 2021). Der Primat der Instruktion und damit das passive Aufnehmen von Wissen rückt in den Hintergrund und die eigenverantwortliche Konstruktion von (relevanten) Artefakten ins Zentrum des Arbeitsprozesses (Cohen et al., 2018; Schmoelz, 2017). Dies ist sowohl aus der Perspektive des Konstruktivismus (Duffy & Cunningham, 1996) als auch aus der Perspektive des Konstruktionismus (Heredia & Tan, 2021; Jin, 2021; Martin, 2015) bedeutsam. Nach der Lehre des *Konstruktivismus* wird ein kognitiver Konflikt durch ein ‚Problem‘ ausgelöst, den jeder individuell in einem aktiven, selbstkonstruierten Lernprozess in Wechselwirkung mit Erfahrungen für sich lösen muss (Duffy & Cunningham, 1996). Findet dieser Prozess in kooperativer Zusammenarbeit statt, muss das eigene Verständnis darüber hinaus stets mit dem Verständnis der anderen getestet, abgeglichen, erweitert und damit zusätzlich sozial ausgehandelt werden (Savery & Duffy, 1995). Dasselbe gilt für den *Konstruktionismus*, nur findet hier Konstruktion und damit Lernen vor allem dann statt, wenn konkret Objekte produziert oder verändert werden (Jin, 2021). Beide Paradigmen des Konstruktivismus und des Konstruktionismus werden als Kern der Lernkultur von Makerspaces gesehen (Cross, 2017; Jin, 2021; Jones et al., 2020; Kurti et al., 2014). Dabei müssen die im aktiven und selbstgesteuerten Handlungsprozess dazugewonnenen Erkenntnisse von den Lernenden im Projektverlauf selbst kritisch reflektiert und kumulativ in vorhandene Denkstrukturen integriert werden (Knaus & Schmidt, 2020; Zhan et al., 2021). Lernen wird dabei zum fehlertoleranten Ergebnis der (Design-) Aktivität (Mersand, 2021; Schmidt, 2019), die von dem vorhandenen Willen, den Interessen und der individuellen Vorstellung mitbeeinflusst werden (Fernandes et al., 2020; Rosenfeld Halverson & Sheridan, 2014; Zhan et al., 2021). Makerspaces als konstruktivistische Lehr-Lernumgebungen eröffnen Handlungsfreiheiten durch iteratives und agiles Arbeiten (Heredia & Tan, 2021; Jones et al., 2020), womit das Herstellen, produktive Scheitern und Teilen in der Maker-Bildung einen zentralen Platz einnehmen (Jin, 2021). Durch

den hohen Flexibilisierungsgrad können Lernende Zeitpunkt und -umfang zum Erlernen neuer Praktiken individuell wählen (Fernandes et al., 2020). Darüber hinaus ermuntert die Lernkultur (z. B. andere Maker, Experten oder das materielle Angebot) den Lernenden, Neues auszuprobieren und sich den eigenen Unsicherheiten zu stellen, wodurch in einem kritischen Innovationsentscheidungsprozess auch Einstellungen gegenüber Technik, Design und Technologie sowie die Motivation für langfristiges Engagement geprägt werden (Kolikant et al., 2020; Hilton et al., 2018; Yamamoto, 2021). Zusätzlich können Lernerfahrungen in eine Veränderung der wahrgenommenen Selbstwirksamkeit und der positiven Entwicklung von Überzeugungen über die Rolle von Technologien münden (Andrews et al., 2021; Cohen, 2017; Kurti et al., 2014; Song, 2018) (*s. a. Kapitel 2.4*).

So ist eine sinnvolle und kritische Verknüpfung von technischem, inhaltlichem und pädagogischem Wissen (TPACK) auf der einen Seite Voraussetzung (Cross, 2017) und auf der anderen Seite das Produkt (Cohen, 2017) einer Lernerfahrung im Makerspace.

3.4 Potenziale und Herausforderungen von Makerspaces

Ein Makerspace bietet angehenden Lehrkräften als konstruktivistische Lehr-Lernumgebung die Plattform, theoretisches Wissen mit praktischem Training zu verknüpfen (Taheri et al., 2019). Eigene Erfahrungen bei der Produkt- und Materialgestaltung und die Erprobung neuer Lehrmethoden ermöglichen im Sinne des pädagogischen Doppeldeckers (Glade, 2019), gezielt und reflektiert die Perspektive des Lernenden einzunehmen und Potenziale sowie Herausforderungen für den Lern- und Entwicklungsprozess am eigenen Körper zu entdecken und wahrzunehmen. Die aktive Eingebundenheit kann dabei ein Katalysator für die Entwicklung von Identität und Gemeinschaft sein (Jones et al., 2020). So können Identitätsentwicklung, Empowerment und Bewusstseinsbildung stattfinden (Bevan, 2017; Ismer & Mietzner, 2019; Martin, 2015; Rosenfeld Halverson & Sheridan, 2014), damit zukünftig technologische Fragen in der Vorbereitung und Durchführung von Unterricht professionell erkannt und mit einem selbstbewussten und selbstwirksamen Engagement bearbeitet werden können (Hilton et al., 2018; Song, 2018).

Neben den notwendigen kognitiven Fähigkeiten (u. a. beschrieben im TPACK-Modell [Mishra & Koehler, 2006]) werden bei der Arbeit im Makerspace auch psychomotorische und affektive Fähigkeiten sowie die 21. Century Skills (u. a. Kreativität, kritisches Denken, Kooperation und Kommunikation) adressiert (Andrews et al., 2021; Yamamoto, 2021). Diese brauchen häufig ein Gegenüber, damit sie entwicklungsfähig werden. Der kollegiale Austausch, das selbstorganisierte und selbstverantwortliche Arbeiten sowie das Erschaffen von Produkten forcieren die Entwicklung von Lerndispositionen, wie die intrinsische Motivation (Martin, 2015; Ryan & Deci, 2000) oder die Erweiterung des Repertoires an Lernstrategien. Lerndispositionen

bilden zusammen mit einem Prozess- und Konzeptverständnis (Ismer & Mietzner, 2019) sowie der Reflexionskompetenz (Vuorikari et al., 2016) eine Basis, auf der sich angehende Lehrkräfte erfolgreich an Veränderungen im Klassenraum anpassen und mit Veränderungen im Berufsleben im Sinne des „lebenslangen Lernens“ auseinandersetzten können (Yamamoto, 2021).

Die vielen Individualisierungsmöglichkeiten, die mit der Struktur und Organisation eines Makerspace einhergehen und verschiedenen auditiven, visuellen und kinästhetischen Lerntypen gerecht werden (Blackley et al., 2017; Ismer & Mietzner, 2019; Knaus & Schmidt, 2020), geben den angehenden Lehrkräften trotz heterogener Vorerfahrungen und eines unterschiedlichen Wissensniveaus die Chance, am eigenen Kompetenzstand individuell anzuknüpfen (Bevan, 2017; Zhan et al., 2021). Der demokratisierte Zugang zu den verfügbaren Räumlichkeiten und Geräten löst sich vom „Bring your own Device“ Ansatz und sorgt dadurch für eine Bildungsgerechtigkeit unter den Lernenden (Frauenhofer IAO, 2018; Heredia & Tan, 2021; Ismer & Mietzner, 2019; Mersand, 2021). Materialien können einfach beschafft und billig (wieder-) verwendet werden. Projektprodukte wie Lehr-Lernmaterialien können als „Open Educational Ressource“ den (Hoch-) Schulen als Lernmaterial zur Verfügung gestellt werden, was informell ein Bewusstsein für die Einsparung von Ressourcen sowie das Thema Nachhaltigkeit schafft und im Einklang mit den Ideen und Zielen des Maker-Gedankens steht (Schön, 2018).

Auch wenn sich „Kooperation“, „Engagement“ und „gegenseitige Unterstützung“ nach einem Selbstläufer anhören, sollten Makerspaces nicht ihrem Schicksal überlassen werden. So stellen die genannten Potenziale gleichzeitig auch die größten Hürden dar. Die Herausforderung liegt gleich zu Beginn darin, optimale Lernräume mit sinnvoller Ausstattung zu gestalten (Ismer & Mietzner, 2019; Kurti et al., 2014). Der niederschwellige und gleichberechtigte Zugang zu Materialien, Geräten und Tutorials muss kontrolliert und die Soft- und Hardware durch die schnell verfügbaren Updates stets auf dem Laufenden gehalten werden (Ismer & Mietzner, 2019). Das Personal sollte deshalb zum einen technischen Support geben, zum anderen die angehenden Lehrkräfte im Einklang mit dem „Makerspirit“ konstruktiv unterstützen können. Dies bedeutet, den angehenden Lehrkräften persönliche Anlaufstellen anzubieten, damit kontrolliert intellektuelle Risikobereitschaft forciert (Heredia & Tan, 2021), Reflexionskompetenz zur Eigenkontrolle erlernt (Vuorikari et al., 2016) und Rückschlag von Scheitern unterschieden (Seidl, 2017) werden kann. Die gemeinsame Identifizierung bestehender Fehlkonzepte (Cohen et al., 2018) und eine individuelle wohldosierte Begleitung der Projektgruppen können den angehenden Lehrkräften zum einen viel Zeit und Mühe ersparen, in die falsche Richtung zu agieren (Jones et al., 2020), und zum anderen sie davor bewahren, den Mut im Projektprozess zu verlieren.

4. Forschungsfragen

TPACK umfasst alle notwendigen Kenntnisse und Fertigkeiten, um digitale Medien in der Praxis professionell und reflektiert für domänenspezifische Vermittlungsprozesse auswählen und einsetzen zu können (Mishra & Koehler, 2006, 2008). Dabei ist es wichtig, dass (angehende) Lehrkräfte nicht nur über konzeptionelles TPACK verfügen, sondern TPACK auch performativ in der Praxis anwenden können (Willermark, 2017). Dafür sind in der Lehrkräftebildung Interventionen in Lehr-Lernumgebungen notwendig, die an individuelle Voraussetzungen der Studierenden angepasste sowie praktische und erfahrungsbasierte Technologieerfahrungen ermöglichen (Tondeur et al., 2020). Designbasierte Ansätze schlagen hierfür eine kollaborative und problembasierte Entwicklungsarbeit innerhalb individueller Medienprojekte vor, in welchen die angehenden Lehrkräfte reflektierte, technologiegestützte Lehr-Lernsettings für den Fachkontext entwickeln und umsetzen sollen (Baran & Uygun, 2016; Zhan et al., 2021). Ein pädagogischer Makerspace könnte unter anderem mit seiner verfügbaren Infrastruktur, der Expertise und einem differenzierten Unterstützungssystem die notwendigen Rahmenbedingungen liefern, damit Praxiserfahrungen zur Entwicklung von TPACK bei angehenden Lehrkräften bereits in der Lehrkräftebildung möglich werden. Deshalb ist das Bestreben des Dissertationsvorhabens, folgende Leitfrage zu untersuchen:

> *Ob und inwieweit kann sich TPACK bei angehenden naturwissenschaftlichen Lehrkräften durch medienbezogene Lernprozesse in einem pädagogischen Makerspace entwickeln?*

Aus der Leitfrage ergeben sich drei übergeordnete Ziele. Es soll (1) die Wirksamkeit der Intervention im pädagogischen Makerspace sowie weitere personenbezogene Einflussfaktoren auf die TPACK-Entwicklung ermittelt werden. Da bei der Messung des komplexen, kontextbasierten und anwendungsbezogenen TPACK Selbsteinschätzungen jedoch schnell an ihre Grenzen stoßen, soll (2) zusätzlich ein vignettenbasierter Leistungstest zur Fremdeinschätzung von TPACK konzipiert werden, der die Triangulation ermöglicht. Darüber hinaus sollen (3) die wahrgenommenen Herausforderungen und dazu entwickelten Problemlösestrategien der angehenden Lehrkräfte identifiziert werden, um eine Grundlage für die strukturelle und konzeptionelle Weiterentwicklung des pädagogischen Makerspace zu schaffen. Die drei Zielsetzungen werden durch acht Forschungsfragen adressiert und im Rahmen von fünf Studien untersucht (vgl. *Kapitel 6-10*). Aufgrund der unterschiedlichen inhaltlichen und forschungsmethodischen Foki der Forschungsfragen, sind diese in

abweichender Reihenfolge zu den Zielsetzungen angeordnet. Nachfolgend werden die Forschungsfragen im Überblick dargestellt.
Um die Auswirkungen eines in die Lehrkräftebildung implementierten pädagogischen Makerspace messen zu können, müssen auf die Intervention angepasste Messinstrumente zur Erfassung des komplexen, kontextbasierten TPACK entwickelt werden. Dafür reichen Selbsteinschätzungsskalen alleine nicht aus (vgl. *Kapitel 2.3*). Deshalb wird in der Fachliteratur angeregt, die TPACK-Selbsteinschätzung mit den TPACK-Daten aus Fremdeinschätzungen zu triangulieren (Akyuz, 2018; Graham et al., 2012; Kopcha et al., 2014; Mourlam et al., 2021; Voogt et al., 2013; Willermark, 2017). Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage, die in *Studie 1* beantwortet wird:

(1) Wie muss ein Leistungstest zur Erhebung der TPACK-Performanz gestaltet sein, damit er mit den Daten der TPACK-Selbsteinschätzung trianguliert werden kann?

Die Konzeption und Umsetzung von individuellen Medienprojekten als Bestandteil der TPACK-Intervention (*Kapitel 5.1*) sehen vor, dass die angehenden naturwissenschaftlichen Lehrkräfte selbstorganisiert und kollaborativ im pädagogischen Makerspace arbeiten. Dabei können begleitend zum Projektprozess auf verschiedenen Ebenen Herausforderungen von den Lernenden wahrgenommen werden, für die im Projektteam Lösungen entwickelt werden müssen. Damit die Projektarbeit im pädagogischen Makerspace die TPACK-Entwicklung fördert und sich Hürden nicht entmutigend auf die angehenden Lehrkräfte auswirken, sollten geeignete, konzeptionelle Maßnahmen entwickelt werden, die angehende Lehrkräfte in ihrem Projektprozess konstruktiv unterstützten. Die Forschungsfragen zwei, drei und vier werden in *Studie 2* und *Studie 3* adressiert, wobei *Studie 2* die Forschungsfrage zwei und drei und *Studie 3* die Forschungsfrage vier stärker fokussiert:

(2) Welche Herausforderungen nehmen angehende Lehrkräfte bei der Arbeit im pädagogischen Makerspace wahr?
(3) Welche Problemlösestrategien werden zur Bewältigung der Herausforderungen im Makerspace von angehenden Lehrkräften entwickelt?
(4) Durch welche Maßnahmen können die Herausforderungen der angehenden Lehrkräfte im pädagogischen Makerspace adressiert werden?

Ob das komplexe TPACK überhaupt erfasst werden kann und wie sinnvoll ein Rückschluss der gemessenen TPACK-Selbsteinschätzung auf die eigentliche TPACK-Performanz ist, soll durch die Triangulation der Selbsteinschätzungsdaten mit den Fremdeinschätzungsdaten

(den Ergebnissen des Leistungstests) überprüft werden (*vgl. Kapitel 2.3*). *Studie 4* beschäftigt sich deshalb mit der Beantwortung der Forschungsfragen fünf, sechs und sieben:

(5) Können angehende Lehrkräfte ihr TPACK durch die Durchführung eines Medienprojekts in einem pädagogischen Makerspace verbessern?
(6) Inwieweit sind die Ergebnisse der verschiedenen TPACK-Messverfahren vergleichbar?
(7) Inwieweit eignen sich TPACK-Skalen zur studentischen Selbstevaluation?

Da Lernprozesse nicht isoliert stattfinden, kann von weiteren Rahmenfaktoren ausgegangen werden, welche die TPACK-Entwicklung beeinflussen (*vgl. Kapitel 2.4*). *Studie 5* adressiert deshalb abschließend Forschungsfrage acht:

(8) Inwieweit wird die TPACK-Entwicklung durch Rahmenfaktoren wie die technologiebezogene Selbstwirksamkeit, die Motivation zur Nutzung digitaler Medien und die Technologieakzeptanz beeinflusst und welche Auswirkungen hat dies auf die Intensionen, digitale Medien zu nutzen?

5. Anlage der empirischen Forschung

5.1 Intervention im Projekt TPACK 4.0

Das Forschungsvorhaben dieser Dissertation wurde im Rahmen des Projekts "TPACK 4.0: Interdisziplinäre, pragmatische, forschungsbasierte Weiterentwicklung der mediendidaktischen Kompetenzen von Lehrkräften" an der Pädagogischen Hochschule in Weingarten durchgeführt. Ziel von *TPACK 4.0* ist die Förderung von TPACK bei angehenden naturwissenschaftlichen Lehrkräften durch eine integrierte Medienbildung in den einzelnen Fächern der ersten Phase der Lehrkräftebildung. Für diesen Zweck wurde in *TPACK 4.0* eine Intervention entwickelt, die in der vorliegenden Dissertation hinsichtlich ihrer Wirksamkeit untersucht wird. Aus diesem Grund werden auf die einzelnen Elemente der Intervention in den folgenden Kapiteln näher eingegangen. Die Intervention gliedert sich in zwei Teile:

(1) Angehende Lehrkräfte arbeiten an *mediengestützten Fachprojekten*, die in Wahl- oder Pflichtseminare der Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Physik, Psychologie, Mathematik, Informatik, Technik) angesiedelt, aber außerhalb der Seminarzeiten in Projektgruppen durchgeführt werden (s. *Kapitel 5.1.1*). Für die selbstorganisierte Umsetzung der Fachprojekte steht den Projektgruppen ein, vom Projekt *TPACK 4.0* an der Hochschule stationär implementierter, pädagogischer Makerspace zur Verfügung. Die beteiligten Fächer und Dozierenden aus den Seminaren liefern hierfür in erster Linie die fachdidaktische Betreuung. Der für alle Projektgruppen verfügbare pädagogische Makerspace bietet ergänzend ein individuelles Unterstützungsangebot (s. *Kapitel 5.1.1.1*), die notwendige Infrastruktur (s. *Kapitel 5.1.1.2*) sowie eine technische Betreuung für die erfolgreiche Umsetzung der Projekte.

(2) Begleitend zu den Projektarbeiten müssen alle Studierenden einen *fachübergreifenden, mediendidaktischen Input* (ca. 180 Minuten) bearbeiten (s. *Kapitel 5.1.2*), der ein Bindeglied zwischen Fachseminar, Medienprojekt und Makerspace darstellt und für eine kriterienbasierte Konzeption der Projektprodukte (s. *Kapitel 5.1.3*) sorgt.

5.1.1 Medienprojekte und ihre Projektorganisation

Die Medienprojekte stellen den ersten Teil der Intervention dar. Medienprojekte erfordern von den angehenden Lehrkräften die praktische Anwendung und Vertiefung von TPACK (ganzheitliche und erweiterte Betrachtung der im Makerspace adressierten Lernziele in *Kapitel 5.1.6*). Ziel der Projektarbeit sind die kollaborative und kreative Erarbeitung und Gestaltung sinnvoller und lernförderlicher Projektprodukte, wie zum Beispiel Lehr-Lernmaterialien im Sinne von interaktiven Erklärvideos, multimedialen Aufgaben oder virtuellen Modellen für den naturwissenschaftlichen Fachunterricht (*Kapitel 5.1.5*). Die Entwicklung der Projektprodukte

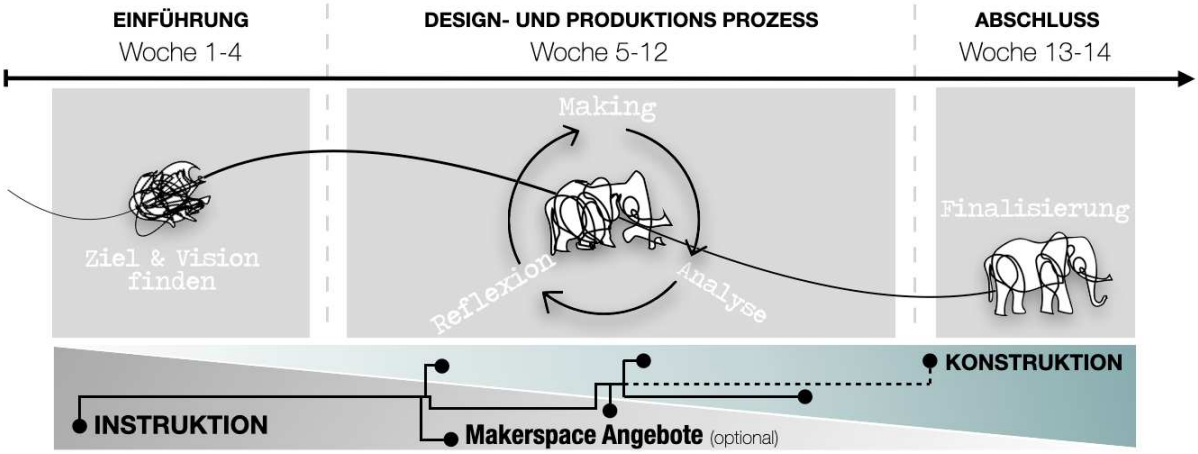
findet in iterativen Zyklen statt, in denen zunächst Prototypen erstellt, reflektiert und mehrmals überarbeitet werden. Die Medienprojekte sind in ein Fachseminar eingebettet und werden im Verlauf eines ganzen Semesters (ca. 14 Wochen) umgesetzt (*Abbildung 5.1*). Die Umsetzung der Projekte findet nicht innerhalb der Seminarzeiten, sondern individuell zeitlich und räumlich unabhängig und selbstorganisiert in den Selbstlernzeiten des Seminars statt (davon 20 Stunden Seminar- und 70 Stunden Selbstlernzeit). Die Projektphasen werden durch ein differenziertes Scaffolding ergänzt und den angehenden Lehrkräften über das Semester hinweg grob vorgegeben. Im Laufe des Projekts nehmen die verpflichtenden Instruktionselemente ab und die angehenden Lehrkräfte können im Konstruktionsprozess je nach Bedarf auf das freiwillige Unterstützungsangebot (z. B. Beratung, Tutorials und Workshops) zurückgreifen (*Kapitel 5.1.2*).

Die Formierung der Projektgruppen findet von den angehenden Lehrkräften selbstorganisiert statt. In einer *Einführungsphase* (siehe *Abbildung 3.1*) des Seminars entwickeln die Teams Ideen und Visionen für ein fachbezogenes Projektthema. Die Formulierung passender Projektziele erfolgt anschließend in Absprache mit den Dozierenden. Außerdem muss zu Beginn des Projekts ein mediendidaktischer Input (*Kapitel 5.1.3*) verbindlich von allen angehenden Lehrkräften bearbeitet werden, der als digitaler Selbstlernkurs online und asynchron zur Verfügung steht. Dieser liefert Basiswissen zu mediendidaktischen Gestaltungskriterien, Hard- und Software sowie Informationen zur erfolgreichen Projektorganisation.

Anschließend ist die Gruppe im *Design- und Produktionsprozess* für die Planung der Arbeitsschritte, die inhaltliche, mediendidaktische und technische Einarbeitung mithilfe der

Abbildung 5.1

Zeitliche Einordnung der Projektphasen in ein Fachseminar mit abnehmenden Phasen der Instruktion und zunehmenden Phasen der Konstruktion.



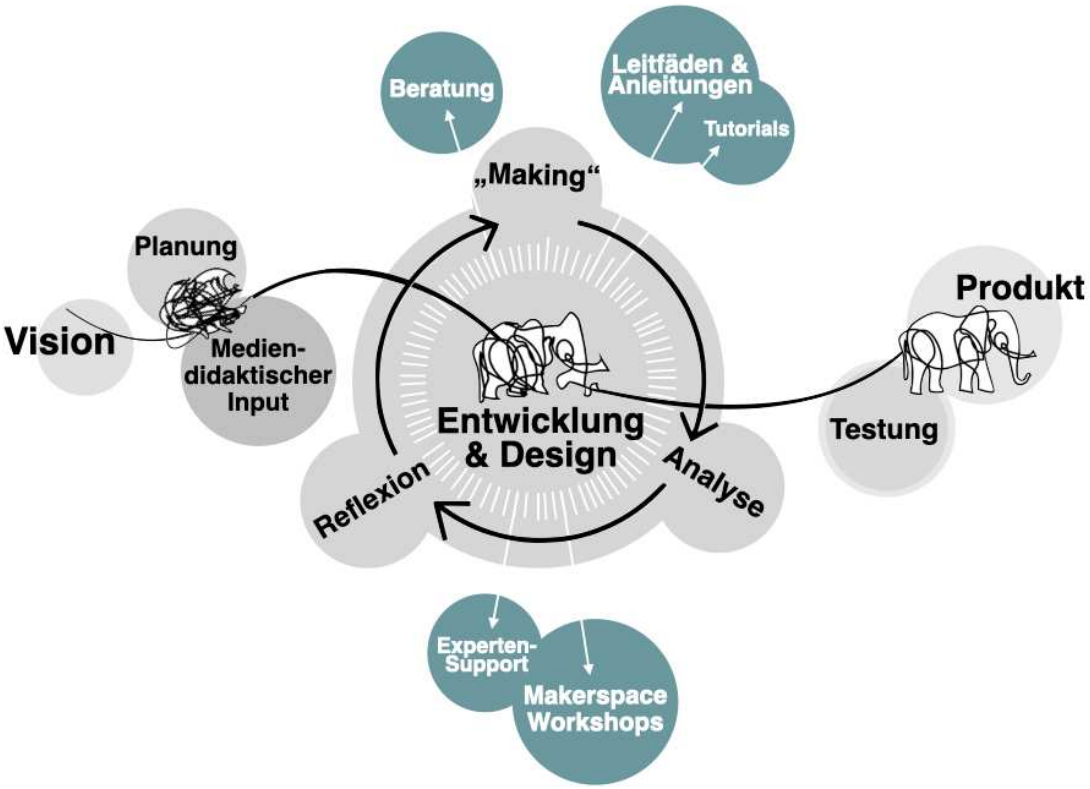
Selbstlernmaterialien, die Selbstkontrolle des Projektfortschritts und das Zeitmanagement selbst verantwortlich. Die Konzeption und Umsetzung der Prototypen müssen sich an den grundlegenden Kriterien für den Designprozess orientieren, die zu Beginn des Seminars im mediendidaktischen Input eingeführt werden. Darüber hinaus legt jeder Dozierende verpflichtende, gemeinsame Reflexionstermine für seine Projektgruppen innerhalb der Seminarzeiten fest. In diesen werden Prototypen (Zwischenergebnisse) gegenseitig präsentiert und gemeinsam mit Peers und dem Dozierenden kriteriengeleitet reflektiert. So können direkt im Gestaltungsprozess Probleme identifiziert, fachdidaktische Konzepte und technische Lösungsmöglichkeiten kollaborativ entwickelt, Prototypen kritisch hinterfragt und kreative Wege der Umsetzung fachspezifisch diskutiert werden. Making, Analyse und Reflexion der Prototypen sind damit zentrale Arbeitsweisen der Hauptphase des Projektprozesses, die sowohl hintereinander als auch in unterschiedlicher Intensität parallel ablaufen können.
Die Abschlussphase dient der Einarbeitung letzter Rückmeldungen, der Finalisierung der Projektprodukte und der Vorbereitung der Abschlusspräsentation.

5.1.1.1 Unterstützungsangebot

Das Unterstützungsangebot steht den Projektgruppen begleitend zur Bearbeitung der Medienprojekte optional zur Verfügung. Für die Einarbeitung und Bedienung der im Makerspace vorhandenen Hard- und Software (vgl. *Kapitel 5.1.3*) produziert das Betreuungspersonal des Makerspace (hauptsächlich studentische MitarbeiterInnen) einen digitalen „User Guide“ mit zahlreichen Tutorials (asynchron und online abrufbar). Darüber hinaus kann das Betreuungspersonal eine zusätzliche Kurzeinführung in Gerätefunktionen geben, technische Fragen im Projektprozess beantworten sowie an hochschulinterne oder hochschulübergreifende Experten weitervermitteln (z. B. Experten der Fachdidaktiken, Technikexperten). Zusätzlich werden in regelmäßigen Abständen kurze Einführungsworkshops (ca. 60 Minuten) in praxisnahe Themen und Tools angeboten, für die sich Projektgruppen freiwillig anmelden können. Inwiefern auf das ergänzende Unterstützungsangebot im Design- und Produktionsprozess zurückgegriffen wird (*Abbildung 5.2*), bemisst sich am Grad der Vorerfahrungen und den, bereits vorhandenen Kompetenzen in der Gruppe und muss von der Gruppe selbst eingeschätzt werden. Das Unterstützungsangebot ist Teil des pädagogischen Makerspace *CoLiLab*, der den angehenden Lehrkräften zur Bearbeitung ihrer Medienprojekte kostenlos und frei zugänglich zur Verfügung steht.

Abbildung 5.2

Übersicht des Design- und Entwicklungsprozesses, kombiniert aus klassischen und agilen Projektelementen sowie fixen (helle Kreise) und optionalen (dunkle Kreise) Bestandteilen.



5.1.1.2 Pädagogischer Makerspace CoLiLab

Das Akronym *CoLiLab* steht für „**Co**operative **Li**beral **Lab**oratory“ und ist ein auf die kooperative Produktion von digitalen Bildungsmedien oder mediengestützten Lehr-Lernszenarien ausgelegter, frei zugänglicher Makerspace für angehende Lehrkräfte der Pädagogischen Hochschule in Weingarten. Bei der Konzeption wurden die Überlegungen hinsichtlich lernförderlicher Eigenschaften und Strukturen eines Makerspace aus *Kapitel 3* beachtet.

Das CoLiLab besteht aus vier nah beisammen liegenden Bereichen (*Abbildung 5.3)*: Die *Kreativzone* und das *Ideen*$^{(2)}$*quadrat* sind zwei offene Bereiche, ausgestattet mit verschiedenen Sitzgelegenheiten und Arbeitsbereichen, einem Whiteboard und Monitoren, in denen die angehenden Lehrkräfte flexibel zusammenkommen, ihre Ideen sammeln, Konzepte entwerfen, planen, weiterentwickeln und reflektieren können.

Projektideen, die sich primär auf die Produktion audiovisueller Medien beziehen, können in der *Videosphäre* umgesetzt werden. Dort stehen Kameras (u. a. Videokamera, Spiegelreflexkamera, 360°-Kamera), Greenscreen, Beleuchtung, Aufnahmetisch, iPads (u. a. Illustrations- und Video Software), Audiosystem sowie leistungsfähige Computer mit Schnittsoftware für Video- und Audioproduktionen zur Verfügung (vgl. *Abbildung 5.4*). Die Erstellung von 3D-Modellen durch punktbasierte oder fotogrammetrische Fertigungstechniken sowie den 3D-Druck ist in der *Werkbox* möglich. Dort stehen zudem eine Werkbank und Kleincomputer für Programmierprojekte sowie eine Nähmaschine, ein Schneideplotter und eine Transferpresse für individuelle Textilarbeiten und -prints zur Verfügung.

Abbildung 5.3

Lageplan und räumlicher Aufbau des CoLiLab.

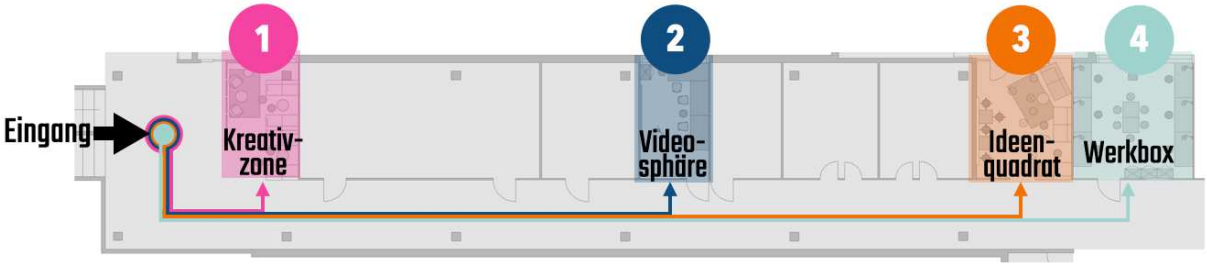


Abbildung 5.4

Einblicke in die Räumlichkeiten des CoLiLab.

5.1.2 Mediendidaktischer Input

Der mediendidaktische Input stellt den zweiten Teil der Intervention dar. Dieser muss von den angehenden Lehrkräften vorbereitend zu Beginn des Medienprojekts verpflichtend, online und asynchron (in ca. 180 Minuten) bearbeitet werden. Studierende, die unabhängig von diesem Forschungsvorhaben den Makerspace besuchen, können dagegen im Rahmen des freiwilligen Unterstützungsangebots des Makerspaces auf den Online-Kurs zurückgreifen.

Gemäß der Flipped Classroom Methode findet die Wissensvermittlung von zentralen mediendidaktischen Themen und Konzepten zur Arbeit mit einer Produktion von und Reflexion über digitale Medien im Rahmen von fünf Lektionen statt. Wissen zum adäquaten Medieneinsatz im Fachunterricht ist wichtig (Vogelsang et al., 2019), da es zum einen die Planungsgrundlage der Projekte liefert und zum anderen im Rahmen des Forschungsvorhabens eine seminarübergreifende Teilstandardisierung der Intervention ermöglicht. Die Anwendung der Inhalte wird anschließend in wiederkehrenden Reflexionsrunden medienfachdidaktisch beleuchtet. Zusätzlich liefert der Input fachbezogene Beispiele und Informationen zur Selbstorganisation in einer Projektgruppe, damit angehende Lehrkräfte ohne Erfahrungen mit projektbasiertem Lernen Struktur und Orientierung erhalten. *Tabelle 5.2* verortet zentrale medien- und fachdidaktische Kriterien, die in erster Linie über interaktive Erklärvideos in den Lektionen eingeführt werden und unterschiedliche Dimensionen des TPACK-Modells adressieren.

Tabelle 5.1

Ausgewählte Kriterien als Kernkomponente des mediendidaktischen Inputs mit unterschiedlichen Schwerpunkten in den TPACK-Dimensionen.

Kriterien → Dimension↓	***Qualitätskriterien guten Unterrichts***	***Kognitions-psychologische Kriterien***	***Medientechnische Qualitätskriterien***
TK *(optional)*			User Guide für Hard- and Software *(umfasst Tutorials)*
PCK	Kognitive Aktivierung	Cognitive Load Theory	
	Inhaltliche Strukturierung		
TPK		Multimediakriterien	
		SAMR-Model	
TPACK	Blitzlichter zur domänenspezifischen Nutzung digitaler Medien (liefern kriteriengestützte Begründungen anhand ausgewählter Beispielwerkzeuge im Kontext naturwissenschaftlicher Fächer auf der Grundlage der oben genannten Kriterien)		

Zu Beginn des mediendidaktischen Inputs werden die ‚Qualitätskriterien guten Unterrichts' eingeführt, die anhand von Indikatoren technologieunabhängige Merkmale eines guten Unterrichts beschreiben (Steffensky & Neuhaus, 2018). Ein Unterricht kann als gut bezeichnet werden, wenn dadurch zentrale Tiefenstrukturen angesprochen werden: Das ist dann der Fall, wenn der Unterrichtsablauf und das dazugehörige Unterrichtsmaterial sinnvoll strukturiert sind (Tiefenstruktur: inhaltliche Strukturierung) und Lernende durch gezielte Aufgabenstellungen kognitiv aktiviert (Tiefenstruktur: kognitive Aktivierung) werden (ebd.). Die Indikatoren für die inhaltliche Strukturierung (u. a. Inhalte visualisieren, klares Feedback geben) und die kognitive Aktivierung (u. a. Einfordern von Begründungen, Interpretation von Daten, Herstellung von Zusammenhängen) dienen in den Medienprojekten zum einen der fachdidaktisch sinnvollen Konzeption von Lehr-Lernmaterialien. Zum anderen können Prototypen anhand der Indikatoren anschließend analysiert und transparent bewertet werden. Die Qualitätskriterien guten Unterrichts adressiert damit die fachdidaktische Dimension (PCK) von TPACK.

Darüber hinaus bietet der Input eine Einführung in kognitionspsychologische Kriterien. Dazu zählen die *Cognitive Load Theory* (Chandler & Sweller, 1992), die *kognitive Theorie des multimedialen Lernens* (Mayer, 2009) und das *Substitution-Augmentation-Modification-Redefinition-Modell* (*SAMR-Modell)* von Puentedura (2006).

Die Cognitive Load Theory von Chandler und Sweller (1992) zeigt auf, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses begrenzt ist. Die kognitive Belastung (cognitive load) kann in einer Lernsituation entweder vom Lernprozess, dem Fachinhalt oder dem Lehr-Lernmaterial ausgelöst werden (ebd.). Dadurch führen multimediale Lehr-Lernsettings, basierend auf verschiedenen Informationsquellen, zum Beispiel zu einem Split-attention Effekt, bei dem die kognitive Kapazität dadurch sinkt, dass die Aufmerksamkeit des Lernenden gleichzeitig auf verschiedene Quellen gerichtet werden muss (Mayer, 2009). Kennen die angehenden Lehrkräfte die Multimediakriterien, lassen sich diese bei der Gestaltung von Lehr-Lernmaterialien beachten. Eine bei den Lernenden durch den Split-attention Effekt auftretende Aufmerksamkeitsdiffusion kann so bereits im Konzeptionsprozess verhindert werden.

Der Einsatz digitaler Medien ist nur dann sinnvoll, wenn das Medium einen Mehrwert für das Lehr-Lernsetting mitbringt. Deshalb besteht die Aufgabe der angehenden Lehrkräfte im Medienprojekt darin, Lehr-Lernmaterialien zu gestalten, die einen Vorteil gegenüber analogen Medien bieten. Mithilfe des SAMR-Modells von Puentedura (2006) lässt sich das Lehr-Lernmaterial einstufen und dessen Potenzial für einen möglichen Lerneffekt ableiten. Bei geringem Potenzial sollte die Konzeption des Lehr-Lernmaterials anschließend nochmal

überarbeitet werden. Die Multimediakriterien und das SAMR-Modell adressieren vordergründig die mediendidaktische Dimension (TPK) von TPACK, da es zunächst um eine lernförderliche Konzeption und Gestaltung digitaler Medien losgelöst vom Fachinhalt geht. Die Cognitive Load Theory lässt sich dagegen der fachdidaktischen Dimension (TCK) zuordnen. Betrachtet man allerdings alle kognitionspsychologischen Kriterien im Gesamtkontext, so wird dafür TPACK notwendig.

Abschließend liefert der mediendidaktische Input *Blitzlichter* (Erkärvideos), die konkrete Software unter didaktischen Gesichtspunkten an naturwissenschaftlichen Inhalten beispielhaft betrachten und reflektieren. Diese geben Hinweise darauf, wie die zuvor vorgestellten Theorien und Kriterien für den Gestaltungsprozess im Projekt oder für eine fachspezifische Unterrichtsplanung genutzt werden können.

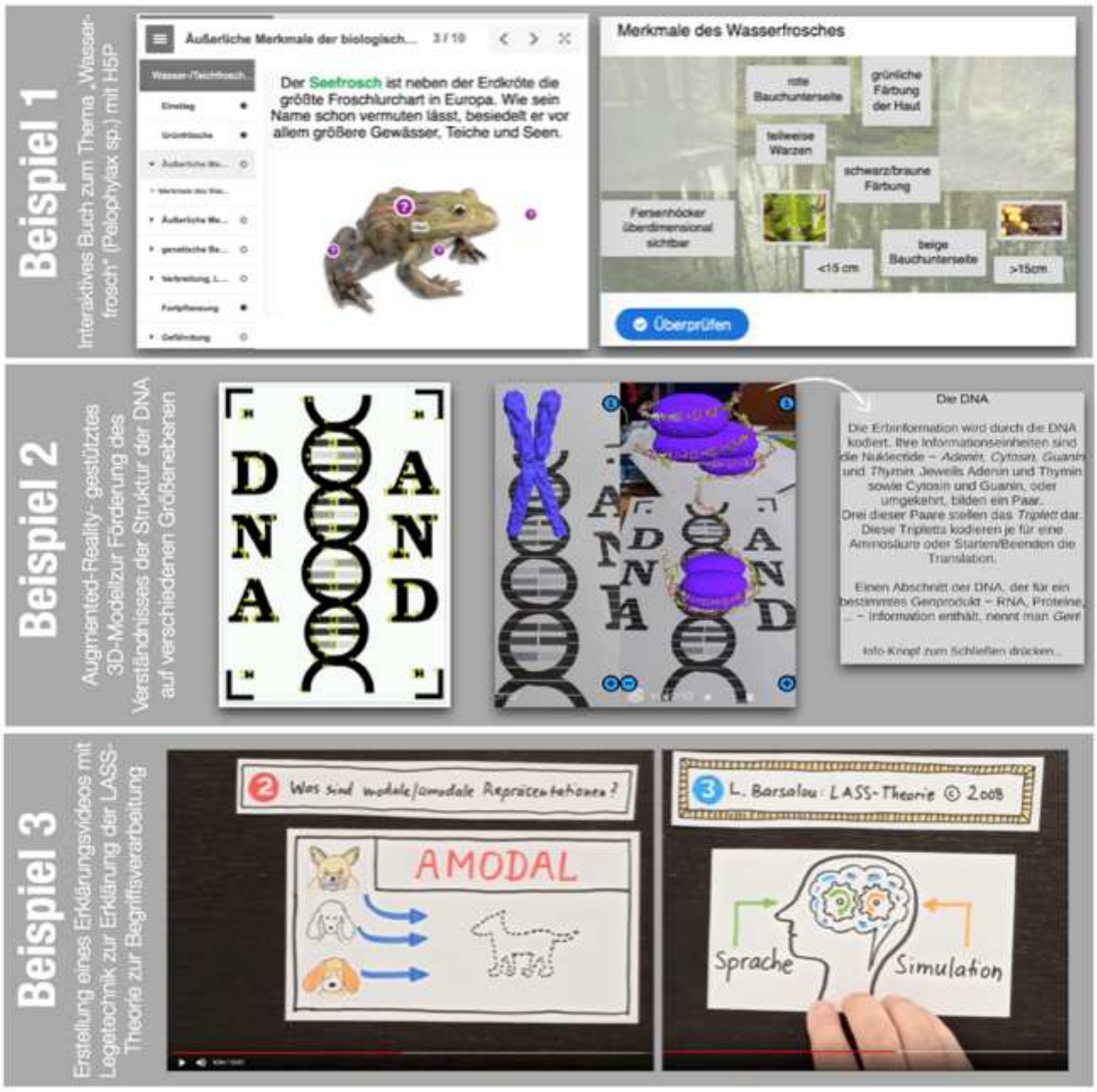
5.1.3 Projektprodukte

Je nach Fachkontext und Zielsetzung können in den fachbezogenen Medienprojekten unterschiedliche Projektprodukte entstehen. Am häufigsten werden Lehr-Lernmaterialien für den Einsatz im Fachunterricht entwickelt. Dazu zählen zum Beispiel die Entwicklung interaktiver Anwendungen (teilweise auch Augmented-Reality-basiert), multimedialer Erlebnistouren oder virtueller 3D-Modelle sowie die Produktion fachbezogener Erklärvideos.

Beispiel 1 in *Abbildung 5.5* zeigt ein digitales, interaktives Buch zum Thema "Wasserfrosch". Die einfache Bereitstellung und intuitive Bedienbarkeit ermöglichen den angehenden Lehrkräften mit wenig technischer Vorerfahrung und einer überschaubaren Einarbeitung die Erstellung interaktiver Lehr-Lernmaterialien. Andere Projekte befassen sich mit der Erstellung Augmented-Reality-basierter Anwendungen zur interaktiven Visualisierung naturwissenschaftlicher Inhalte, wie der DNA-Doppelhelix (Beispiel 2). Durch den Einsatz virtueller Modelle im Schulkontext kann eine höhere Anzahl an Lernenden flexibel und teilweise ortsunabhängig auf Modelle zugreifen. Darüber hinaus können komplexe Konzepte wie z. B. die LASS-Methode in der Psychologie (Beispiel 3) didaktisch strukturiert in Erklärungsvideos aufbereitet werden.

Abbildung 5.5

Projektbeispiele aus den Fächern Biologie (Beispiel 1 und 2) und Psychologie (Beispiel 3).



5.1.4 Future Skills

Wenn angehende Lehrkräfte an ihren Medienprojekten im pädagogischen Makerspace arbeiten, werden auf der einen Seite verschiedene Fähigkeiten und Fertigkeiten wie TPACK gezielt eingefordert und gefördert. Da der Makerspace jedoch ein konstruktivistisches Arbeitsumfeld ist, findet auf der anderen Seite ein Großteil des Lernens auch informell auf weiteren Ebenen statt (Ismer & Mietzner, 2019). Die im Arbeitsprozess adressierten Lernziele können zum einen auf die im TPACK-Modell beschriebenen Kompetenzen bezogen sowie zum anderen gemäß der Lernzieltaxonomie von Bloom und Bloom (1974) auch den kognitiven, affektiven und psychomotorischen Lernzielen zugeordnet werden. Darüber hinaus decken sich die adressierten Lernziele mit den für das 21. Jahrhundert relevanten

Innovationskompetenzen (21. Century Skills), die von verschiedenen Autoren, auch im Zusammenhang mit Makerspaces, beschrieben und stets weiterentwickelt werden (Davis et al., 2011; Trilling & Fadel, 2009; Yamamoto, 2021; Zhan et al., 2021). Da kein Modell alleinstehend für die Einordnung der Lernziele ausreicht und die Modelle sich darüber hinaus nicht trennscharf voneinander abgrenzen lassen, wird im Folgenden Bezug zu allen drei Modellen genommen:

Erstens können durch die Arbeit an fachbezogenen Medienprojekten im Makerspace kognitive Lernziele durch den Erwerb von Wissen in allen TPACK-Facetten adressiert werden (Andrews et al., 2021; Henriksen et al., 2021; Ismer & Mietzner, 2019; Vuorikari et al., 2016). Dabei sind z. B. für die Herstellung von Lehr-Lernmaterialien für den MINT-Unterricht naturwissenschaftliche Fakten (CK) und das didaktische Wissen (PK) ebenso wichtig wie das Know-how über die Funktionsweise der technischen Geräte (TK). Um bei der Produktion von fachbezogenen Lehr-Lernmaterialien (z. B. interaktive und multimediale Videos oder Bücher) didaktische Erkenntnisse in die technische Umsetzung mit einfließen lassen zu können (TPK), muss der Zusammenhang der Wissensbereiche (TK, PK und CK) verstanden, das technische Wissen auf die eigene Problemstellung im Projekt korrekt angewandt (TCK) und der entstandene Prototyp anschließend analysiert, gegebenenfalls kreativ überarbeitet und evaluiert werden (TPACK) (vgl. kognitive Lernzieltaxonomie nach Bloom & Bloom, 1974). Dies schult sowohl MINT-Kompetenzen als auch den Umgang mit analogen und digitalen Werkzeugen und hat damit einen positiven Effekt auf die kognitiven Leistungen der Lernenden (Jones et al., 2020; Mersand, 2021). Durch den problem- und erfahrungsbasierten Ansatz werden darüber hinaus weitere Kompetenzen des 21. Jahrhunderts (21. Century Skills) gefördert. Die Fähigkeiten des 21. Jahrhunderts sind dabei breiter gefasst als die (auch im Rahmen des Dissertationsvorhabens adressierten) technologiebezogenen Fähigkeiten und werden ebenfalls als entscheidendes Humankapital in der heutigen Gesellschaft angesehen (van Laar et al., 2017). Dazu zählen Fähigkeiten wie das Ergreifen von Initiativen sowie das produktive, flexible und zielorientierte Arbeiten und Kollaborieren (ebd.). Außerdem ist das kreative, innovative und kritische Denken über die eigenen Umsetzungs- und Problemlösestrategien im Zusammenhang mit der Auswahl der Methoden für den erfolgreichen Projektverlauf entscheidend (Cross, 2017; Yamamoto, 2021; Zhan et al., 2021). Die meist fehlende Routine bei der Projektarbeit sowie die bestehende Ungewissheit über Verfahren bei sich ständig weiterentwickelnder Hard- und Software setzen eine geistige Flexibilität („Design Mindset“) voraus, sich entweder kooperativ im Team gegenseitig zu unterstützten, selbstbewusst Initiative zu ergreifen, um Experten oder Ressourcen zu akquirieren, aus Erfahrungen zu lernen (Try and Error), Projektziele anzupassen oder im Selbstmanagement mit den vorhandenen oder zusätzlich erworbenen Ressourcen kreativ

umzugehen (Khalifa & Brahimi, 2017; Rayna & Striukova, 2021; Yamamoto, 2021). Dabei steigt im Rahmen des Projekts (stellvertretend für den digitalisierten und globalisierten Arbeitsmarkt) die Notwendigkeit, transdisziplinär vorzugehen und sich an Theorien und Ansätzen fremder Disziplinen zu bedienen (z. B. agiles Projektmanagement aus der Wirtschaft in pädagogisches Making zu überführen), die eigene kognitive Leistungsfähigkeit zu kontrollieren (Cognitive Load Management) sowie alte Denkstrukturen an neue Gegebenheiten sinnstiftend zu adaptieren (adaptives Denken) (Davis et al., 2011).

Zweitens schult „Machen“ auch psychomotorische Fähigkeiten und die eigene Körperwahrnehmung (Mersand, 2021). Beim Vor- und Nachmachen (z. B. die Kameraführung bei der Videoproduktion) werden Bewegungs- und Handlungsabläufe nachgeahmt, Bewegungen (z. B. Einfädeln des Fadens bei der Nähmaschine) aufgrund gegenseitiger Rückmeldungen und Tipps angepasst und präzisiert sowie Arbeitsschritte und Bewegungsabläufe (z. B. Filmschnitt mit Audiosynchronisation) so koordiniert, dass diese irgendwann intuitiv ausgeführt werden können (vgl. psychomotorische Lernzieltaxonomie nach Bloom & Bloom, 1974).

Damit drittens mit den eigenen Gefühlen, Überzeugungen und Wertvorstellungen umgegangen werden kann, müssen die Lernenden auch affektive Fähigkeiten entwickeln (vgl. affektive Lernzieltaxonomie nach Bloom & Bloom, 1974). Dabei holen Ungewissheit, fehlende Planbarkeit sowie das Fehler-Machen die Lernenden aus ihren Routinen (Martin, 2015). Eine offene Fehlerkultur mit produktivem Scheitern und wiederkehrendem Versuch und Irrtum ist notwendig (Cross, 2017; Heredia & Tan, 2021; Schön, 2018), damit der Umgang mit Frustration und Rückschlägen erlernt werden kann (Jones et al., 2020). Dabei können die Beteiligung an Makerspace-Projekten und das Verfolgen gemeinsamer Ziele im Team bereits helfen, die Angst vor dem Scheitern abzubauen (Hilton et al., 2018). Da das eigene Verhalten, geprägt durch persönliche Eigenschaften wie Ausdauer, Geduld und Freundlichkeit, bei der Aufgabenverteilung im Team oder den Absprachen zur Gerätenutzung im Makerspace sich häufig auf andere Menschen auswirkt, werden Werte wie Fairness, Verlässlichkeit und Respekt, aber auch Empathie und Teamfähigkeit für ein funktionierendes Sozialgefüge eingefordert (Martin, 2015; Mersand, 2021). Gleichzeitig minimieren positive Gestaltungserfahrungen dabei die persönlich wahrgenommenen Grenzen und beeinflussen das Selbstwertgefühl, die Selbstwirksamkeit (Hilton et al., 2018; Jaatinen & Lindfors, 2019; Martin, 2015), sowie die eigene Einstellung darüber, inwiefern eine Mitgestaltung und (positive) Veränderung der Umwelt möglich ist (Knaus & Schmidt, 2020).

Somit bietet ein Makerspace durch seine digitalen wie physisch-analogen Anteile differenzierte Möglichkeiten, ganz unterschiedliche Fähigkeiten zu entwickeln (Rayna & Striukova, 2021). Diese vielschichtige und nuancenreiche Ausdifferenzierung der

Kompetenzorientierung wird im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht weiterverfolgt und dient lediglich der ganzheitlichen Betrachtung adressierter Lernziele. Im Folgenden fokussiert sich die forschungsmethodische Erhebung auf TPACK als Gesamtkonstrukt.

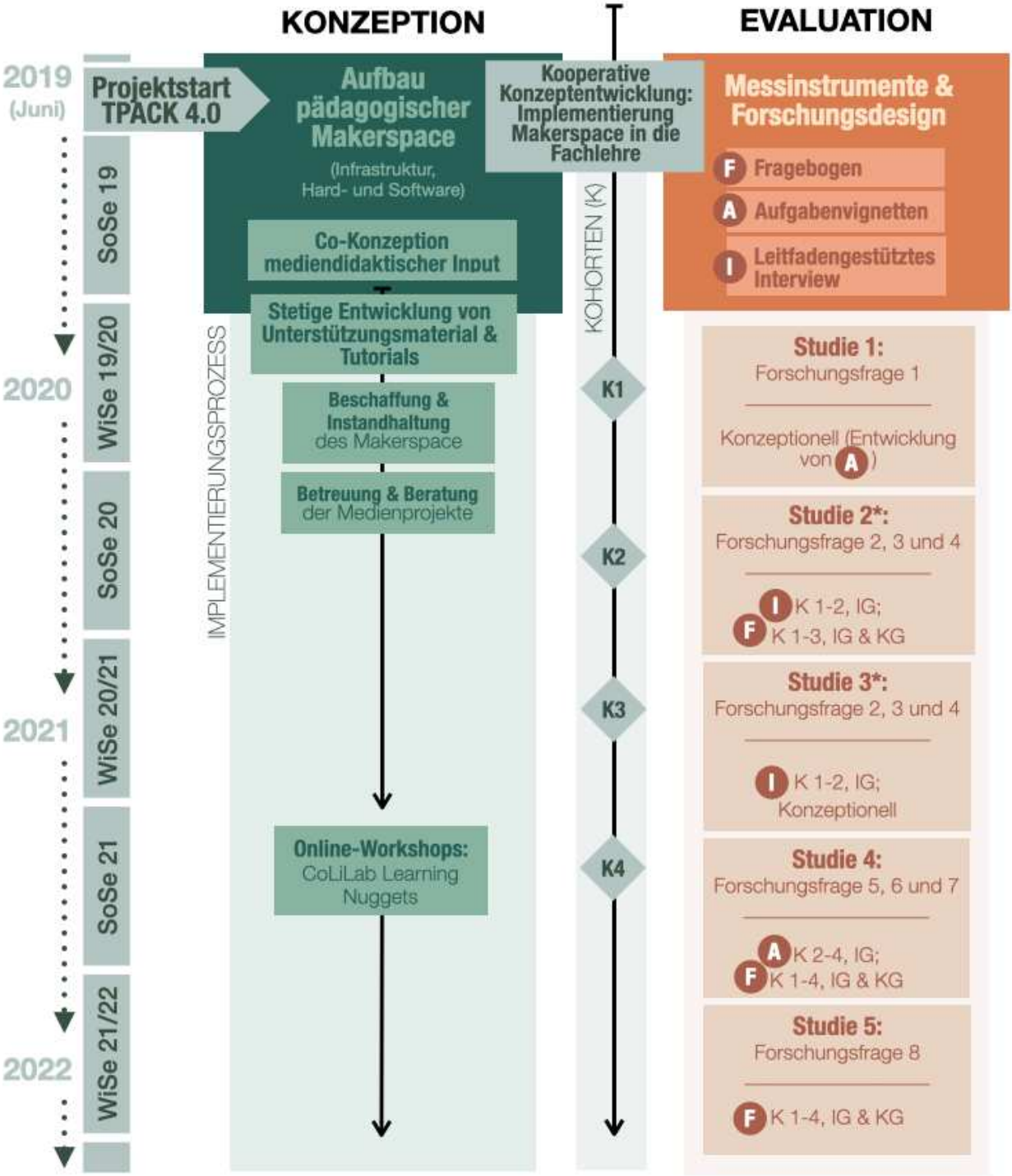
5.2 Methodischer Rahmen

Ziel der vorliegenden Dissertation war (unter anderem), herauszufinden, ob und inwieweit sich TPACK bei angehenden naturwissenschaftlichen Lehrkräften durch medienbezogene Lernprozesse in einem pädagogischen Makerspace entwickelt. Um dieser Fragestellung nachzugehen wurde gemäß der acht Forschungsfragen (s. *Kapitel 4*) ein passendes Forschungsdesign mit adäquaten Messinstrumenten auf der Basis der Überlegungen aus *Kapitel 2* entwickelt. Die Entwicklung des Forschungsdesigns fand zeitgleich zur Konzeptentwicklung der Intervention und Implementierung des pädagogischen Makerspace statt (s. *Abbildung 5.6)*.

Die im Rahmen der vorliegenden Dissertation (bisher teilweise in Fachzeitschriften publizierten) Artikel (siehe „Studie 1“ bis „Studie 5“; *Kapitel 6* bis *10*) berichten gezielt von der forschungsmethodischen Umsetzung und den Ergebnissen dieser Studien. Zur besseren Verortung der einzelnen Artikel und deren jeweils adressierten Forschungsfragen werden im Folgenden die jeweiligen Forschungsdesigns, Gesamtstichproben und ausgewählte Messinstrumente zusammengefasst. *Abbildung 5.6* gibt dabei einen Gesamtüberblick über die jeweils adressierten Forschungsfragen und verwendete Messinstrumente sowie Kohorten / Probandengruppen (Interventionsgruppe, Kontrollgruppe).

Abbildung 5.6

*Übersicht zum konzeptionellen und evaluativen Gesamtablauf der vorliegenden Dissertations-Arbeit (K = Kohorte; IG = Interventionsgruppe; KG = Kontrollgruppe; *Studien 1 und 2 sind zeitgleich, aber mit einem unterschiedlichen Fokus zu denselben Forschungsfragen entstanden)*



5.2.1 Forschungsdesign

Insgesamt wurden über alle Studien hinweg 495 Probanden begleitet (je nach Studiendesign; vgl. Abbildung 5.7). Das Forschungsdesign besteht aus einem Prä-Post-Kontrollgruppenvergleich mit Messwiederholung, welches sich über vier Kohorten (K; K1 = 29, K2 = 169, K3 = 148, K4 = 148) erstreckt (Döring & Bortz, 2016). Damit sollen die Auswirkungen der Intervention (ein in das klassische Fachseminar integriertes Medienprojekt mit begleitendem mediendidaktischem Input, s. a. *Kapitel 5.1)* auf die TPACK-Entwicklung angehender Lehrkräfte in der Interventionsgruppe (N = 268) im Vergleich zu einer Kontrollgruppe (N = 227) ohne TPACK-Intervention gemessen werden. Da die Intervention Bestandteil der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung ist und in den Hochschulalltag eingebettet wurde, kann von einer ökologischen Validität ausgegangen werden.

Das Forschungsdesign sieht vor, dass alle Probanden ihr TPACK und weitere Messvariablen (*Kapitel 5.2.3)* über einen Prä-Post-Fragebogen selbst einschätzen (*Abbildung 5.7*). Darüber hinaus bearbeiten die Teilnehmer der Interventionsgruppe zusätzlich einen vignettenbasierten TPACK-Leistungstest. So wird die von mehreren Autoren empfohlene Triangulation der quantitativen Daten ermöglicht (Akyuz, 2018; Graham et al., 2012; Kopcha et al., 2014; Mourlam et al., 2021; Voogt et al., 2013; Willermark, 2017). Aufgrund der zeitintensiven Entwicklung und Validierung der Aufgaben konnten die Aufgabenvignetten erst ab der Post-Erhebung in Kohorte 2 eingesetzt werden.

Prozessbegleitend zur Intervention wurden in den ersten zwei Kohorten mit N = 22 angehenden Lehrkräften leitfadengestützte Interviews durchgeführt (s. a. *Kapitel 7.3.2* und *Kapitel 8.5.1*). Die Anzahl der Interviews wurde durch die Inhalte der Interviewantworten

Abbildung 5.7

*Prä-Post-Kontrollgruppenvergleich als Forschungsdesign über vier Kohorten im Überblick (*in Kohorte 2 wurden nur Post Aufgabenvignetten eingesetzt).*

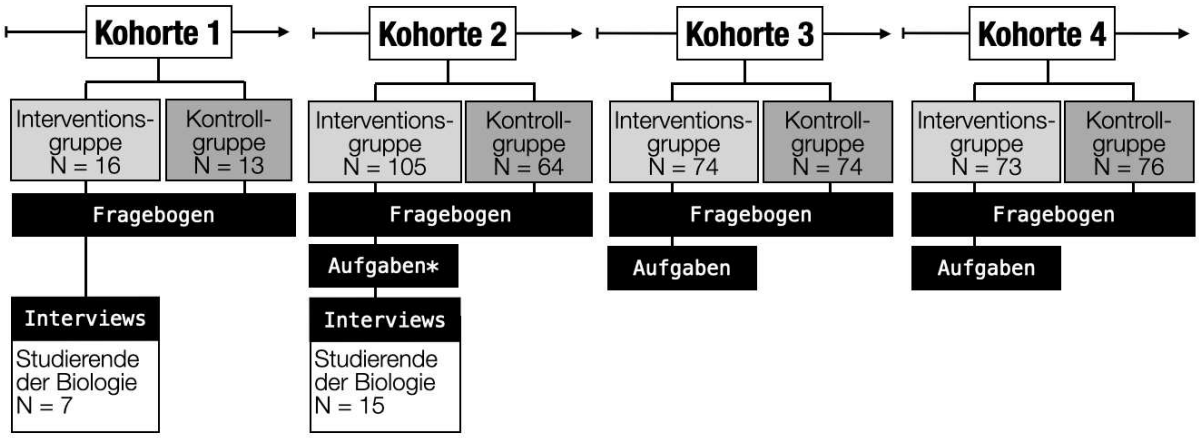
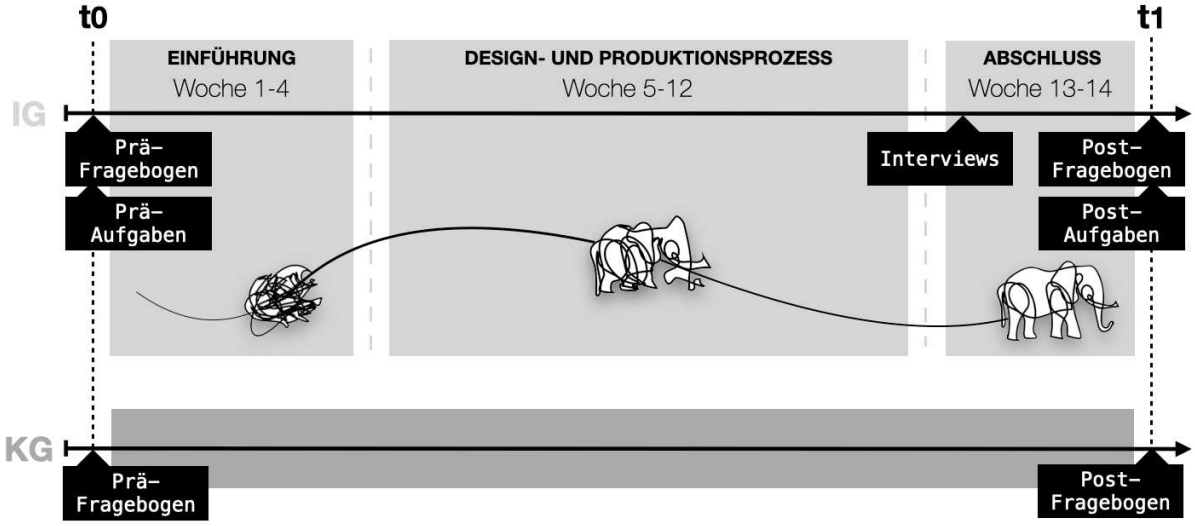


Abbildung 5.8

Verortung der Erhebungszeitpunkte von Prä-Post-Fragebogen, Prä-Post-Aufgabenvignetten und Interviews innerhalb einer Kohorte (t0 = Beginn des Semesters; t1 = Ende des Semesters) in Interventions- und Kontrollgruppen (IG, KG)



bestimmt, inwiefern zusätzliche Interviews weitere Informationen zu den Forschungsfragen liefern konnten. Ab dem 20. Interview zeichnete sich eine Sättigung der Antworten ab, weshalb die weitere Datenerhebung nach dem 22. Interview eingestellt wurde. Ziel der Interviews war, die von den angehenden Lehrkräften im Projektprozess wahrgenommenen Herausforderungen und Problemlösestrategien zu erfassen (s. *Forschungsfrage 2* und *3*) sowie Rückmeldungen über das CoLiLab und das dazugehörige Unterstützungsangebot zu erhalten. Durch solche schnellen Rückkopplungsschleifen konnten zu Beginn der Implementierung auch noch zügig Verbesserungen in der Infrastruktur des pädagogischen Makerspace vorgenommen werden.

Abbildung 5.8 liefert abschließend einen Überblick über die Verortung der Erhebungszeitpunkte der einzelnen Messverfahren am Beispiel von Kohorte 2 in Interventions- und Kontrollgruppe.

5.2.2 Stichprobenziehung

Die Stichprobe umfasst N = 495 angehende Lehrkräfte (weiblich = 386, männlich = 108), die mindestens ein mathematisch-naturwissenschaftliches Fach für den Bereich der Sekundarstufe I studieren (K1 = 29, K2 = 169, K3 = 148, K4 = 148).

Die Interventionsgruppe besteht aus N = 268 angehenden Lehrkräften der Fächer Biologie, Chemie, Psychologie, Physik und Mathematik, die in ihrem Bachelor- oder Masterstudium ein für die Studie ausgewähltes Fachseminar belegten. Die Auswahl der Seminare für dieses

Forschungsvorhaben fand nicht randomisiert, sondern durch die in das Forschungsprojekt involvierten Fachdozierenden selbst statt, da die Einbettung der Medienprojekte eine inhaltliche Anbindung an die Modulhandbücher erforderte. Für die Kontrollgruppe (N = 227) wurden äquivalente Seminare aus den Fachbereichen Biologie und Mathematik ausgewählt, in die weder die TPACK-Intervention integriert wurde noch Lehramtsstudierende aus den vorherigen Kohorten daran teilnahmen.

Die Teilnahme von angehenden Lehrkräften sowohl aus späten Bachelor- als auch aus frühen Mastersemestern ist dadurch begründet, dass im Curriculum der beteiligten Fächer zum Zeitpunkt der Intervention keine medienfachdidaktisch ausgerichteten Seminare implementiert waren und daher davon auszugehen war, dass keine systematische Förderung medienfachdidaktischer Kompetenzen in der Lehrkräftebildung stattfand. Somit kann bei den Bachelor- und Masterstudierenden von einem vergleichbaren TPACK ausgegangen werden.

Aufgrund verschiedener Faktoren (u. a. Seminar- oder Studienabbruch, inkonsistente Pseudonymisierung) konnte über das Semester hinweg eine Abbruchrate unter den Teilnehmenden der Studie verzeichnet werden:

Über die vier Kohorten haben in der Interventionsgruppe N = 184 Probanden sowohl ihren Prä- als auch ihren Post-Fragebogen (84 missings) vollständig ausgefüllt. Die Kontrollgruppe verfügt dagegen über N = 73 vollständige Prä-Post-Datensätze (154 missings). In Summe liegen N = 257 vollständige bzw. N = 495 unvollständige Datensätze für die inferenzstatistische Auswertung der Selbsteinschätzungsdaten vor. Ein Großteil der Auswertungen (t-Tests und Varianzanalysen) wurden mit dem vollständigen Datensatz durchgeführt. Aufgrund der Schätzfunktion im Rahmen der Strukturgleichungsmodellierung wurde bei diesem Rechenverfahren auf den unvollständigen Datensatz zurückgegriffen (vgl. *Kapitel 10.4.2*).

Da die Aufgabenvignetten erst ab der Post-Erhebung in Kohorte 2 eingesetzt wurden und sich die Abbruchrate auch hier in den Beteiligungszahlen an der Evaluation bemerkbar macht, gab es Probanden, die ausschließlich entweder an der Prä-Erhebung (N = 84) oder der Post-Erhebung (N = 144) teilgenommen haben. Die vollständigen Prä-Post-Aufgabenantworten lagen nach allen Kohorten von N = 77 Probanden vor.

Nach dem Matching der Fragebogen- und Aufgabenantworten standen für die Triangulation der Selbst- und Fremdeinschätzungsdaten (s. *Kapitel 9.4.2;* hier wurden ausschließlich die Post-Aufgabenantworten verwendet) noch N = 144 Datensätze zur Verfügung.

5.2.3 Auswahl der Messinstrumente zur TPACK-Selbsteinschätzung

Auf der Grundlage des aktuellen Forschungsstandes (*Kapitel 2.3)* wird TPACK häufig quantitativ durch standardisierte Selbsteinschätzungsskalen in einem Prä-Post-Fragebogen

erfasst. Für die Erhebung von TPACK greifen viele Studien auf den standardisierten Fragebogen von Schmidt und Kollegen (2009) zurück (Scott, 2021). Da dieser stark verbreitet ist, werden ausgewählte Items daraus, ergänzt durch Items von Handal und Kollegen (2013), in die TPACK-Skala dieser Studie aufgenommen. Da das Ziel die Erhebung von TPACK als komplexes Gesamtkonstrukt ist, werden aus inhaltlichen und platzökonomischen Gründen keine Teilfacetten von TPACK miterhoben. Stattdessen nennt der Forschungsstand unterschiedliche Konstrukte (*Kapitel 2.4)*, die (in Teilen auch beeinflusst durch die Arbeit und das Lernverständnis im Makerspace) für die Entwicklung von TPACK relevant sein könnten und somit in den Fragebogen aufgenommen wurden (*Tabelle 5.2*).

Tabelle 5.2

Ausgewählte Konstrukte, basierend auf Selbsteinschätzungen im Fragebogen

Erhobenes Konstrukt	**Anzahl der Items**	**Quelle**
Medienfachdidaktisches Wissen (TPACK)	13 Items	Angepasst und übersetzt aus Schmidt et al., 2009, & Handal et al., 2013
Intention zur Nutzung digitaler Medien	5 Items	Bleschke et al., 2001
Wahrgenommene Nützlichkeit digitaler Medien	9 Items	Angepasst und übersetzt aus Braak et al., 2004
Technologieakzeptanz (TAM 2)	9 Items	Übersetzt aus Holden & Rada, 2011
Konstruktivistisches Lehr-Lernverständnis (CUTL)	12 Items	Seidel et al., 2003
Motivation für die Nutzung digitaler Medien (KIM)	12 Items	Wilde et al., 2009
Selbstwirksamkeit in Bezug auf die eigene Mediennutzung	9 Items	Übersetzt aus Holden & Rada, 2011

Im Folgenden werden die für diesen Fragebogen ausgewählten Konstrukte näher beleuchtet. Alle in *Tabelle 5.2* aufgeführten Konstrukte basieren dabei auf einer unterschiedlichen Anzahl an Indikatoren (s. Anzahl der Items), die eine Erfassung auf Intervallskalenniveau möglich macht (vgl. Döring & Bortz, 2016). Die Items können dabei mittels einer vier- bzw. fünf-stufigen Likert-Skala beantwortet werden (‚stimme völlig zu' bis ‚stimme überhaupt nicht zu' bzw. ‚stimmt gar nicht' bis ‚stimmt völlig'). Im Anhang (*Kapitel 13.2*) kann der vollständige (Prä-) Fragebogen der Erhebung eingesehen werden, der online über das Programm SoSciSurvey (www.soscisurvey.de) erstellt und per Link an die Studierenden verteilt wurde. Durch die Verwendung eines Online-Tools kann der Zugang zum Fragebogen zeitlich vordefiniert und

eine anonyme und asynchrone Bearbeitung in den dafür vorgesehenen Semesterphasen (jeweils ca. zwei Wochen) unabhängig von den Seminarzeiten ermöglicht werden. Das responsive Design der Software unterstützt eine einfache, niederschwellige und hardware-unabhängige Bearbeitung des Fragebogens, sodass die Hürde für die Anwender so gering wie möglich gehalten wird. Zudem können die Daten anschließend über den Direktdownload zeitökonomisch heruntergeladen und weiterverarbeitet (*Kapitel 5.4.2)* werden.
Die im Folgenden angegebenen Reliabilitätswerte beziehen sich auf den Datensatz von N = 268 Probanden, bei welchen Prä- und Post-Werte des Fragebogens zur Verfügung stehen.

5.2.3.1 Individuelle Voraussetzungen

Einführend müssen die Probanden verpflichtend ein individuelles Pseudonym erstellen, welches anschließend das Matchen der Prä-Post-Fragebogendaten sowie die Zuordnung zu den Aufgabenantworten ermöglicht. Des Weiteren werden Geschlecht, Alter, Schulform, Hochschulsemester, Fächerkombination, Wahl der Lehrveranstaltung, in dem die Evaluation stattfindet, sowie Informationen zur Belegung des integrierten Semesterpraktikums mit dichotomen oder konkret vorgegebenen Antwortmöglichkeiten abgefragt.

5.2.3.2 TPACK

TPACK wird über 13 standardisierte Items auf der Grundlage von Schmidt et al. (2009) (4 Items) und Handal et al. (2013) (9 Items) gemessen. Zur Beantwortung der Items müssen die angehenden Lehrkräfte ihr didaktisches Wissen in Bezug auf verschiedene Aspekte der Nutzung digitaler Medien im fachspezifischen Unterricht und bei der Unterrichtsgestaltung einschätzen. Die Items von Schmidt et al. (2009) sind dabei hinsichtlich der technologischen Komponente allgemeiner gehalten als die von Handal et al. (2013). Da die Items aus bereits etablierten Skalen stammen, kann hier von einem validen Messinstrument ausgegangen werden. Obwohl die Konstruktvalidität bereits vorliegt und statistisch nicht explizit berechnet werden müsste (Field, 2009), bestätigte eine explorative Faktorenanalyse im Zuge der Strukturgleichungsmodellierung, dass die Items auf dasselbe Konstrukt (TPACK) laden. Die Reliabilitätsanalyse vor (Prä) und nach (Post) der Intervention erbrachte gute (Cronbachs $\alpha_{prä}$ = .839, Cronbachs α_{post} = .891) Werte (Dorsch & Wirtz, 2020).

5.2.3.3 Intentionen, digitale Medien einzusetzen

Die Absichten zum Einsatz digitaler Medien im Fachunterricht werden über fünf Items, angepasst und übersetzt aus Bleschke und Kollegen (2001), gemessen. Für diese Skala wurde vor (Prä) und nach (Post) der Intervention eine Reliabilitätsanalyse (Cronbachs $\alpha_{prä}$ =

.775, Cronbachs α_{post} = .827) mit akzeptablen Ergebnissen durchgeführt (Dorsch & Wirtz, 2020).

5.2.3.1 Wahrgenommene Nützlichkeit digitaler Medien

Um den von angehenden Lehrkräften wahrgenommenen, technologiebezogenen Nützlichkeitswert identifizieren zu können, wird eine von Braak und Kollegen (2004) entwickelte Skala mit neun Items verwendet. Die Reliabilität vor (Prä) und nach (Post) der Intervention ist akzeptabel (Cronbachs $\alpha_{prä}$ = .766, Cronbachs α_{post} = .782) (Dorsch & Wirtz, 2020).

5.2.3.5 Technologieakzeptanz (TAM)

Die TAM-Skala von Holden und Rada (2011) wurde für diesen Fragebogen ins Deutsche übersetzt und verfügt über neun Items. Über die Items müssen die angehenden Lehrkräfte ihren eigenen, alltäglichen Umgang mit digitalen Medien einschätzen und angeben, wie sie bestimmte Technologien annehmen und nutzen (Holden & Rada, 2011; Teo & Zhou, 2014). Die Reliabilitätsanalyse (Cronbachs $\alpha_{prä}$ = .902, Cronbachs α_{post} = .883) wurde mit sehr guten Ergebnissen durchgeführt (Dorsch & Wirtz, 2020).

5.2.3.6 Motivation bei der Arbeit mit digitalen Medien

Zur Messung der Motivation als latentes Konstrukt haben Wilde und Kollegen (2009) eine Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM) entwickelt, die sich aus den vier Subskalen (1) Vergnügen / Interesse, (2) wahrgenommene Kompetenz, (3) wahrgenommene Wahlfreiheit und (4) Druck / Anspannung mit jeweils drei Items zusammensetzt. Die zwölf Items adressieren damit den motivationalen Anteil der Einstellung gegenüber dem Umgang mit digitalen Medien. Die Reliabilität vor (Prä) und nach (Post) der Intervention ist mit sehr guten Cronbachs α-Werten (Cronbachs $\alpha_{prä}$ = .921, Cronbachs α_{post} = .925) durchgeführt worden (Dorsch & Wirtz, 2020).

5.2.3.7 Wahrgenommene Selbstwirksamkeit bei der Nutzung digitaler Medien

Bei der technologiebezogenen Selbstwirksamkeit wird das persönliche Vertrauen in die eigene erfolgreiche und zielgerichtete Nutzung digitaler Medien gemessen, was beim Lösen von Aufgaben oder der Gestaltung von Lehr-Lernmaterialien eine wichtige Rolle spielen kann (Bandura, 1986; Yamamoto, 2021). Die zehn Items von Holden und Rada (2011) unterscheiden sich dabei im Ausmaß der Hilfestellungen (z. B. „Generell kann ich jede gewünschte Aufgabe mit einem digitalen Medium erledigen, …“: (1) „…solange ich jemanden um Hilfe bitten kann, wenn ich feststecke“, (2) „… solange es mir jemand zuerst vormacht“).

Eine explorative Faktorenanalyse begleitend zur Strukturgleichungsmodellierung ergab, dass die Items dieser Skala auf zwei unterschiedliche Faktoren luden. Durch eine inhaltliche Validierung konnten Items mit und ohne Hilfestellungen als Grund für dieses Ergebnis identifiziert werden. Infolgedessen wurde die Strukturgleichungsmodellierung mit einer verkürzten Version der Selbstwirksamkeits-Skala durchgeführt, in der die vier Items „ohne Hilfestellung“ für die weitere Berechnung ausgeschlossen wurden (Item 1, 2, 4 und 7; z.B. „Generell kann ich jede gewünschte Aufgabe mit einem digitalen Medium erledigen, auch wenn niemand da ist, der mir sagt, was ich tun soll“). Dabei fiel die Auswahl auf die Items „ohne Hilfestellung“, da durch die Arbeit in Projektgruppen, den Austausch mit Peers und das vorhandene Unterstützungssystem des CoLiLab (*Kapitel 5.1.1.1*) Hilfestellungen vorhanden sind. Die Reliabilitätsanalyse wurde für beide Skalen durchgeführt und erbrachte akzeptable Werte (ungekürzt: Cronbachs $\boldsymbol{\alpha}_{\text{prä}}$ = .778, Cronbachs $\boldsymbol{\alpha}_{\text{post}}$ = .767; gekürzt: Cronbachs $\boldsymbol{\alpha}_{\text{prä}}$ = .789, Cronbachs $\boldsymbol{\alpha}_{\text{post}}$ = .796) (Dorsch & Wirtz, 2020).

5.2.3.8 Konstruktivistisches Lehr-Lernverständnis

Der Makerspace stellt als konstruktivistische Lehr-Lernumgebung gemäß dem pädagogischen Doppeldecker ein Erfahrungsraum für projektbasiertes, selbstorganisiertes und eigenverantwortliches Lernen für angehende Lehrkräfte dar. Deshalb wird ergänzend zu den anderen Konstrukten auch das Lehr-Lernverständnis der angehenden Lehrkräfte im Hinblick auf den eigenen, zukünftigen Unterricht über zwölf Items von Seidel (2003) erhoben (z. B. „SuS sollte häufiger die Gelegenheit gegeben werden, in Paaren oder Kleingruppen Probleme gemeinsam zu lösen“). Die Reliabilität vor (Prä) und nach (Post) der Intervention ist akzeptabel (Cronbachs $\boldsymbol{\alpha}_{\text{prä}}$ = .666, Cronbachs $\boldsymbol{\alpha}_{\text{post}}$ = .731) (Dorsch & Wirtz, 2020).

6. *Studie 1*: Entwicklung von Aufgaben zur Bewertung des TPACK von Biologielehramtstudierenden

> Max, A.-L., Lukas, S., & Weitzel, H. (2020). Entwicklung von Aufgaben zur Bewertung des TPACK von Biologielehramtstudierenden. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, *19*, 57–71.

Der Artikel wurde in der jährlichen Sonderausgabe *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* der *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)* in einem Double-Blind-Peer-Review-Verfahren veröffentlicht und adressiert die erste Forschungsfrage:

(1) Wie muss ein Leistungstest zur Erhebung der TPACK-Performanz gestaltet sein, damit er mit den Daten der TPACK-Selbsteinschätzung trianguliert werden kann?

In *Studie 1*[3] des vorliegenden Dissertationsvorhabens wird der konzeptionelle Entwicklungs- und Validierungsprozess der Aufgabenvignetten dargestellt. Die Aufgabenvignetten wurden für die Evaluation der TPACK-Intervention entwickelt und ermöglichen neben der TPACK-Selbsteinschätzung durch den Prä-Post-Fragebogen zusätzlich die Fremdeinschätzung des TPACK von angehenden Lehrkräften. Die anteiligen Beiträge aller Mitautoren der Studie 1 sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

	Autor	Konzept-ualisierung	Entwicklung Messinstrument	Schreiben	Überarbeitung/ Redaktion
1.	Anna-Lisa Max	80%	80%	70%	20%
2.	Sarah Lukas	-	-	10%	40%
3.	Holger Weitzel	20%	20%	20%	40%

[3] Formatierung der Abbildungsbeschriftung und Zitationsstil weichen in dieser Studie von den der Dissertation zugrundeliegenden APA7-Richtlinien ab.

6.1 Zusammenfassung

Das Projekt TPACK 4.0 zielt auf die Vermittlung von medienfachdidaktischen Kompetenzen bei Lehramtsstudierenden der Biologie durch die Kombination aus einem mediendidaktischen Input und einer Projektphase in einem pädagogischen Makerspace. Zur Ermittlung der für Lehrkräfte relevanten medienbezogenen Kompetenzen wird auf das TPACK- Modell von Mishra und Koehler (2006) zurückgegriffen. In diesem Kontext werden Inhalte definiert und zwei Messinstrumente entwickelt, die TPACK einerseits über Selbstauskünfte und andererseits über einen vignettenbasierten Leistungstest erheben sollen. Im Artikel vorgestellt wird der Prozess der Entwicklung und Validierung des Leistungstests. Die Nutzung zweier unterschiedlicher Erhebungsverfahren zielt auf eine Triangulation der Ergebnisse und damit auf eine differenziertere Beschreibung des technologiebezogenen Wissens der Studierenden ab.

6.2 Abstract

The project TPACK 4.0 aims at teaching technological pedagogical knowledge to pre-service teachers of biology through the combination of a media pedagogical input and work in a pedagogical makerspace. The TPACK model of Mishra and Koehler (2006) is used to determine the relevant media-related competencies for teachers. In this context, topics will be defined and two assessment tools are developed. TPACK will be assessed by means of self- assessment and a vignette-based performance test. The article presents the process of development and validation of the performance test. The use of two different survey methods aims at a triangulation of the results and thus at a detailed description of the technology-related knowledge of the students.

6.3 Einleitung

National wie international wird seit einigen Jahren der Nutzung digitaler Medien im Unterricht, der medienbezogenen Kompetenzentwicklung von Schülerinnen und Schülern und der medienpädagogischen wie mediendidaktischen Qualifizierung von Lehrkräften zunehmend Bedeutung beigemessen (KMK, 2016, 2019; Redecker, 2017). Für einen erfolgreichen Einsatz digitaler Technologien im Unterricht müssen Lehrkräfte über die notwendigen Kompetenzen verfügen. Diese sollten bereits im Rahmen der Lehrerbildung systematisch gefördert werden. Jedoch weisen sowohl Lehramtsstudierende als auch Lehrkräfte im Dienst teilweise noch unzureichend medienfachdidaktische Kompetenzen auf (vgl. Drossel, Eickelmann, Schaumburg & Laubusch, 2019). Der Bedarf einer zielgerichteten und umfassenden Förderung dieser Kompetenzen ist aufgrund der aktuellen Corona-

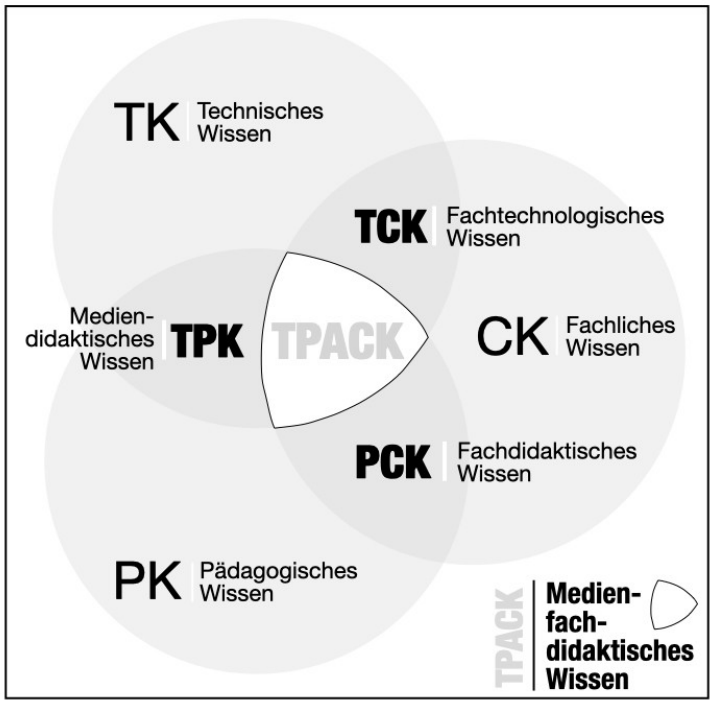
Pandemie höher als je zuvor und stellt eine zentrale Aufgabe der hochschulischen Lehrerbildung dar (KMK 2016, 2019). Grundlage für die Qualifizierung von Lehrkräften ist eine theoretisch fundierte und empirisch überprüfte Rahmenkonzeption, die sowohl für die Entwicklung und Evaluation von Lernangeboten für die universitäre Lehrerbildung wie für die Fortbildung von Lehrkräften genutzt werden kann. International weit akzeptiert ist in dieser Hinsicht das TPACK-Modell von Mishra und Koehler (2006) (siehe auch Koehler & Mishra, 2009).

6.4 Theorie

Mit dem TPACK-Modell tragen Mishra und Koehler (2006, 2008) der zunehmenden Bedeutung digitaler Technologien in der Gesellschaft und in der Folge auch in der schulischen Bildung Rechnung, indem sie technologisches Wissen als eigene Wissensdomäne Shulmans Modell zur Beschreibung der für Lehrkräfte konstitutiven Wissensdomänen hinzufügen (Shulman, 1986). Daraus entsteht ein Modell aus den Domänen Fachwissen (CK), pädagogisches Wissen (PK) und technologisches Wissen (TK) und den Schnittmengen zwischen den grundlegenden Wissensdomänen, die als fachtechnologisches Wissen (TCK), mediendidaktisches Wissen (TPK) und medienfachdidaktisches Wissen (Technological Pedagogical Content Knowledge, ursprünglich als TPCK, heute zumeist als TPACK abgekürzt, Abb. 1) bezeichnet werden. Technologisches Wissen beschreibt Kenntnisse und Fähigkeiten aktueller digitaler Technologien. Mediendidaktisches Wissen schließt die Kenntnisse ein, die nötig sind, um digitale Technologien didaktisch angemessen in das Unterrichtsgeschehen einzubinden. Fachtechnologisches Wissen bildet Kenntnisse der Technologien ab, die für die jeweilige Fachwissenschaft bedeutsam sind. In der Biologie sind dies beispielsweise Kenntnisse von Gendatenbanken zur Analyse von DNA- Sequenzen oder Werkzeuge zur quantitativen Bestimmung des Beitrags multipler Allele zur Ausprägung von Merkmalen. Medienfachdidaktisches Wissen schließlich ist das Konglomerat aller Aspekte und bezeichnet die Kenntnisse und Fähigkeiten, Inhalte eines Faches durch und anhand digitaler Technologien didaktisch sinnvoll aufbereitet und pädagogisch angemessen zu unterrichten. Somit stellt TPACK eine kontextbezogene Synthese des Professionswissens von Lehrkräften zur Vermittlung domänenspezifischer Inhalte durch den Einsatz von digitalen Technologien dar (Angeli, Valanides & Christodoulou, 2016).

Abbildung 6.1

Das TPACK-Modell von Koehler und Mishra (eigene Darstellung)



Instrumente zur Messung von TPACK

Ausgehend von Mishra und Koehlers (2006, 2008) Definition wurden zahlreiche qualitative und quantitative Instrumente zur Messung von TPACK entwickelt. Dazu zählen Interviewverfahren, Fragebögen auf der Grundlage von Selbsteinschätzungen, Leistungsmessungen über kontextbasierte Aufgaben sowie Analysen von Unterrichtsskizzen und Unterrichtsbeobachtungen (Mouza, 2016). Quantitative Zugänge zu TPACK basieren häufig auf Selbsteinschätzungen und beziehen sich in ihrer Mehrzahl auf Lehramtsstudierende (Akyuz, 2018; Chai, Koh & Tsai, 2016). Die Probanden sind darin jeweils gefordert, ihr Wissen zu den unterschiedlichen Teilaspekten von TPACK zu bewerten. Ein erster Fragebogen hierzu wurde von Schmidt und Kollegen (Schmidt et al., 2009) entwickelt und seitdem als Ausgangspunkt für zahlreiche Arbeiten herangezogen und erweitert (Lee & Tsai, 2010; Mouza, Karchmer-Klein, Nandakumar, Yoyilmaz Ozden & Hu, 2014; Willermark, 2017). In der Summe kommen die unterschiedlichen Studien zu dem Ergebnis, dass auf Selbsteinschätzungen basierende Fragebögen TPACK in seinen sieben Facetten recht gut abzubilden in der Lage ist, wobei einige Studien von Schwierigkeiten berichten, alle sieben Teilaspekte in Faktorenanalysen zu reproduzieren. Als Gründe werden Items von unzureichender Trennschärfe angeführt (Koh, Chai & Tsai, 2010) und Schwierigkeiten bei den Probanden, die sieben Teilaspekte von TPACK adäquat zu unterscheiden (Shinas, Yilmaz-Ozden, Mouza, Karchmer-Klein & Glutting, 2013). Zudem wird darauf hingewiesen,

dass durch die wenig fachspezifische Ausrichtung der Fragebögen die Erhebung des eigentlich kontext- und fachspezifischen TPACK erschwert werden könne (Chai et al., 2016). Als Reaktion sind in den letzten Jahren mehrere Fragebogenvarianten mit unterschiedlichen Schwerpunkten auf der Basis des Fragebogens von Schmidt und Kollegen (2009) entstanden. Sie widmen sich spezifischen digitalen Technologien, wie etwa die auf Online-Unterricht und webbasierte Technologien ausgerichtete Fragebögen von Archambault und Barnett (2010) und Lee und Tsai (2010) oder auf den Einsatz von Videos im Unterricht (Krauskopf, Zahn & Hesse, 2012). Andere Varianten erweitern das Original um Fragen zu pädagogischen Ansätzen wie jener von Chai, Koh und Tsai (2013) zu kooperativen Lernsettings oder um fachspezifische Elemente wie Bilici, Yamak, Kavak und Guzey (2013) für die Naturwissenschaften.

Mehrere Autoren weisen darauf hin, dass die Qualität von Selbsteinschätzungen abhängig ist von der Fähigkeit der Probanden, ihr Wissen angemessen zu bewerten. Sie empfehlen zur Triangulation der durch Selbsteinschätzungen gewonnenen Daten jene aus Leistungsmessungen an die Seite zu stellen (Graham et al., 2009; Voogt, Fisser, Pareja Roblin, Tondeur & Van Braak, 2013). Hierbei lassen sich mindestens drei Typen von Performanzmessungen mit zunehmender Nähe zur Unterrichtspraxis unterscheiden: Studierende wenden ihr TPACK auf Aufgaben zu vorgegebenen Unterrichtskontexten (Unterrichtsvignetten) an (Akyuz, 2018; Kramarski & Michalsky, 2009; Yeh, Hsu, Wu, Hwang & Lin, 2014). Studierende planen Unterrichtsaktivitäten und halten diese schriftlich etwa in Form von Unterrichtsskizzen, Portfolio-Einträgen oder Blogs fest und begründen ihre Auswahl in begleitenden Texten (Graham, Borup & Smith, 2012). Studierende planen Unterricht mit Technologieeinsatz und führen diesen anschließend durch (Harris, Grandgenett & Hofer, 2010). Die Auswertung erfolgt in allen Fällen über Ratings in der Regel über mehrstufige Skalen. Im Vergleich zur Vielfalt der Werkzeuge, die TPACK über Selbsteinschätzungen erheben, ist die Zahl der Leistungstests noch überschaubar und wird in Reviews zur TPACK-Messung als notwendiges Forschungsdesiderat für die weitere und differenziertere Erfassung von TPACK benannt (Chai et al., 2016; Mouza, 2016).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Messung des situierten und facettenreichen TPACK forschungsmethodisch herausfordernd ist und aufgrund der hohen technischen Entwicklungsdynamik immer wieder neu angepasst werden muss. Daher ist ein einziges Instrument zur Erfassung von TPACK nicht hinreichend (Mouza, 2016). Unterschiedliche forschungsmethodische Zugänge haben dabei ihre jeweiligen Stärken und Schwächen. Beispielsweise stehen sich Generalisierbarkeit der Ergebnisse und notwendige Spezifität des Instrumentariums gegenüber, wenn es um die Entwicklung von TPACK in spezifischen Domänen (wie Biologie) oder mit unterschiedlichen technologischen,

pädagogischen oder didaktischen Schwerpunkten geht. Als Konsequenz wird empfohlen, auf den jeweiligen Forschungsschwerpunkt adaptierte Erhebungsinstrumente zu entwickeln sowie unterschiedliche Erhebungsverfahren und Formen der Datenanalyse parallel einzusetzen, um die gewonnenen Daten zu triangulieren (Mouza, 2016; Willermark, 2017).

6.5 Ziel- und Fragestellung

6.5.1 Das Projekt TPACK 4.0

Ziel des Projekts "TPACK 4.0 - interdisziplinäre, praxisorientierte und forschungsbasierte Förderung mediendidaktischer Kompetenzen von Lehrkräften" ist es, angehenden Lehrkräften Mittel und Lerngelegenheiten an die Hand zu geben, um ihre Fähigkeit zu stärken, im Fachunterricht digitale Technologien einzusetzen. Die Zielgruppe besteht aus Lehramtsstudierenden für das Sekundarstufenlehramt und hier vorwiegend aus Studierenden der MINT-Fächer. Im Rahmen des Projekts erhalten die Studierenden einen mediendidaktischen Input, der die eigenständige Bearbeitung von Materialien in einem Onlinekurs im Umfang von ca. 270 Minuten umfasst. Die Anwendung des erworbenen Wissens erfolgt gleichzeitig in einem frei wählbaren Seminarprojekt. Das Projekt kann in einem im Rahmen von TPACK 4.0 eingerichteten Lehr-Lernlabor durchgeführt werden, dem pädagogischen Makerspace *CoLiLab* (Lukas, Müller, Huwer, Drüke-Noe, Koppel, Rebholz, Stratmann, Theilmann & Weitzel, 2019; Max, Schmoll, Uhl, Huwer, Lukas, Müller & Weitzel, 2020). Das Akronym *CoLiLab* steht für ***co****operative* ***li****beral* ***lab****oratory* und bezeichnet für Studierende offen zugängliche Räumlichkeiten mit frei verfügbaren traditionellen wie modernen Medien zur gemeinschaftlichen Nutzung (Frauenhofer IAO, 2018). Diese können im Seminarprojekt unter anderem für eine innovative, kreative und nachhaltige Entwicklung, Modifikation und Produktion von Lehr-Lernmaterialien eigenständig genutzt werden. Selbstlernmaterialien und personelle Anlaufstellen stehen den Studierenden im selbstorganisierten Arbeitsprozess unterstützend zur Verfügung. Der Mediendidaktische Input und eine Einführung in die Vorgehensweise im Projekt sind in das reguläre Biologiestudium eingebunden und in diesem Sinne ökologisch valide. Ein wesentliches Ziel von TPACK 4.0 ist die Untersuchung der Wirksamkeit des mediendidaktischen Inputs und der Arbeit im Makerspace auf die TPACK-Entwicklung bei den Studierenden.

Ausgehend von den Erfahrungen in bisherigen Studien zur Messung von TPACK bei Lehramtsstudierenden sollen in TPACK 4.0 unterschiedliche Methoden der Datenerhebung kombiniert werden. Über den Einsatz eines Prä-Post-Fragebogens wird die Selbsteinschätzung zu TPACK unter Verwendung standardisierter Skalen gemessen (Handal, Campbell, Cavanagh, Petocz & Kelly, 2013; Schmidt et al., 2009). Ergänzend dazu werden die Intentionen zum Einsatz digitaler Medien (Bleschke, Ehmke & Senkbeil, 2001), die

Einstellung zur Nützlichkeit dieser (van Braak, Tondeur & Valcke, 2004), die Technologieakzeptanz (TAM2) (Holden & Rada, 2011), das durch die Arbeit im pädagogischen Makerspace *CoLiLab* geprägte konstruktivistische Lehr-Lernverständnis (Seidel, Prenzel, Duit & Lehrke, 2003), die intrinsische Motivation (KIM) (Wilde, Bätz, Kovaleva & Urhahne, 2009) in der Arbeit mit digitalen Medien sowie die dabei wahrgenommene Selbstwirksamkeit (Holden & Rada, 2011) erhoben.

Mit dem Ziel der Triangulation der Daten sollte zusätzlich ein Leistungstest entwickelt werden, der Elemente des mediendidaktischen Inputs aufnimmt und auf die Besonderheiten der Arbeit im Makerspace *CoLiLab* eingeht. Zugleich bestand das Ziel der Testentwicklung darin, TPACK auf zwei Ebenen zu erheben, als deklaratives Wissen über und als Anwendung von TPACK auf eine Unterrichtssituation (Yeh et al., 2014). Für die Aufgabenentwicklung ergaben sich zwei Herausforderungen:

Zur Erhebung des TPACK der Studierenden musste die Komplexität der zu bearbeitenden Unterrichtssituation reduziert werden, um eine Kodierung der Antworten der Studierenden zu ermöglichen und zugleich den thematischen Bezug zur Arbeit im *CoLiLab* hinreichend sicherzustellen.

Zudem sollte eine weitgehende Triangulation mit den Selbsteinschätzungen ermöglicht werden. Hierzu sollte deklaratives Wissen erhoben werden, um Bezüge zu Selbsteinschätzungen auch auf der Ebene des Faktenwissens herstellen zu können.

Zum Umgang mit der ersten Herausforderung wurde entschieden, die Zielsetzung des Einsatzes der digitalen Technologie im Aufgabenkontext explizit zu benennen (s. Aufgabenbeispiel in Tabelle 3). Zudem wurde auf die Entwicklung von geschlossenen Items zugunsten offener Aufgaben verzichtet, um eine alleinige Beantwortung durch logische Schlussfolgerungen zu vermeiden. Zusätzlich sollte eine thematische Eingrenzung auf noch zu spezifizierende digitale Technologien erfolgen, um die Studierenden nicht über eine zu große Vielfalt im Rahmen des mediendidaktischen Inputs zu überfordern.

6.5.2 Entwicklung der Aufgaben

Die Entwicklung der Aufgaben folgte einem iterativen Prozess, in dem zunächst Einsatzszenarien für digitale Technologien im naturwissenschaftlichen und im Besonderen im Biologieunterricht identifiziert und hinsichtlich der Teilaspekte des TPACK-Modells zugeordnet wurden. Da in diesem Zusammenhang vor allem Unterrichtsideen, Unterrichtsmodelle und methodische Empfehlungen im Vordergrund standen und die Ergebnisse auch für angehende Lehrkräfte leicht auffindbar und zugänglich sein sollten, wurde die Quellensuche auf das für Lehrkräfte zugängliche “Fachportal Pädagogik” begrenzt. Mit den Stichworten “Biologie” ODER “Biologieunterricht” UND “Digitale

Medien" konnten insgesamt 62 Quellen identifiziert werden, die anschließend mit Blick auf Angebote im *CoLiLab* eingegrenzt wurden. Der Makerspace ermöglicht unter anderem die Arbeit mit Messwerterfassungssytemen, die Erstellung und Bearbeitung von Videos sowie die Nutzung und Erstellung von Animationen und Simulationen. Auf weitergehende Möglichkeiten, etwa die Erstellung von AR- und VR-Anwendungen (Augmented Reality und Virtual Reality), wurde aufgrund der Notwendigkeit zur Komplexitätsreduktion und der zeitlichen Begrenzung des mediendidaktischen Inputs verzichtet. Zudem werden erweiterte Formen der Arbeit mit digitalen Medien im Masterstudiengang des Lehramts Biologie gesondert vermittelt. Im nächsten Schritt wurden aus fach- und mediendidaktischer Perspektive Kriterien zur Bewertung der Qualität digitaler Technologien zusammengestellt. Da die Kriterien länderspezifisch unterschiedlich ausfallen können, erfolgte eine Begrenzung auf deutschsprachige Quellen der letzten fünf Jahre, um der Dynamik der Entwicklung in diesem Feld Rechnung zu tragen. Alle Quellen wurden in die Daten- und Textanalysesoftware MAXQDA eingefügt und computergestützt deduktiv-induktiv ausgewertet. Die Entscheidung für die zum Rating zu berücksichtigenden Kriterien wurde konsensuell in der Arbeitsgruppe getroffen. Aus fachdidaktischer Perspektive wurden Qualitätskriterien für den naturwissenschaftlichen Unterricht aufgenommen (Steffensky & Neuhaus, 2018). Von der Vielzahl der kognitionspsychologischen Ansätze wurde die Cogntive Load Theory von Chandler und Sweller (Chandler & Sweller, 1992) berücksichtigt sowie das SAMR-Modell (Grabner, 2016; Puentedura, 2006). SAMR steht für Substitution, Augmentation, Modifikation und Redefinition und beschreibt die Potentiale digitaler Medien, die von der Ersetzung analoger Medien (Substitution) bis zur Schaffung gänzlich neuer Unterrichtsmöglichkeiten (Redefinition) reichen (Kuhn, Ropohl & Groß, 2017). Im Projekt wird das Modell aufgrund seiner Popularität eingeführt trotz seiner Schwächen wie der fehlenden Kontextualisierung, des stark vereinfachenden Zugangs zur Nutzung digitaler Technologien über vier Stufen, dem eher technologie-, statt lernprozessorientierten Fokus und fehlender empirischer Fundierung (Hamilton, Rosenberg & Akcaoglu, 2016). Zur Analyse digitaler Technologien aus mediendidaktischer Perspektive wurde die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) (Mayer, 2009) herangezogen.

Tabelle 6.1

Kriterien zur Bewertung des TPACK der Studierenden

Dimension / Kriterium	**Qualitätskriterien von naturwissenschaftlichem Unterricht**	**Kognitions-psychologische Kriterien**	**Mediendidaktische Kriterien**
PCK	Kognitive Aktivierung	Cognitive Load Theory	
	Inhaltliche Strukturierung		
TPK		SAMR-Modell	CTML
TPACK	Kriterienbasierte Begründung auf der Grundlage oben genannter Kriterien		

6.5.3 Formulierung der Aufgaben

Auf der Basis dieser ausgewählten Kriterien wurden für jede naturwissenschaftliche Domäne drei Aufgaben entwickelt. Alle Aufgaben beziehen sich in ihrem Aufgabenkontext auf ein Fachthema aus dem Bildungsplan des Landes Baden-Württemberg (Bildungsplan, 2016). Jede Aufgabe ist aus drei Teilaufgaben zusammengesetzt, wobei Aufgabe 1 und 3 deklaratives TPACK erfordern. Die Inhalte von Aufgabe 1 werden im mediendidaktischen Input vermittelt und sollen in der Aufgabe reproduziert werden. Aufgabe 2 erfordert die Anwendung von TPACK, indem zu einem biologischen Beispielthema mit vorgegebener Zielsetzung Handlungsempfehlungen erarbeitet werden sollen. Aufgabe drei verlangt wiederum deklaratives Wissen zu TPACK, das nicht explizit in den Materialien des mediendidaktischen Inputs enthalten ist, sondern beispielsweise über die Arbeit im Makerspace erlernt werden kann.

Tabelle 6.2

Exemplarischer Aufbau einer Aufgabe

<u>Aufgabe X - “Thema” im Biologieunterricht</u>

Aufgabenenkontext

1. Definition und Nennungen (deklaratives Wissen)
2. Begründete Empfehlungen (konkreter Wissenstransfer von TPACK)
3. Allgemeine Potenziale und Nachteile (allgemeiner Wissenstransfer von TPACK)

Zur Eingrenzung der thematischen Vielfalt erfolgte eine Festlegung auf drei digitale Technologien, die für den Biologieunterricht als bedeutsam identifiziert wurden: die Produktion und Nutzung von Erklär- oder Lernvideos, die Nutzung von Messwerterfassungssystemen und die Nutzung von Animationen und Simulationen im Biologieunterricht, wobei die Definition von Messwerterfassung sowohl digitale Messgeräte

und daran angeschlossene mobile digitale Endgeräte wie Tablets ebenso umfasst wie Datenbanken zur Artbestimmung (z.B. ID- Logics).

Tabelle 6.3

Aufgabenbeispiel

Aufgabe A - Erklärvideos im Biologieunterricht

Eine Biologielehrkraft möchte als nächstes das Thema „Immunbiologie“ in Klasse 9 unterrichten. Sie überlegt, ob sie die Schülerinnen und Schüler Erklärvideos zum Zusammenspiel zwischen Antigenen und Antikörpern erstellen lassen soll.

1. Erklären Sie zunächst allgemein, was Erklärvideos sind und welche Formen des Einsatzes im Unterricht dabei unterschieden werden können.

2. Entwickeln Sie eine begründete Empfehlung für die Lehrkraft zum Einsatz von Erklärvideos für die zu Beginn genannte Zielsetzung. Gehen Sie in Ihrer Begründung auf die für Sie relevanten Bewertungskriterien ein.

3. Wo sehen Sie allgemein weitere Potentiale, aber auch Nachteile, des Einsatzes von Erklärvideos im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht.

Tabelle 6.4

Aufbau des Scoring-Guide zum Raten der Evaluationsaufgaben

Aufg.	**Konstrukte**	**Scoring**			
		0	**1**	**2**	**3**
1	Definition & Beispiele	max. 2 Punkte, wenn Definition und Formen von Erklärvideos jeweils sinngemäß genannt werden			-
2	Anzahl genannter relevanter Qualitätskriterien guten Unterrichts	max. 3 Punkte, wenn mindestens drei relevante Qualitätskriterien genannt werden können, die beim Einsatz von Erklärvideos eine Rolle spielen			
	Korrekte Begründung für die Auswahl relevanter Unterrichts-qualitätskriterien	max. 3 Punkte, wenn die Auswahl der drei oder mehr zuvor korrekt genannten Qualitätskriterien guten Unterrichts korrekt begründet werden können			
	Nennung mediendidaktischer Bewertungskriterien	max. 3 Punkte, wenn die drei mediendidaktischen Bewertungskriterien korrekt auf das Aufgabenbeispiel transferiert werden (z.B. Aufg. A für SAMR: R)			
	Korrekte Begründung der kriterienbasierten mediendidaktischen Bewertung	max. 3 Punkte, wenn der Transfer der drei mediendidaktischen Bewertungskriterien auf das Aufgabenbeispiel korrekt begründet werden kann			
	Allgemeine Qualität der Begründungen	max. 3 Punkte, wenn die Begründungen nicht alltagsbasiert oder simplifiziert wissenschaftlich, sondern wissenschaftlich unter korrekter Verwendung des Fachvokabulars erfolgen (z.B. SAMR, Codierung)			
3	Potenziale und Nachteile des digitalen Mediums	Jeweils max. 3 Punkte, wenn weitere nachvollziehbare Potenziale & Nachteile genannt werden können			

6.5.4 Entwicklung eines Kodierleitfadens

Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgt durch eine schriftliche Onlinebefragung. Somit liegt am Ende von jedem Studierenden jeweils ein Antwortenset vor, welches anschließend mit einem Kodierleitfaden hochinferent geratet und quantifiziert wird. Eingesetzt wird jeweils ein vierstufiges Kodierschema, das von 0 = keine Nennung eines Kriteriums bis 3 = vollständige Nennung aller relevanten Kriterien reicht.

6.5.5 Validierung der Aufgaben und des Kodierleitfadens in Experteninterviews

Die Aufgaben und der Kodierleitfaden wurden anschließend mit fünf Expertinnen und Experten aus mehreren Fachdisziplinen (Biologie, Chemie, Mathematik, Informatik, Psychologie) besprochen. Alle beteiligten Personen waren mit dem TPACK-Modell vertraut, verfügen über vielfältige schulische und hochschulische Lehrerfahrung und hatten zur Vorbereitung Einblick in den mediendidaktischen Input, der den Studierenden vorgelegt wird. Die Diskussion wurde entlang eines Interviewleitfadens geführt und war fokussiert auf forschungsmethodische Qualitätskriterien wie die Nachvollziehbarkeit und Vollständigkeit der Aufgaben, die inhaltliche Validität sowie die zugrundeliegende Quellenbasis (Döring & Bortz, 2016). Anmerkungen zur sprachlichen und strukturellen Qualität sowie hinsichtlich der Passung zwischen Aufgabenitems, Analyseinstrument und dem mediendidaktischen Input wurden in der Weiterentwicklung der Aufgaben beachtet. Der multiperspektivische Blick durch die heterogene Auswahl der Fachexperten aus unterschiedlichen mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen konnte eine ausreichend medienfachdidaktisch fokussierte Itemauswahl bestätigen. Diese ist vor allem im Hinblick auf den weiteren Forschungsverlauf bedeutsam, denn so sind die Aufgaben an angrenzende mathematisch-naturwissenschaftliche Fachbereiche anschlussfähig und adaptierbar. Im Zuge der Validierung konnten Schwachstellen in der Formulierung der Items lokalisiert und überarbeitet werden.

6.5.6 Inhaltliche Validierung der Aufgaben mit Peers

Die überarbeiteten Aufgaben wurden anschließend einer kleinen Anzahl (N = 5) an Studierenden vorgelegt. Diese sollten in dem für die Hauptstudie angesetzten Zeitraum von 60 Minuten die Aufgaben bearbeiten. Ziel war dabei die Weiterentwicklung des Analyseinstruments sowie die Optimierung der Aufgaben durch eine ergänzende kommunikative Validierung (Döring & Bortz, 2016).

6.5.7 Pilotierung des Instruments und Triangulation

Im Sommersemester 2020 wurde der mediendidaktische Input, der Fragebogen zur TPACK-Selbsteinschätzung und der Leistungstest an Lehramtsstudierenden der Biologie (N= 45) der PH Weingarten pilotiert. Ergebnisse der Pilotierung werden im Sommer 2020 vorliegen. Erschwert wird die Pilotierung durch die Corona-Pandemie, durch die Angebote des mediendidaktischen Inputs ausschließlich im Online-Format stattfinden und der Zutritt zum Makerspace nur unter strengen Auflagen und in kleinen Gruppen möglich ist. Dies sind beides Faktoren, die eine Auswertung der Daten erschweren könnten.

6.6 Fazit und Ausblick

Eine der womöglich positiven Konsequenzen der Corona-Pandemie im Jahr 2020 kann darin bestehen, dass die Digitalisierung der Lehr- und Lernmittel in Deutschland, wenn auch unbeabsichtigt, stark beschleunigt worden ist. Dem nachfolgen muss eine beschleunigte Qualifikation der angehenden Lehrkräfte, die sie befähigt, digitale Technologien fach-, inhalts- und lernprozessadäquat einzusetzen. Das TPACK-Modell stellt hierfür ein theoretisches Fundament, das unter Berücksichtigung der aktuellen technologischen Entwicklung adaptiert und spezifiziert werden muss. Im Projekt TPACK 4.0 wird ein pädagogischer Makerspace etabliert und durch die Bearbeitung eines mediendidaktischen Inputs ergänzt, was zum Ziel hat, einen Beitrag für die Entwicklung von TPACK bei Lehramtsstudierende der Biologie zu leisten. Im Rahmen des Projektes wurden zwei Messinstrumente entwickelt, mit deren Hilfe das TPACK von Studierenden im Prä-Post-Design erfasst und eine Entwicklung beschrieben werden soll.

7. *Studie 2:* The pedagogical makerspace: Learning opportunity and challenge for prospective teachers` growth of TPACK

> Max, A.-L., Lukas, S., & Weitzel, H. (in the peer review process). The pedagogical makerspace: Learning opportunity and challenge for prospective teachers' growth of TPACK. *British Journal of Educational Technology (BJET)*.

Der Artikel befindet sich zum Zeitpunkt der Abgabe der Dissertation in einem Double-Blind-Peer-Review-Verfahren des *British Journal of Educational Technology (BJET)*. Adressiert werden dabei die zweite, dritte und vierte Forschungsfrage:

(2) Welchen Herausforderungen nehmen angehende Lehrkräfte bei der Arbeit im pädagogischen Makerspace wahr?
(3) Welche Problemlösestrategien werden zur Bewältigung der Herausforderungen im Makerspace entwickelt?
(4) Durch welche Maßnahmen können die Herausforderungen der angehenden Lehrkräfte im pädagogischen Makerspace adressiert werden?

In *Studie 2* des vorliegenden Dissertationsvorhabens werden die wahrgenommenen Hürden sowie die Problemlösestrategien der angehenden Lehrkräfte während der selbstorganisierten Projektarbeit im Makerspace identifiziert und anschließend kategorisiert. Darauf aufbauend konnten die im Makerspace verfügbaren Unterstützungsmaßnahmen stetig angepasst werden, damit sich eine Überforderung nicht entmutigend auf den Projektverlauf und hemmend auf die TPACK-Entwicklung auswirken würde.
Die anteiligen Beiträge aller Mitautoren der Studie 2 sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Dieser Artikel entspricht möglicherweise nicht genau der in der Zeitschrift veröffentlichten endgültigen Fassung.

	Autor	Konzept-ualisierung	Entwicklung Messinstrumente	Datenerhebung/ -auswertung	Schreiben	Überarbeitung/ Redaktion
1.	Anna-Lisa Max	70%	70%	80%	60%	20%
2.	Sarah Lukas	15%	10%	10%	20%	40%
3.	Holger Weitzel	15%	20%	10%	20%	40%

7.1 Abstract

The aim of this study was (1) to describe challenges prospective teachers perceive during project work in a pedagogical makerspace and coping strategies they develop to deal with the challenges, (2) to analyse the development of prospective teachers' TPACK and attitudes towards the use of ICT in class.

Challenges regarding project work and coping strategies were recorded via semi-structured interviews and evaluated by qualitative content analysis. TPACK and prospective teachers' attitudes towards the usefulness of digital technologies, technology acceptance, intrinsic motivation, self-efficacy, intentions to use digital media and constructivist understanding of teaching were assessed via questionnaire.

The sample consists of German prospective teachers (N=145). The results show an increase in TPACK, technology acceptance, intention to use digital media and motivation over the course of the project. TPACK before the intervention was the only variable that predicted TPACK after the intervention. The prospective teachers report numerous challenges during their projects, which can be attributed to the framework, teamwork, and taskwork levels, as well as the individual TPACK. Coping strategies were mainly found on the taskwork level, for example by adjusting goals, creating subtasks and organising regular feedback meetings for self-monitoring.

7.2 Introduction

Both nationally and internationally, increasing importance is being attributed to the use of digital technologies in the classroom, to media-related skills of students, and to the ICT related qualification of (prospective) teachers (e.g., Redecker, 2017). The opportunities for using ICT in schools are developing rapidly, and with them, the demands on teachers' skills. This trend has become most impressively visible in the example of the push towards online teaching triggered by the COVID pandemic. Currently, teachers' ICT-related skills are limited. For example, only a quarter of teachers in Germany rate their ICT skills as sufficient to adequately teach digitally-supported lessons. (Eickelmann et al., 2019). Limited knowledge combined with rapidly advancing digital development points to the urgent need for universities to develop learning environments that help prospective teachers to develop relevant knowledge and skills.

There are various models that describe ICT-related knowledge important for teachers. One of these models is the TPACK model (Koehler & Mishra, 2009; Mishra & Koehler, 2006), which is widely used internationally. It extends Shulman's (1986) PCK framework for describing the knowledge domains that are constitutive for teachers by technological knowledge. This results in three basic domains (content knowledge (CK), pedagogical knowledge (PK) and

technological knowledge (TK)) and the four intersections between them. They are referred to as technological content knowledge (TCK), technological pedagogical knowledge (TPK) and technological pedagogical content knowledge (TPCK or TPACK). TK describes the knowledge and skills of contemporary digital technologies. TCK represents knowledge of the technologies relevant to a subject area. TPK encompasses the knowledge needed to integrate digital technologies into teaching in a pedagogically appropriate way. TPCK is the conglomerate of the other knowledge areas and refers to the knowledge and skills required to teach content of a subject in a meaningful and pedagogically reasonable way using digital technologies. Hence, TPACK represents a contextual synthesis of the professional knowledge of teachers for teaching domain-specific content through the use of digital technologies (Angeli, Valanides & Christodoulou, 2016).

TPACK represents complex and diverse knowledge. Its teaching has therefore to be set up as a long-term process in the course of teacher education (Tondeur et al., 2012; Petko, Döbeli Honegger and Prasse, 2018). From previous research, requirements for learning environments for teaching tpack can be derived. (1) Learning environments should build on the (prospective) teachers' existing knowledge, beliefs and attitudes about the use of digital technologies, the teachers' expectations of self-efficacy, and the ability to self-regulate with regard to personal resources (Niederhauser & Lindstrom, 2018; Valtonen et al., 2018). (2) Learning environments should be multifaceted and build on each other to allow for cumulative learning (e.g., Baran & Uygun, 2016; Herzig & Martin, 2018; Hofer & Grandgenett, 2012; Jen et al., 2016). Moreover, teaching should be problem-based or project-based and should provide learners with active and self-directed experiences (e.g., Baran & Uygun, 2016; Vogelsang et al., 2019). (3) The learning environments should enable reflection on the criteria on which successful ICT use is based, such as the quality of the media, the quality of their embedding in the classroom, or the quality of their application under the contextual conditions of teaching (Petko et al., 2018), and (4) they should allow the application of the knowledge learned in practice, for example, in school internships, and by this means, to experience, analyse and reflect on the effects of the use of digital media on student learning (e.g., Lipowsky & Rzejak, 2017).

Makerspaces (see chapter 1.1) are learning spaces that potentially fulfil several of the aforementioned prerequisites for learning environments for successfully teaching TPACK. So far, little research has been done on whether and to what extent the project-based way of working in makerspaces is suitable for contributing to the development of prospective teachers' TPACK. This research addresses this issue by describing how prospective teachers' TPACK and TPACK-related attitudes change as a result of working in a makerspace

and clarifies what challenges they experience in project work. Moreover, the study shows what strategies the prospective teachers use to cope with the perceived challenges.

7.2.1 Pedagogical makerspace as a constructivist learning environment

The rising relevance of ICT in teacher education is related to the growing attention attributed to 21st century skills such as creativity, collaboration, communication, problem solving or critical thinking (see Valtonen et al, 2020; van Laar et al., 2017). To teach 21st century skills, educational makerspaces have become increasingly important in recent years (e.g. Kajamaa et al., 2020b; Konstantinou et al., 2021; Mersand, 2021; Rayna & Striukova, 2021). Makerspaces are places in which people come together to create physical or digital products and expand their knowledge (Mersand, 2021).

Making is a purely intrinsically motivated process. Intrinsically motivated activities have been associated with successful learning due to a deeper examination of the learning topic (Deci & Ryan, 1985; Vansteenkiste et al., 2004). Making hence appears to be an ideal activity to be used for learning, and a makerspace was described as an ideal learning environment to follow constructivist learning (e.g., Bevan, 2017; Kurti et al., 2014). These considerations led to the implementation of *pedagogical* makerspaces, which are spaces designed to enable students gaining deep knowledge and skills through creative and collaborative problem solving while they are accompanied by a teacher (Max et al., 2020b). We will focus here on university pedagogical makerspaces for prospective teachers. The aim of pedagogical makerspaces for prospective teachers is to enable them to transfer project- and problem-based learning in schools and be able to guide this way of learning by directly experiencing the potential and challenges of this approach to learning. However, the implementation of pedagogical makerspaces is not without critique and challenges (e.g., Fasso & Knight, 2019; Heredia & Tan, 2021). To optimise learning processes, influencing factors have to be known. Recent research could identify some of the influencing factors: The infrastructure is important in providing a variety of tools to allow a wide range of production opportunities (e. g., Cohen, 2017; Jaatinen & Lindfors, 2019). The projects should be closely linked to practise to increase the intention to use maker activities in the classroom (e. g., Jones et al., 2020; Petko et al., 2018). Personal factors like positive intentions and creative problem-solving skills are associated with successful working in a makerspace (e. g., Cohen, 2017; Jaatinen & Lindfors, 2019). In return, working in a makerspace increases self-efficacy (e.g., Andrews et al., 2021; Jones et al., 2020), reduces flawed concepts (e. g., Cohen et al., 2018) and corresponds to the idea of double-decker learning: By having a learning experience by him/herself, knowledge and skills can be transferred more profoundly to the classroom (e. g., Jones et al., 2020). Moreover, it is important to have subject-specific media experiences, as this

experience influences attitudes towards the use of media in the classroom (e.g., Scherer et al., 2018; Teo & van Schaik, 2012; Vogelsang et. al., 2019).

There is still a gap of research focusing on the development of motivation while working in a pedagogical makerspace (e. g., Vongkulluksn et al., 2018). Although intrinsic motivation might be limited in a pedagogical makerspace because in a compulsory subject, the prospective teachers are required to work in it, we argue that intrinsic motivation is fostered for the following reasons: 1. Prospective teachers perform in a self-controlled manner and at their pace, 2. they work in a highly cooperative and interactive manner and receive constant feedback from their peers, and 3. students' professional action is made visible by a product. Hence, the three human needs (competence, autonomy, relatedness) to unfold intrinsic motivation according to self-determination theory (Deci & Ryan, 2012) are met theoretically.

Andrews and colleagues (2021) show indeed an increase in self-efficacy, in the sense of belonging to the makerspace and in the interest of the contents design, tinkering and analysis, which are prerequisites for intrinsic motivation for students working in a pedagogical makerspace with elective and required courses. Han and colleagues (2017) showed that (voluntarily) working in a makerspace increased intrinsic motivation via the psychological needs of competence, autonomy and relatedness. The motivation to use digital media in lessons is boosted by creating and constructive use of media (Vogelsang et al., 2019). We argue that creating media projects for teaching in a makerspace counts as such. But all in all, there is still a research gap in the systematic investigation of the influence of working in a pedagogical makerspace on intrinsic motivation.

As above mentioned, the self-regulated and project-based learning in a pedagogical makerspace can also entail challenges. For instance, learners have to deal with setbacks, are required to look for help, are lacking support and have to make themselves familiar with new technologies and tools (e. g., Kajamaa et al., 2020a; Max et al., 2021; Stevenson et al., 2019). To face those challenges, Heredia and Tan (2021) argue that more research on the learning processes and implementation of makerspaces in schools is needed so that teachers are able to guide making in the classroom. For teachers being able to serve as competent learning facilitators in a pedagogical makerspace, TPACK is necessary. The extent to which the potential of makerspaces can be leveraged for teacher education is currently poorly explored and even less with respect to developing TPACK (e.g., Figg et al., 2018; Khirwadkar & Figg, 2019). The few studies, dealing with this subject, include only a small sample size (e.g., Corum et al., 2020).

7.2.2 Purpose of this study

Following Tondeur et al. (2012) and Petko et al. (2018), a comprehensive integration of ICT-related knowledge into university teacher education requires a change in existing learning environments. These should enable individualised, design-oriented, and self-organised work regardless of heterogeneous prior experiences, so that TPACK can develop through positive technology experiences (Baran & Uygun, 2016). These in turn promote positive impact on attitudes toward the use of ICT in the classroom (Cohen, 2017; Vogelsang et al., 2019). Due to its openness, a pedagogical makerspace should allow individualised, design-oriented, and self-organised work (Cohen, 2017; Mersand, 2021; Vogelsang et al., 2019). Nevertheless, open learning environments are complex and thus need to be used sensibly, as challenges could arise that negatively impact attitudes towards problem- and project-based learning environments, for example attitudes on collaboration and communication, as well as the readiness to use ICT in the classroom (Cohen et al., 2018; Jones, et al., 2017; Yamamoto, 2021).

The idea of the present approach is thus to promote application-oriented TPACK among prospective teachers through successful technology-related project work in a pedagogical Makerspace. In order to better assess its success, it first seems necessary to identify the challenges for prospective teachers and problem-solving strategies, which is still a research desideratum in the literature. On this basis, the increase in self-assessed TPACK due to the influence of the intervention can then be better discussed, as well as other personal factors that can have an influence on self-organised work in a makerspace. The aim of the study is therefore to investigate:

RQ1. What challenges do prospective teachers face while working in a pedagogical makerspace as a constructivist learning environment?

RQ2. How do prospective teachers cope with the challenges they experience?

RQ3. Do prospective teachers improve their TPACK by carrying out a media project in a pedagogical makerspace?

RQ4. Do personal factors like perceived usefulness of digital media, technology acceptance, self-efficacy, constructivist understanding of teaching and learning and motivation change while carrying out a media project in a pedagogical makerspace?

7.3 Methodology

7.3.1 Sample

The sample of N = 145 (male = 36; female = 109) included three cohorts (K1 = 17; K2 = 78; K3 = 50) across three semesters. The intervention group (IG) comprises 89 biology and psychology prospective teachers who participated either within their bachelor's or master's studies (N = 127; missing = 18). The participation of students in the Bachelor's and Master's programme is justified by the fact that the compulsory seminar has been newly included in the curriculum for this intervention. This arrangement means that the Master's students have comparable levels with regard to the subject as the Bachelor's students, because there were no ICT-related courses offered in their studies before. The control group (N=56) was formed by students who were not attending the work in the makerspace and were still in the same cohort. 6 of the students did not complete both questionnaires and were therefore removed from the analysis. There were 139 data sets available for analysis (N_{IG} = 93; N_{CG}=49).

7.3.2 TPACK intervention

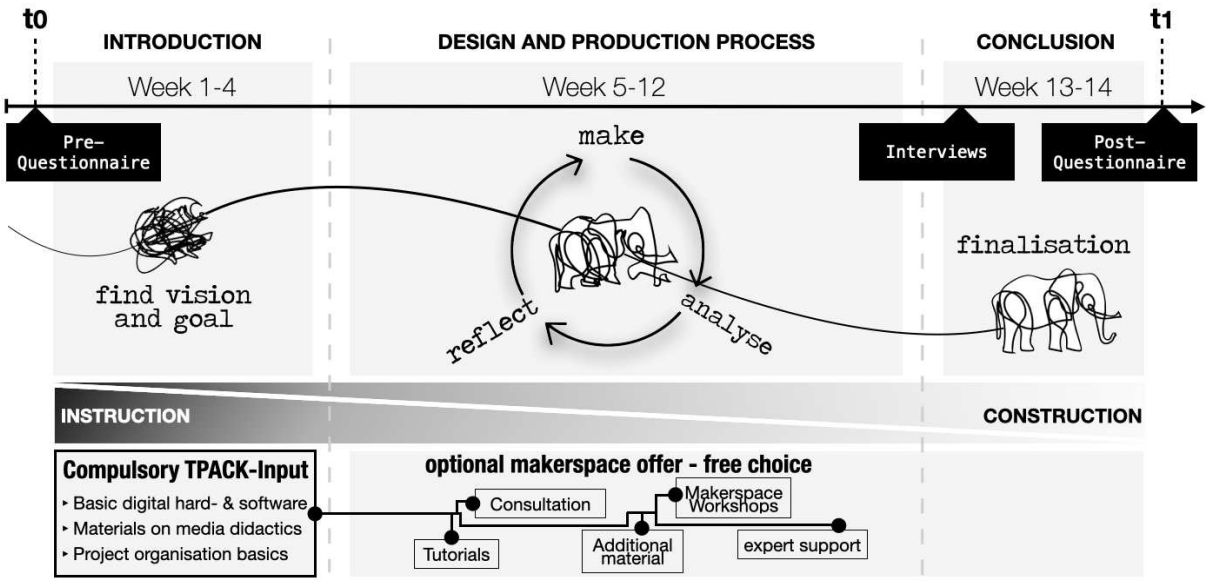
The prospective teachers are required to carry out a project in a pedagogical makerspace as part of their compulsory studies in biology or psychology (see Figure 2). The project extends over a total working time of 14 weeks (one semester) and is composed of two blocks:

The first block is an online-based theoretical input (about 180-minute processing time) that addresses TPACK in five lessons based on examples of how digital technologies can be integrated into subject-specific teaching. Each example specifies and considers criteria for good science teaching (Steffensky & Neuhaus, 2018). In addition, basic media educational theories are elaborated. These theories comprise brief introductions to cognitive load theory (Chandler & Sweller, 1992), the cognitive theory of multimedia learning (Mayer, 2009) and the SAMR (Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition) model, which is used in teacher professional development (Puentedura, 2006). The online input ends with basic rules for self-organisation in project groups.

The second block covers the media project work in the makerspace. The task of the project is to design and implement a teaching-learning material to be used in biology or psychology lessons in school (Lukas et al., 2020; Max et al., 2020b, 2021), in the sense of STEAM-related artefacts (Jones et al., 2020) (Example 1 to 3 in Appendix A). The development of the materials takes place in the university's pedagogical makerspace (Appendix B, picture of makerspace).

Figure 7.1

Overview of the cross-semester media project with visualisation of project phases, evaluation points, student activities and TPACK-related instructions.



The prospective teachers worked in groups which were freely formed at the beginning of the semester. The development of the project's vision and the definition of the project topic was supported by the lecturer. Subsequently, the groups were responsible for the planning of the work steps, content-related and technical familiarisation, control of the project progress and the time management. The project work was accompanied by reflection rounds (see figure 2). If the reflection rounds showed that the groups needed further materials (CK or PCK) in addition to the input, the lecturer could decide to provide necessary information, so that technical knowledge could be meaningfully linked with content-related and pedagogical knowledge (Cohen, 2017).

The project specifications combined classic and agile elements of project management focussing on the iterative design process with several cycles in which the steps of making, analysing and reflecting constantly alternate (Max et al., 2021). The university's pedagogical makerspace is equipped with analogue and digital devices and software (cameras, green screens, audio recording systems, iPads, lighting, recording stations, computers with editing software for audio stories, podcasts and videos, a 3D scanner and printer, cutting plotter) (Lukas et al., 2019). The work with the diverse hardware and software is supported by digital user guides with numerous tutorials.

7.3.3 Instruments to identify students' challenges and problem-solving strategies

The aim of the qualitative analysis was to determine the challenges prospecitve teachers faced when working in the makerspace and the strategies they developed to deal with the challenges. The objective was pursued using semi-structured individual interviews, as students' experiences can be highly individualised and the individuality of the challenges could have been obscured by other methods such as focus group discussions. The sample is the prospective teachers of the first two cohorts. One member from each project group was randomly selected for the interview. The number of interviewees was not pre-determined. The criterion for the number was the saturation of the statements, in line with common procedures of qualitative social research (Kuckartz, 2016). Thus, new interview partners were added until no new information was obtained through further interviews. From the 20th interview onwards, a saturation of responses became apparent, which is why data collection was stopped after the 22nd interview. The interviews took place towards the end of the respective project, as it could be assumed that challenges and solutions could be sufficiently described at that point.

The interviews were audio-recorded, fully transcribed with the program f5 (https://www.audiotranskription.de/en/), and analysed using computer-assisted qualitative content analysis in the MAXQDA program (https://www.maxqda.de). The analysis was carried out by one researcher. Ambiguous text passages were communicatively validated within the team of three researchers all experienced in qualitative content analysis (Kuckartz, 2016).

The categories used to analyse the interviews were derived deductively following Geramanis and Hutmacher (2020) and supplemented by inductively obtained categories based on the data (Appendix E).

According to Geramanis et al. (2020), project teams in a digitalised working environment are effective and successful especially when all members have equal rights and the organisation of the project group is self-directed and self-responsible. Self-organisation can thus have a positive influence on the motivation and productivity of a group. A project group must organise itself on three main levels:

(1) At the level of the framework, goals must be clearly defined within the team, procedures established and tasks distributed. At the taskwork level (2), working methods (e.g., regular meetings, self-organised feedback sessions for self-diagnosis, review of goals, information sharing) and an agenda matching the vision must be developed. At the level of teamwork (3), groups are particularly successful when they create an open and trusting atmosphere in which

conflicts can be resolved in a constructive and goal-oriented manner and cooperative assistance and mutual teaching of skills can take place. At each of the levels, challenges can arise. Which challenges occur and which coping strategies the project members choose depend on their (4) individual resources (e.g., available and useful pre-experience and knowledge (e.g., TPACK); Performance pressure; Fit between expectation and available competence) and (5) the necessary resources (e.g., resources and support structure like self-learning materials, teacher staff, coaching, supervision) to complete the project. Therefore, prospective teachers' individual resources as well as the necessary resources were surveyed inductively (see detailed description of the categories in Appendix E supplemented with examples of the teachers' quotes about the perceived challenges).

7.3.4 TPACK as dependent variable and independent personal variables

Based on the current state of research, TPACK is quantitatively assessed by standardised self-assessment scales in a pre-post questionnaire (adapted from Schmidt et al., 2009; Handal et al., 2013). Furthermore, attitudes are measured by intentions to use digital media (Bleschke et al., 2001), by the perceived usefulness of digital media (adapted from Braak et al. 2004) and by technology acceptance (Holden & Rada, 2011). Since the prospective teachers work in a makerspace on self-defined projects, constructivist understanding of teaching and learning (CUTL) (Seidel et al., 2003), intrinsic motivation (KIM) (Wilde et al., 2009) and self-efficacy (Holden & Rada, 2011) are additionally collected. All of the constructs are based on 4-point Likert scales, except the intrinsic motivation scale, which is based on a 5-Likert scale (Complete list and example items, Appendix C). A reliability analysis was examined for all scales before and after the intervention with good to very good results (Cronbach's alpha min=.68 und max=.93; M=.82; SD=.08; see Appendix D), (Dorsch & Wirtz, 2020).

7.4 Results

7.4.1 Prospective teachers perceived challenges and coping strategies

The analysis of the interviews revealed a nuanced picture of the prospective teachers' perceived challenges (RQ1) which are only partially countered by successful coping strategies (RQ2). Below we elucidate the results in detail. The complete overview of the core-requirements, the prospective teachers' perceived difficulties and their problem-solving strategies can be found in Appendix F.

Core requirements for successful work in self-organising teams include the design of work processes - these comprise the organisation of the team (framework), the design of workflows (taskwork), and the attitudes and ways of interacting within the team (teamwork) - as well as requirements on the individual level and necessary resources.

Challenges on the framework level

Project work should start with clarifying the framework conditions. This step involves defining the project goal and tasks, clarifying the roles of the individual group members, determining the procedures, and addressing difficulties that arise during the work (questioning the norms of effectiveness). Some of the prospective teachers stated that defining a project goal presented a challenge, in part because they tended to formulate goals that were too ambitious in relation to their available knowledge. As a consequence, some groups had to reformulate their goals several times in the course of their work. For some prospective teachers, time management presented significant challenges. For example, they took a very long time to develop an initial prototype, which made it difficult for them to meet deadlines. Several prospective teachers consider the allocation of roles in the project team to be another difficulty. Although roles were assigned, they were rarely assigned in a way that increased the productivity of the group.

Coping strategies on the framework level

To meet the content challenges, project team members called for materials and support that more specifically addressed their topic to define their objectives more realistically at the beginning of the project. They also found that they lacked knowledge on how to organise projects. As a consequence, they requested an introduction to the organisation of project work before starting their projects to enable them to use this knowledge to design their workflows.

Challenges on the taskwork level

Taskwork involves finding ways to determine how the members of a group seek to work together (e.g., regular meetings, review of goals) to reach a motivating goal, how they exchange information with each other, how they give each other feedback and how they ask for support. In heterogeneous groups, it is also important to find a common language.
The prospective teachers experienced all of those aspects as challenges in their projects.

Coping strategies on the taskwork level

Nevertheless, they managed to address almost all of them productively. They developed matching workflows, which were characterised primarily by asynchronous ways of working and the development of prototypes through tinkering and experimentation. They adjusted their goals, divided tasks into smaller subtasks, and organised regular feedback meetings for self-monitoring. As the projects proceeded, they increasingly lost their reluctance to seek expert feedback and expert support; occasionally, they independently sought out the experts who could assist them.

Challenges on the teamwork level

Teamwork refers to interpersonal cooperation among group members. This aspect includes an open and trusting atmosphere that can have a strong impact on whether conflicts are addressed constructively and in a goal-oriented manner and whether they are resolved directly. If the group members interact responsibly and respectfully with each other, this aspect also promotes cooperative support and the exchange of knowledge. Some prospective teachers report difficulties in creating an open atmosphere within the group. In these groups, problems or unfinished tasks were not addressed openly and, above all, in a timely manner. Insufficient communication between team members led to declining motivation in some groups. Prospective teachers complained of communication difficulties, especially during the temporary closure of the makerspace due to COVID-19, because the lack of on-site presence made direct communication harder. For the prospective teachers, the communication difficulties manifested themselves primarily in their inability to decode the nonverbal signals of their group members, which particularly affected the search for compromises on project goals or task allocations.

Coping strategies on the teamwork level

If project members encounter difficulties while working on their subtask, cooperative assistance in the group, e.g. by passing on knowledge or sharing previous experience, is described as a problem-solving strategy to cope with the overall task as a team.

Challenges on the individual level

The prospective teachers created digital media in the makerspace to be used in class. To design the media, they need knowledge in all seven areas of TPACK. Some of them reported a lack of knowledge with regard to TK, PK, and CK. The lack of content knowledge could be attributed to prospective teachers engaging with content that they had not previously been exposed to in their studies.

The project work was scheduled for a duration of one semester. The prospective teachers state that they feel constrained by the time limit and the pressure to perform well. There was time pressure and pressure to perform, which triggered stress and fear of failure in some of them. At the individual level, both are the main challenges to completing the projects.

Coping strategies on the individual level

None of the prospective teachers described options to solve the perceived problems, such as pursuing innovative paths, implementing new ideas or simply trying things out.

Perception of the support structures

Project work is often characterised by the fact that the team frequently faces limits and problems that cannot be satisfactorily solved by the knowledge and skills within the team. This property is especially the case for projects whose key objective is to learn new knowledge, in our case TPACK. For successful project work, learning resources were provided (see 2.2), and coaching and supervision that the teams could refer to when needed but which were not imposed on them. The project teams responded very differently to the support offered. Some perceived the materials provided to be insufficient, while others felt that they had too many materials available to them, making it difficult to navigate and even viewing the amount of materials as a cognitive overload. Both perceptions, lack and overabundance of materials, coaching and supervision, were perceived as a challenge to project work.

7.4.2 Impact of the intervention on TPACK and personal factors

Changes in TPACK, intentions to use digital media, perceived usefulness of digital media, technology acceptance, constructivist understanding of teaching and learning, intrinsic motivation (KIM) and self-efficacy before and after the online-based input on TPACK and the project in a pedagogical makerspace were analysed by two-way repeated-measures ANOVA (see Table 1 for descriptive values of all scales).

Table 7.1

Comparison of the measured constructs at both measurement times as well as between the intervention group (IG) and the control group (CG)

		Time of measurement Pre		**Time of measurement Post**	
		M	SD	M	SD
TPACK	IG	2.63	.46	2.96	.4
	CG	2.8	.52	2.9	.5
Intention	IG	3.15	.45	3.29	.48
	CG	3.04	.53	3.11	.51
Perceived usefulness	IG	3.25	.4	3.28	.39
	CG	3.31	.42	3.23	.42
TAM2	IG	2.81	.46	2.92	.49
	CG	3.08	.72	3.02	.68
CUTL	IG	2.83	.33	2.84	.36
	CG	3.09	.31	3.07	.35
KIM	IG	3.45	.57	3.62	.66
	CG	3.49	.99	3.5	.86
Self- efficacy	IG	2.99	.36	2.99	.35
	CG	3.17	.43	3.1	.54

The two-way interactions of time (before and after the intervention) and group (intervention group and control group) were significant for the factors TPACK (RQ3) and TAM (RQ4). For the TPACK factor, only prospective teachers in the IG had a significant TPACK increase in comparison to the CG, $F(1, 140) = 8.21$, $p = .005$, $\eta^2_p = .05$. Similarly, technology acceptance increased over the course of the intervention only for the IG, $F(1, 140) = 4.14$, $p = .044$, $\eta^2_p = 0.03$. The factors intention to use digital media and motivation were only significant with respect to the main effect of time; $F(1, 140) = 4.01$, $p = .047$, $\eta^2_p = .03$ for KIM and $F(1, 140) = 6.02$, $p = .015$, $\eta^2_p = .04$ for intention. For KIM, the twofold interaction failed to reach significance, $F(1, 140) = 3.5$, $p = .062$, $\eta^2_p = .03$.

To analyse which of the measured constructs contributed significantly to the increased TPACK, a multiple regression analysis was conducted with the independent constructs before the intervention as predictors and the dependent variable TPACK after the intervention. We did not assess any demographic variables since it was not expected that prospective teachers would bring relevant ones based on the curriculum or that they would predict TPACK. In addition, no variables were controlled in the multiple regression analysis. The

analysis showed an adjusted R^2 = .23 and revealed TPACK before the intervention (β = .42, p = .003, f^2 = .13) to be a significant factor with a medium effect.

7.5. Discussion

The purpose of the study was to identify prospective teachers' challenges encountered while working in a pedagogical makerspace on media projects. Moreover, we sought to identify the coping strategies they found to reduce these challenges. In addition, the study examined how working in a pedagogical makerspace affects prospective teachers TPACK and attitudes about problem-based and project-based learning environments and the use of digital media in the classroom.

7.5.1 Qualitative Results

Successful projects in digitised working environments are characterised by good self-organisation of teams with equal group members (Geramanis & Hutmacher., 2020). The prospective teachers in our study had to organise themselves during their project work in a pedagogical makerspace. We observed challenges (cf. RQ1) at all organisational levels (framework, taskwork, teamwork, individual), some of which considerably affected the work process. In particular, the prospective teachers found it difficult to define project goals and outline a project vision, to exchange relevant information, to ask for support, to discuss problems openly, to deal with timing and outcome expectations. They discovered effective coping strategies (cf. RQ2) mainly on the taskwork level where they were able to develop suitable workflows and switched more or less intuitively to more agile forms of project work. On the other levels, they endured difficulties rather than seeking ways out.

One important insight for the prospective teachers was that they had no opportunities for project-oriented work prior to their project in the pedagogical makerspace, nor had they received any qualification that involved organising collaborative projects during their studies. Due to the multitude of challenges expressed and the lack of problem-solving strategies at the framework and teamwork levels, the prospective teachers requested to provide learning opportunities related to project organisation before or accompanying their work.

The lack of technological knowledge presented another challenge to the prospective teachers. Intensive involvement with different hardware and software absorbed a substantial amount of time and put them under time pressure. The support structures consisted of online materials, coaching and supervision and were experienced differently. While some would have liked more support, others were overwhelmed by the abundance of online materials. To address both perceptions, it appears to be reasonable to preselect materials for each project to achieve a better fit and to tailor the materials even more to the needs of the groups.

It turns out that the analysis of prospective teachers' project work in the makerspace on the basis of a model for the organisation of work processes in the digital world (Germanis & Hutmacher, 2020) helps to describe their challenges in a more detailed way and thus contributes to clarifying the learning processes in a makerspace. This will help to derive recommendations to guide making in university education as well as in the classroom (cf. Heredia & Tan, 2021).

During the project, the prospective teachers intensively discussed to what extent projects and the knowledge they learned could be applied to school. This result gives insights into which topics should be chosen for the projects: Prospective teachers, similar to in-service teachers, view their own learning processes under the filter of transferability to the classroom (Lipowsky & Rzejak, 2017). This finding underscores the importance of considering the dual use of the learning content for teaching at the university and at school in such a way that the prospective teachers view the work on the projects as meaningful ("pedagogical doubledecker").

7.5.2 Quantitative Results

The quantitative results show that the predominantly self-directed work in a pedagogical makerspace in combination with online presented materials and supervision within the context of the course led to a large increase in TPACK (cf. RQ3), although numerous challenges were perceived in the project process. The interviews revealed that prospective teachers had to spend substantial time, especially on building up the necessary TK. TPACK before the project was the only significant predictor of the increase in TPACK. This finding underscores the importance of repeated learning possibilities to foster TPACK during teacher education (cf. Tondeur et al., 2012).

In the personal domain, the intention to use digital media, technology acceptance and motivation to work with ICT grew significantly, albeit with a smaller effect (cf. RQ4). These variables refer to the action disposition of indeed using digital media later in teaching and involved change in favour of it. These results confirm findings of for instance Teo and van Schaik (2012), Scherer and colleagues (2018) or Vogelsang and colleagues (2019) which conclude that to develop positive attitudes towards technology, comprehensive experience and the chance to use them is shifting attitudes positively. We suggest that the open culture of failure, the reciprocal support and the value-free space of a makerspace adds to these results (cf. De Vaujany & Aroles, 2021; Yamamoto, 2021). The reversed effect had also been shown: a positive attitude towards technology leads to successful working in the makerspace (Cohen, 2017).

There were no significant changes in prospective teachers' perceived usefulness of digital media, self-efficacy or constructivist understanding of teaching and learning. This result is surprising considering the numerous difficulties expressed regarding project organisation and implementation. One explanation of this result could be that the experience of working in a constructivist learning environment could have led to a deeper understanding of teaching and learning in such an environment. As a result, positive and negative consequences on CUTL may have balanced each other out. Similar effects are conceivable with respect to the factor self-efficacy. Nevertheless, attention should be given to facilitating the organisation of projects in the future via suitable support measures.

7.5.3 Implications for the practice

Working in a pedagogical makerspace contributes to the improvement of both TPACK and attitudes significant to the use of ICT in class, such as intentions and motivations to use digital media. Thus, we infer that this strongly constructivist learning environment is a useful addition to the portfolio of higher education learning environments through which prospective teachers can acquire ICT-related knowledge, advance their attitudes towards ICT use and their readiness and ability to use project-based and problem-based learning environments in their own teaching.

On the other hand, project work poses challenges that could be addressed to the levels of framework, taswork, teamwork and the individual level. Moreover, it could be illustrated that the prospective teachers find solutions to their challenges almost exclusively at the taskwork level. We conclude that the prospective teachers need support to cope with the challenges that are not overcome. For the work in the pedagogical makerspace, the learning environment should at least provide basic knowledge of the organisation of projects, but also of different project types that include agile methods in order to avoid setbacks. There is a risk that setbacks are regarded as failure and hence associated with frustration and negative emotion (e.g., Jones et al., 2017; Vongkulluksn et al., 2018) which could ultimately lead to the avoidance of problem-based and project-based learning as the prospective teachers always interpret their activity in the light of its usability in their own teaching.

Cooperative and recurring reflection rounds could also create anchor points and thus create a binding nature that gives security in the course of the project, helps to identify gaps, misconceptions (Cohen et al., 2017) and stimulate self-reflection with regard to TPACK.

7.5.4 Limitations

Due to the coronavirus epidemic in spring 2020, only a smaller number of prospective teachers than originally planned were able to carry out their projects in the makerspace on-site. Therefore, the currently available sample is limited and will be expanded in the forthcoming semesters.

In addition, the COVID-19 epidemic has quickly made the need for teachers with ICT-skills tangible for everyone. Not only school teachers, but also prospective teachers suddenly had to deal with digital media continuously due to online teaching. These experiences with technologies should be collected in future studies and included as a controlled variable in regression analyses. In addition, further personal characteristics can be collected in the future (e.g., interest, previous experience, willingness) and examined with regard to the influence on TPACK.

7.5.5 Conclusions

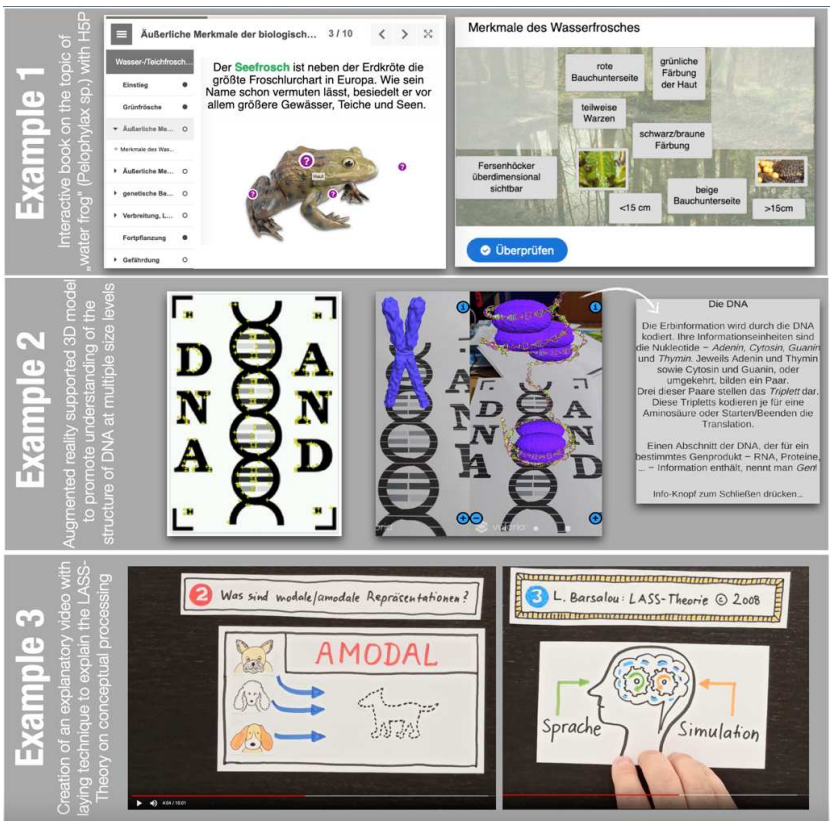
The present study showed that project work in a pedagogical makerspace poses a learning environment to foster TPACK and technology acceptance for prospective teachers. The TPACK increase depends on the TPACK before the intervention. Other variables, such as attitudes towards ICT or motivation to work with ICT, also improved and could be regarded as an action disposition to implement ICT in class. The work in the makerspace did not lead to changes in constructivist attitudes towards teaching and learning.

Numerous challenges for working on projects in a makerspace were identified on the levels of framework, taskwork, teamwork and the individual level. The challenges identified at the different levels can help lecturers to organise the work in the makerspace more appropriately and to develop specific support. Without external support the prospective teachers develop effective coping strategies for the perceived challenges especially on the taskwork level whereas hardly any solutions are found at the other levels. At the framework level, for example, the solutions are limited to the request for materials tailored more closely to individual needs and to better preparation for the organisation of project work.

7.6 Appendix

Appendix A

Examples of teaching learning materials created in the makerspace



Appendix B

The university's makerspace is made up of four areas focusing on collaborative, creative and innovative design and production of teaching-learning materials

Appendix C

Overview of the scales and example items used

Construct	***Number of Items***	***Example Item (translation)***	***Likert scale***	***Literature***
TPACK	*13 items*	*I can teach in a way that appropriately combines science-related subject content, digital media, and teaching approaches.*	*4-point Likert scale of 1 (strongly disagree) to 4 (strongly agree)*	*adapted from Schmidt et al. 2009; Handal et al. 2013*
Intentions to use digital media	*5 items*	*In the future, I will look for meaningful uses for digital media in my teaching.*	*4-point Likert scale of 1 (strongly disagree) to 4 (strongly agree)*	*Bleschke et al. 2001*
Perceived usefulness of digital media	*9 items*	*I very much appreciate the added value that comes from introducing digital media into the classroom.*	*4-point Likert scale of 1 (strongly disagree) to 4 (strongly agree)*	*adapted from Braak et al. 2004*
Technology Acceptance (TAM 2)	*9 items*	*I find it easy to use digital media to execute exactly what I want.*	*4-point Likert scale of 1 (strongly disagree) to 4 (strongly agree)*	*Holden & Rada 2011*
Constructivist understanding of teaching and learning (CUTL)	*12 items*	*Students learn best by discovering ways to solve problems themselves.*	*4-point Likert scale of 1 (strongly disagree) to 4 (strongly agree)*	*Seidel et al. 2003*
Motivation (KIM)	*12 items*	*I find it very interesting to utilize digital media.*	*5-point Likert scale of 1 (strongly disagree) to 4 (strongly agree)*	*Wilde et al. 2009*
Self-efficacy regarding the use of digital media	*9 items*	*Generally, I can do any task I want with a digital medium, even if no one is there to tell me what to do.*	*4-point Likert scale of 1 (strongly disagree) to 4 (strongly agree)*	*Holden & Rada 2011*

Appendix D

Reliabilities (pre and post) of the scales used

Construct	***Cronbach's alpha Pre***	***Cronbach's alpha Post***
TPACK	*α = .84*	*α = .86*
Intentions to use digital media	*α = .78*	*α = .8*
Perceived usefulness of digital media	*α = .76*	*α = .76*
Technology Acceptance (TAM 2)	*α = .9*	*α = .91*
Constructivist understanding of teaching and learning (CUTL)	*α = .68*	*α = .76*
Motivation (KIM)	*α = .93*	*α = .93*
Self-efficacy regarding the use of digital media	*α = .74*	*α = .77*

Appendix E

Categories related to successful project development supplemented with examples about the perceived challenges by teachers.

Category	***Elements defining a successful project progress***	***Examples of the teachers' quotes taken out of interview transcripts***
Framework *(according to Geramanis et al., 2020)*	*Clear, common defined goals for the whole team; Clear role assignment (find and define roles); Determining procedures; Questioning norms for effectiveness*	*"at the beginning everything was turbulent ... somehow everyone had a different idea, everyone didn't know what to do now anyway"*
Taskwork *(according to Geramanis et al., 2020)*	*Providing motivating goal picture and agenda; Finding appropriate working methods (e.g., regular meetings, review of goals); Self-organised feedback sessions for self-diagnosis; Requesting expert coaching; Good communication and information sharing; Development of a common language in heterogeneous groups*	*"Maybe we could have created an interactive video together in the seminar (...). Because we had a bit of a hard time with it at the beginning, although there was also an explanatory video and a manual. (…), but then when we tried it out, I slowly understood it."*
Teamwork *(according to Geramanis et al., 2020)*	*Open and trusting atmosphere; Preparedness for goal-oriented constructive conflict resolution; Cooperative assistance and mutual teaching of skills*	*"more or less I planned the whole thing on my own, because my partner was (...) a bit lazy or disorganized or just didn't know (...) and after I was done I wrote to him and he said "huh what do I have to do anyway?". (...) At some point he delivered something that probably took a sixth of my time."*
Requirements on the individual level *(Inductively obtained)*	*Available and useful pre-experience and knowledge (e.g., TK, PK, CK, TCK, TPK); Withstanding time and performance pressure; Fit between expectation and available competence*	*"Well, I don't know anything about [digital] media, I have no idea what to expect, um, I think the biggest problem will actually be to get used to it, so I don't think it's the process, but this (...) what do you call it - reading the manual."*
Necessary resources *(Inductively obtained)*	*Resources and support structure (e.g., self-learning materials, teacher staff, coaching, supervision)*	*"it would have been helpful to have had some more staff expertise here, someone who already knew the subject well."*

Appendix F

Core requirements of self-organising project teams, prospective teachers´ perceived difficulties and problem-solving strategies

Core requirements for self-organised teams	**Prospective teachers´ perceived difficulties**	**Problem-solving strategies of prospective teachers**
Framework		
Clear, common defined goals for the whole team	Difficulties in defining appropriate goals (having a vision) for the team	
Clear role assignment (find and define roles)	Role assignment	
Taskwork		
Providing motivating goal picture and agenda		
Finding appropriate ways of working together (e.g., regular meetings, review of goals)	Finding appropriate working method for meaningful and useful planning work	Defining working methods (e.g., working asynchronously; prototyping; experimenting; tinkering) Get an overview Defining sub-tasks and division of work Documentation of findings and progress Adjustment of project goals
Good communication & information sharing	Good communication & information sharing	
Development of a common language in heterogeneous groups		
Self-organised feedback sessions for self-diagnosis	Schedule feedback sessions	Conducting feedback sessions and requesting peer-feedback
Requesting expert coaching	Requesting and finding experts for technical problems	Requesting expert feedback and coaching
Teamwork		
Open and trusting atmosphere	Creating an open and trusting atmosphere is made more difficult by the following: Misunderstandings (because problems and deficits are not addressed openly) Low motivation and interest	

	Missing common workspace (especially because of Corona pandemic)	
Preparedness for goal-oriented constructive conflict resolution	Working out compromises	
Cooperative assistance and mutual teaching of skills		Cooperative assistance

Requirements on the individual level		
Knowledge	Lack of pre-experience and knowledge (e.g., TK, PK, CK, TCK, TPK)	
Working under time and performance pressure	Working under pressure: Time management (failure and stress)	
Deviation from supposed ideals	Fear of failure and pressure to perform well	

Necessary resources		
Support structure and resources (e.g., self-learning materials, teacher staff, coaching, supervision)	Worry about missing resources (e.g., support structure like self-learning materials and teacher staff) vs. overload due to oversupply	Requesting specific resources (self-learning materials; technical introduction) Requesting project management specifications Self-organizing better equipment (hardware and software)

8. *Studie 3:* How to successfully organize a media project in a pedagogical makerspace for student teachers

Max, A.-L., Lukas, S., & Weitzel, H. (2021). How to successfully organize a media project in a pedagogical makerspace for student teachers. *Proceedings of the INTED*, 6511–6517. https://doi.org/10.21125/inted.2021.1301

Der Artikel wurde im Tagungsband der *International Technology, Education and Development Conference 2021 (INTED)* als Bestandteil der digitalen IATED-Bibliothek (International Academy of Technology, Education and Development) in einem Blind-Peer-Review-Verfahren publiziert und adressiert die zweite, dritte und vierte Forschungsfrage:

(2) Welchen Herausforderungen nehmen angehende Lehrkräfte bei der Arbeit im pädagogischen Makerspace wahr?
(3) Welche Problemlösestrategien werden zur Bewältigung der Herausforderungen im Makerspace entwickelt?
(4) Durch welche Maßnahmen können die Herausforderungen der angehenden Lehrkräfte im pädagogischen Makerspace adressiert werden?

In *Studie 3*[4] des vorliegenden Dissertationsvorhabens liegt der Fokus, neben der Identifizierung von wahrgenommenen Hürden und Problemlösestrategien, auf der Entwicklung eines Prozessmodells, bestehend aus traditionellen und agilen Elementen des Projektmanagements. Damit können Projektgruppen ihr Medienprojekt im pädagogischen Makerspace zukünftig angepasst an bestehende Voraussetzungen besser strukturieren.
Die anteiligen Beiträge aller Mitautoren der Studie 2 sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

	Autor	Konzept-ualisierung	Entwicklung Messinstrumente	Datenerhebung/ -auswertung	Schreiben	Überarbeitung/ Redaktion
1.	Anna-Lisa Max	70%	70%	80%	60%	20%
2.	Sarah Lukas	15%	10%	10%	20%	40%
3.	Holger Weitzel	15%	20%	10%	20%	40%

[4] Formatierung der Abbildungsbeschriftung und Zitationsstil weichen in dieser Studie von den der Dissertation zugrundeliegenden APA7-Richtlinien ab.

8.1 Abstract

Pedagogical Makerspaces have been inspired by the maker movement which has experienced a new upswing with the magazine MAKE, the digitalisation of the society and the social media since around 2005 (Martin, 2015). Making is considered a purely intrinsically motivated process. Such motivated activities have been associated with successful learning due to a deeper examination with the learning topic (Ryan & Deci, 2000).

The work in our pedagogical makerspace CoLiLab (Lukas, Müller, Huwer, Drüke-Noe, Koppel, Rebholz, Stratmann, Theilmann & Weitzel, 2019; Max, Schmoll, Uhl, Huwer, Lukas, Mueller & Weitzel, 2020) begins with the postulation of an open task or problem, which the students choose based on their subject-specific interests. The work process itself usually takes place in small groups of two or three students using an individual work pace. It is highly interactive and cooperative. Continuous feedback of peers or lecturers supports this process. Under the described conditions described, pedagogical makerspaces represent ideal learning environments for initiating learning processes with a constructivist structure (e.g., Bevan, 2017; Duffy & Cunningham, 1996).

However, the outlined work process poses challenges for students on several levels which, according to Geramanis (2020) can be divided into the categories of *Framework*, *Taskwork* and *Teamwork* which can hamper the successful completion of making projects in the Makerspaces.

At the conference, we would like to present how the use of agile project management methods (based on SCRUM, (Sutherland, 2019)) can support students of science teacher education in organising their projects.

Keywords: Media project, pedagogical makerspace, student teachers, agile project management

8.2 Introduction

Many different kinds of project formats play a central role in both, the professional and educational daily life. A project is a complex task with a specific goal which can be worked on with many participants or alone. In the educational field, learners often work together regularly on a goal in order to acquire different skills and knowledge. The complexity of the task can vary in a huge range. This approach is in line with constructivist learning theories or experiential learning (e.g., Bevan, 2017; Duffy & Cunningham, 1996; Kolb, 1984). Kolb (1984) states that optimal learning occurs in a cycle which progresses through concrete experience, reflective observation, abstract conceptualisation and active experimentation. Reflection plays a fundamental role in this process (see also Cano & Lidón, 2011). Learning by this cycle leads to forming a mental model of the learning topics. Working for the first time on a complex

project is often challenging. It is therefore helpful for learners to get support and mentoring by their teachers and to receive input in project management methods (Cano & Lidón, 2011). Project definition is a crucial factor for successfully fulfilling a project. For instance, the Logical Framework Approach (LFA, Örtengren, 2016) provides nine steps following a goal-oriented planning process: 1. analysis of the project context, 2. stakeholder analysis, 3. situation analysis, 4. objectives analysis, 5. plan of activities, 6. resource planning, 7. measurements of objectives, 8. risk analysis and risk management, 9. analysis of the assumptions. Usually, these methods are not known to a majority of students. Nevertheless, they manage to successfully complete various projects in the course of their studies. However, in order to promote successful project management and not just enhance subject-specific skills, it is important to assist students in their project-based learning process. The aim of this study is to evaluate at which points students feel particularly challenged and where correspondingly more in-depth support by teachers is needed.

8.3 Project Management

The goal of a project is to provide strategic solutions to address complex problems and tasks (Bemmé, 2020). When implementing projects in the field of education, students often study traditional pedagogical project methods, e.g. according to Frey (2012). However, in the corporate environment, agile project methods have gained in importance in recent years. Agile methods enable project groups to work more flexibly and dynamically on their products and, for example, to react quickly to changing requests and resource constraints without passing through the complete planning process again. Agile project methods shift their focus away from a time-consuming and detailed planning phase towards an extensive implementation process with short iteration cycles (Bemmé, 2011). Phases of prototype development alternate with analysis and reflection phases of preliminary results. As a consequence, the project team can react at short notice to changing requirements or arising problems (ebd.). Rapid initial implementation and steady production characterise agile workflows (Angermeier, 2018). In contrast to a traditional approach, milestones are not fixed right at the beginning of a project but can be adapted dynamically to the goal, content and composition of the project team. This way, agile projects therefore imply alternative workflows compared to traditional project methods (see table 8.1, based on Bemmé, 2011; Thun, 2014). However, these alternative and dynamic workflows require appropriate tools to manage the projects.

Table 8.1

Elements of traditional and agile project methods.

traditional	agile
➔ Strong focus on project planning phase ➔ Preparation of a differentiated project outline and project planning with a fully comprehensive description of the process, function and results ➔ Stringent guidelines for the process ➔ Determination on a project plan with fixed milestones ➔ Metainteraction and interim meetings as well as detailed feedback primarily at the end of the project *** + Enables planning security for a deadline + Provides better control for the teacher (top down) - Takes away comprehensive personal responsibility & self-determination - Less flexibility after planning	➔ Minimal planning intensity at the beginning, thus better adaptation to new circumstances, preconditions and demands ➔ Concrete idea about form and execution of the final product arises during the process ➔ Rapid first realization of a prototype ➔ Main focus on the development process with several, short-term iteration cycles ➔ Regular reflection sessions based on several in-process results *** + Promotes personal responsibility, self-discipline and self-controlling ability of each team member + Improved flexibility and dynamic adaptation in terms of management and control +/- Requires increased risk and quality management +/- Requires intensive and regular planning and project meetings +/- Requires collectively accepted rules of the game +/- Requires improvisation if necessary - Allows less control for the teacher (bottom up)

8.4 Pedagogical makerspace CoLiLab

Makerspaces have evolved from the maker movement in which creative activities like, creating and do-it-yourself projects, making, upcycling, self-created problem solving are central. The movement is loosely connected through digital social networks or magazines such as MAKE, but also through open workspaces where people can meet to work on projects collaboratively and have access to a large variety of different (often expensive) tools (e.g., Martin, 2015; Rosenfeld Halverson & Sheridan, 2014). The potential of makerspaces for learning and educational purposes with respect to problem-based or project-based learning settings have been recognized and widely accepted within the sector of education (González-González & Arias, 2018; Kurti et al., 2014; Martin, 2015). The work in a pedagogical makerspace is highly cooperative and interactive and constant feedback is secured. Personal factors like self-efficacy, motivation, and personal responsibility can be fostered in these problem-based, collaborating and self-directed learning environments (Kurti et al., 2014). It is also suggested that personal factors like growth mindset (in contrast to fixed mindset) and grit interact with cycling through the processes of innovation, iteration, and creation (e.g., Steier & Young, 2016). The modern makerspaces are equipped with a variety of digital

technologies (e.g., 3D printers, vinyl cutters, microcontrollers and robots, video and sound editing programs, vector and 3D modelling programs). Interacting with these tools and technologies are therefore fostering ICT competences of the learners (Lukas, Max & Weitzel, 2020).

Teachers are considered key players for the integration of digital technologies in schools (Davis, Eickelmann & Zaka, 2013). Hence, qualification of digital literacy is a central task of teacher education (van Ackeren et al., 2019), which was addressed in Germany for all federal states with the strategy "Education in the Digital World" (KMK, 2016). Following the KMK strategy, states aim to qualify future teachers for the adequate use of digital technologies already during university education by implementing in the curriculum.

A central place at our university where student teachers learn ICT related competencies is the pedagogical makerspace CoLiLab (Lukas et al., 2019, 2020). In this makerspace, peers carry out at least one project in which they develop digital learning opportunities for peers or for the classroom. The practical work in the makerspace is integrated into a media-didactic module, which consists of an accompanying seminar and a set of self-learning materials. We have developed a competence model as a basis for the media didactic module and the work in the makerspace. For this, we have integrated competences from internationally recognised models for media literacy for student teachers (TPACK model, DigComp 2.0, DigCompEdu, (Max et al., 2020b).

The work in the pedagogical makerspace CoLiLab has four objectives (Max et al., 2020b). (1) Students are given the means to develop and produce digital media. (2) They get the opportunity to test their products with peers in the makerspace itself or at school, and (3) to revise and optimise the quality of their product iteratively. (4) They have the chance to carry out a project as independently as possible and to collaborate with other students from the same or other disciplines.

These objectives pose several challenges for the students: To work in makerspaces, students need to acquire basic technological and media-didactic knowledge. Moreover, they are required to independently formulate their own project topic, structure the project course and coordinate the project with their peers. Although learning processes in makerspaces are theoretically discussed in various ways, a profound basis of empirical studies is still missing. In the study at hand, we aimed to explore the challenges students experience with regard to project management and cooperation with fellow students while working in a pedagogical makerspace.

8.5 Methodology

8.5.1 Instruments to identify challenges and problem-solving strategies

In order to analyse challenges regarding project management and collaboration and students' coping strategies, semi-structured interviews were conducted. The interviews (N = 7, 14 interviews) took place at the beginning and at the end of the project. They were audiotaped, completely transcribed and analysed by means of a computerized qualitative content analysis (Kuckartz, 2016). The categories used to evaluate the interviews were deductively derived on the basis of (Geramanis, 2020).

Geramanis describes good self-organized equal teams as a necessary precondition for a successful workflow in a contemporary digitized working environment. In this context, self-organization among the team members is given when the social system organizes itself autonomously. The accompanying aspects self-control and self-responsibility can have a positive influence on the motivation and productivity of the group. According to Geramanis (2020) the organization in the group refers to the three main levels *Framework*, *Taskwork* and *Teamwork* (table 7.2.). At each level, organizational or collaborative project management challenges can arise during the process of project work.

Table 8.2

Categories regarding cooperative structures and TPACK.

Levels	Definition
(1) Framework	Defining common goals; clear allocation of roles; determining procedures; questioning norms for effectiveness; requesting expert coaching
(2) Taskwork	Good communication; finding appropriate working methods, regular meetings; review of set goals; feedback sessions for self-diagnosis
(3) Teamwork	Open and trusting atmosphere; cooperative assistance; mutual teaching of skills; preparedness for goal-oriented constructive conflict resolution

8.5.2 Results

A major difficulty which students face while working on the project is their perceived uncertainty about the project goal. Initially, the goal was often chosen too ambitiously in relation to time constraints and the students' technical skills. As the students had rather low technological knowledge, they found it difficult to identify potential technical obstacles accompanying their aspired goal as well as assessing subsequent side effects. As a consequence, students often had to adjust their project goals in the course of their work. Depending on the communication and cooperation structure in the group, the process of adapting the project goal was perceived as more or less positive and, in the worst case, could

lead to a strong decrease in the motivation of individual group members. Even if project goals were chosen too ambitiously, all groups were able to adapt them, mostly by requesting regular feedback from instructors or competent peers.

During the project, the students spent a lot of time on defining work processes sufficient for their purpose. The methods ranged from the playful development of prototypes without consulting external resources to intensive upstream research into sources, which was then transformed into a detailed development process. Groups taking the latter approach faced the risk of not reaching the project goal within the given time frame.

At the organisational level students were able to define subtasks, assign these to group members and develop opportunities for mutual support (table 7.3.).

Table 8.3

Perceived difficulties and problem-solving strategies.

	Perceived difficulties	**Problem-solving strategies**
Framework	Defining goals (having a vision); assigning roles; occurring costs; expenditure of time (exhausting and demotivating); worry about missing resources (e.g. support system) Lack of TK; fear of failure, pressure to perform well	Adjustment of project goals Requesting expert or peer feedback
Taskwork	Time management Working out compromises, finding experts for technical problems	Context and tool analysis, defining working methods, documentation of findings and progress Feedback rounds, meetings
Teamwork	Lack of cooperation due to low interest and motivation of group members	Defining sub-tasks, division of work, mutual assistance

8.6 Discussion

The purpose of the study was (a) to assess challenges students experience in project management and cooperation with fellow students during their work on a project in a pedagogical makerspace and (b) to characterise problem-solving strategies were developed to overcome said challenges in order to minimise future obstacles. The results show that students face challenges at all three levels: *Framework*, *Taskwork* and *Teamwork*.

At the *Framework* level, students find it difficult to define goals independently. Moreover, setting goals requires a considerable amount of time. The students often define a project goal that is too ambitious, especially due to the lack of technological knowledge. As a consequence, they later have to adjust the goal laboriously and with the involvement of expert-peers outside the project team. Here, the Framework level, the integration of agile elements could contribute to reducing the challenges. In contrast to the traditional project

method, the final idea of the project does not have to be fixed at the beginning when using agile methods, but instead is steadily developed and re-adjusted in the course of the work in several smaller iterative cycles. These iterations are also easier to keep under control in terms of their timing (Bemmé, 2011).

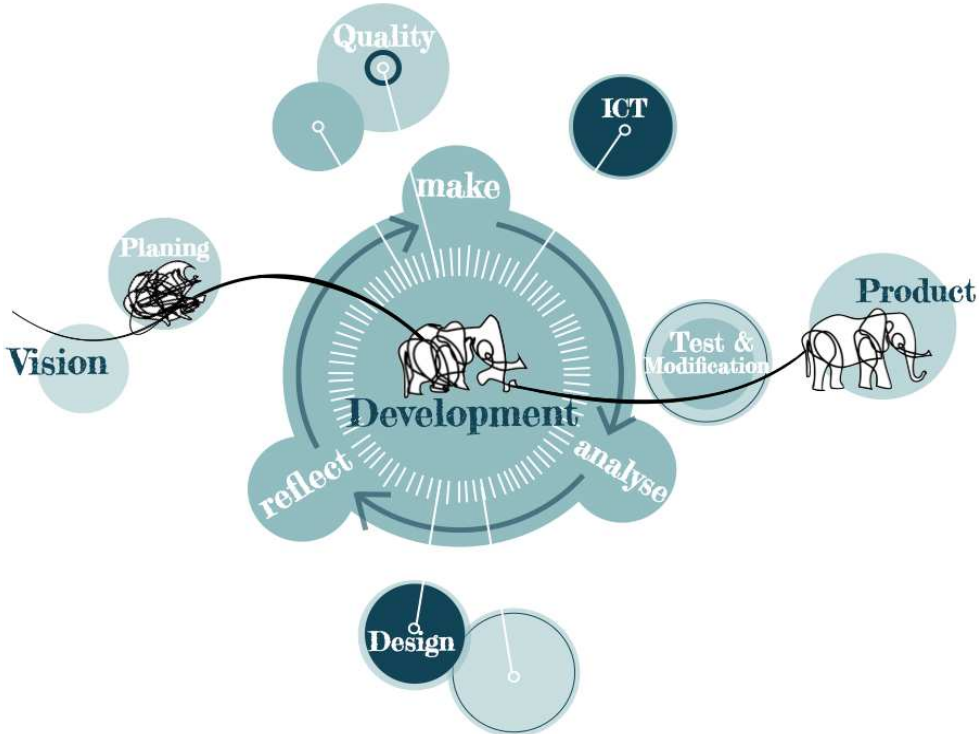
Time management is one of the central challenges of students at the *Taskwork* level. The students were mostly oriented towards traditional project methods. As a result of their traditional approach, some of the students spend a lot of time on very detailed planning before starting the development process. These students run the risk of not successfully completing their project in the given timeframe available. In this case an agile approach, requiring rapid prototyping and iterative development of prototypes could be helpful. Some interviewed students unconsciously choose an agile approach by leaving their project goal vague and moving quickly into prototyping.

The results at the level of *Teamwork* are heterogeneous. Some groups state that they worked together very productively. These groups, for example, very quickly defined sub-tasks, distributed tasks to the individual group members and exchanged information about their progress in regular meetings. Other groups had difficulties implementing cooperative structures. One possible reason for the difficulties of this second category could be that they rarely consulted with each other and offered each other little support. For the group facing cooperation issues agile methods can lessen these deficiencies. These methods entail regular meetings before all participants must have completed their tasks.

In order to meet the challenges that students face in project management and cooperation, we have developed a process model that combines the strengths of traditional and agile project methods for media projects in teacher education (figure 7.1.).

Figure 8.1

Process model combining traditional and agile elements of project management in a pedagogical Makerspace. The project process starts with the elaboration of a vision and a shortened project plan along the one-liner through the central design and development process to a finished product.



Time and content-related focus is represented by the size and colour intensity of the circles respectively. Students start with the development of a project vision with initial project goals. The planning phase is greatly shortened and limited to the development of initial ideas. Most of the time in the project is spent on developing the original ideas in an iterative process in several cycles, going through the steps of making, analysing and reflecting again and again. In their creative process, students are assisted by self-learning materials and support from teachers. The function of the support structures is to provide appropriate scaffolding options and thus to respond to the different needs of the students. In so far as the support structures are available as options, but are not required to be used, the students are given the freedom to work as interest-led and creatively as possible (Kolb, 1984). In the last step of the project, the product is finalised and made available to the target group, for example as a learning opportunity.

8.7 Conclusions

The results of the interview evaluation show that the teacher students currently tend to structure their projects in a traditional way. This approach leads to challenges in project management and cooperation structures depending on the individual team members and the

composition of the groups. Some of the groups are able to solve these challenges intuitively on their own, while other groups are not capable of doing so, and thus there is a risk that the projects will not be successfully completed.

We draw two consequences from these findings for future work in the makerspace CoLiLab:

1. The student teachers are not familiar with project methods from their previous studies and consequently have little or no competence in structuring and conducting projects. Their approach to the projects is therefore unsystematic and largely left to the random composition of the group. In order for the students to be able to work on their projects successfully, it seems sensible to impart at least basic knowledge about project work in advance of the projects.

2. Technically designed projects, such as those expected to acquire ICT-related knowledge, are particularly challenging for student teachers because they have incomplete technological knowledge and set their goals too high to begin with. Incorporation of elements of agile project methods into students' work process have the potential to support students in defining and adapting their goals more quickly. They can thus contribute to a more successful completion of the projects.

8.7.1 Limitations

Due to the Corona epidemic in spring 2020, only a smaller number of students than originally planned were able to carry out their projects in the CoLiLab. Therefore, the currently available sample is limited and will be expanded in the forthcoming semesters.

9. *Studie 4*: The relationship between self-assessment and performance in learning TPACK – Are self-assessments a good way to support preservice teachers' learning?

> Max, A.-L., Lukas, S., & Weitzel, H. (2022). The relationship between self-assessment and performance in learning TPACK: Are self-assessments a good way to support preservice teachers' learning? *Journal of Computer Assisted Learning (JCAL)*, 1–13. https://doi.org/10.1111/jcal.12674

Der Artikel wurde im *Journal of Computer Assisted Learning (JCAL)* in einem Double-Blind-Peer-Review-Verfahren publiziert und adressiert die fünfte, sechste und siebte Forschungsfrage:

(5) Können angehende Lehrkräfte ihr TPACK durch die Durchführung eines Medienprojekts in einem pädagogischen Makerspace verbessern?
(6) Inwieweit sind die Ergebnisse der verschiedenen TPACK-Messverfahren vergleichbar?
(7) Inwieweit eignen sich TPACK-Skalen zur studentischen Selbstevaluation?

In *Studie 5*[5] des vorliegenden Dissertationsvorhabens wird untersucht, ob das komplexe TPACK überhaupt erfasst werden kann und wie sinnvoll ein Rückschluss der gemessenen TPACK-Selbsteinschätzung auf die eigentliche TPACK-Performanz ist. Dafür werden die Daten der Selbsteinschätzung mit den Ergebnissen des Leistungstests trianguliert[6].

	Autor	Konzept-ualisierung	Entwicklung Messinstrumente	Datenerhebung/ -auswertung	Schreiben	Überarbeitung/ Redaktion
1.	Anna-Lisa Max	60%	70%	50%	60%	20%
2.	Sarah Lukas	20%	20%	40%	20%	40%
3.	Holger Weitzel	20%	20%	10%	20%	40%

[5] Formatierung der Abbildungsbeschriftung und Zitationsstil weichen in dieser Studie von den der Dissertation zugrundeliegenden APA7-Richtlinien ab.

[6] In Abbildung 9.4 der *Studie 4* liegt ein Fehler vor: Die Farbcodierung der Legende wurde versehentlich vertauscht; somit handelt es sich bei den dunklen Balken um Prä- und bei den hellen um Post-Werte.

9.1 Abstract

Background: To purposefully integrate information and communication technologies (ICT) into contemporary teaching, teachers must have complex technological, pedagogical and content-related knowledge (TPACK). TPACK could be fostered through diverse learning environments such as working in a Makerspace as part of university teacher training. The development of TPACK in (prospective) teachers depends on how effectively they can assess their own knowledge and adapt their own learning process. Self-assessment tools can be used to identify and assess their individual TPACK.

Objectives: The study presents data on TPACK development through project work in a Makerspace. It examines the consistency of self-assessment and performance tests in relation to TPACK and discusses the applicability of self-assessment scales to self-regulated learning.

Methods: TPACK self-assessment takes place among preservice teachers (N = 269) in a pre-post design. This is complemented and contrasted with an external assessment in the form of a self-developed performance test (teaching vignettes).

Results: Self-assessment as well as performance test show a TPACK-increase resulting the project work in the Makerspace, with higher performing students benefiting more from the intervention than lower performing students. All students tend to overestimate their TPACK before and after the intervention, with low-performing students overestimating themselves more than high-performing students. Existing TPACK scales can serve as readily available self-assessment tools, but should be complemented by other knowledge assessment measures. Furthermore, depending on the results of the self-assessment, different learning opportunities should be made available so that students with a lower TPACK still benefit from the project work in the Makerspace.

Take Away: Self-assessments accompanying the work in the Makerspace could provide feedback information about TPACK-related knowledge, learning processes and learning outcomes and thus support trainee teachers in structuring their work. For this purpose, it seems necessary to improve the quality of self-assessment to enable reliable reflection on students' own learning process.

Keywords: Preservice science teachers, TPACK, Self-assessment, Performance measurement, STEM Education, Technology in Education and Training, Evaluation

9.2 Introduction

Information and communication technologies (ICT) have the potential to fundamentally transform learning in schools (Becker et al., 2020; Eickelmann & Gerick, 2020). Teachers are key players in this change process as they support new generations to learn the ICT-knowledge necessary to participate in the society in an empowered and self-determined way (Redecker, 2017). Both learning with and about digital media and the successful use of digital technologies in the classroom require teachers to have complex technological, pedagogical and content-related knowledge (TPACK) (Mishra & Koehler 2006). This knowledge should already be promoted in a comprehensive and targeted manner within university teacher education (Becker et al., 2020; KMK, 2019).

TPACK development of (preservice) teachers has been assessed in numerous studies in different domains over the last years (e.g. Handal et al., 2013; Kaplon-Schilis & Lyublinskaya, 2019; Lee & Tsai, 2010; Willermark, 2017). These studies have largely used measurement instruments that require students to self-assess their knowledge. Such self-assessments are increasingly being used outside of academic studies to enable preservice as well as in-service teachers to assess their media-related knowledge and skills and, as a result, to take responsibility for their process of professional development (e.g. Redecker, 2017; Sailer et al. 2021). However, research on TPACK emphasises that self-testing should be complemented by performance tests in order to better understand the domain-specific nature of TPACK and its complexity (e.g. Akyuz, 2018; Graham et al., 2009; Voogt et al., 2013).

This study builds on the aforementioned developments and addresses the question of whether TPACK related self-assessment tests can be used to support (preservice) teachers' self-regulated learning of TPACK.

9.2.1 TPACK as a framework for studying ICT knowledge

TPACK results from the interaction of the knowledge facets technology, pedagogy and content and is understood as necessary to professionally and reflectively select digital media for domain-specific teaching and learning. By adding technological knowledge as a separate knowledge domain to Shulman's (1986) model for describing the knowledge domains constitutive for teachers, the TPACK model takes into account the increasing importance of digital technologies in society and subsequently also in school (Mishra & Koehler 2006). This results in an extended model of the domains content knowledge (CK), pedagogical knowledge (PK) and technological knowledge (TK) and the intersections between those basic knowledge domains, which are referred to as technological content knowledge (TCK), technological pedagogical knowledge (TPK) and technological pedagogical content knowledge (originally TPCK, today mostly abbreviated as TPACK). TK describes knowledge

and skills of current digital technologies. TPK includes knowledge that is necessary to integrate digital technologies appropriately into teaching. TCK represents knowledge of the technologies that are significant for the respective subject area. Finally, TPACK is the conglomerate of all aspects and denotes the knowledge and skills to teach contents of a subject through and by means of digital technologies in a pedagogically appropriate way. Thus, TPACK represents a context-related synthesis of teachers' professional knowledge for teaching domain-specific content through the use of digital technologies (Angeli et al., 2016).

9.2.2 Strengths and weaknesses of self- and external assessments for measuring TPACK

In order to measure TPACK, numerous quantitative and a few qualitative instruments have been established. Quantitative approaches are often based on self-assessments, such as one of the first questionnaires developed by Schmidt and colleagues (2009). Participants are asked to assess their knowledge of TPACK focusing on different technologies. The questionnaire has since formed the basis for many other TPACK measurements (e.g. Handal et al., 2013; Kaplon-Schilis & Lyublinskaya, 2019; Lee & Tsai, 2010; Willermark, 2017). To keep up with the rapid development of digital technologies in teaching several questionnaires partially based on Schmidt et al. (2009) have been developed in recent years, of which only a small number has been adequately and sufficiently specified and adapted to specific technologies, subject content and pedagogical concepts used and their complex interlinking (Njiku, et al., 2020). In terms of the technological domain, often online teaching (Lee & Tsai, 2010) or the use of explanatory videos (Krauskopf et al., 2012) were focused.

The strengths of self-assessments are that they address a wide range of TPACK with a manageable number of items, allow cross-disciplinary standardisation, and can be used quickly and flexibly in a variety of situations (Chai et al., 2016). However, like all measurement methods that are based on self-assessments, they rely on the survey-takers' ability to appraise their knowledge appropriately.

Several authors therefore recommend to supplement self-assessments with external assessments (Graham et al., 2009; Voogt et al., 2013) such as performance tests, e.g. interview procedures or scoring guides analysing lesson plans, lesson observations (Harris et al. 2010), or tests based on classroom situations (vignettes) (Akyuz, 2018; Khoirul Antony & Paidi, 2019; Mouza et al., 2014; Yeh et al., 2014). Performance tests enable a stronger focus on the content and subject-specific characteristics of TPACK and they are closer to teaching practice. However, performance tests are limited to a small content range to be completed within a reasonable test period. In addition, at least two raters are needed to evaluate the

performance in order to counter the sensitivity to subjective influences and to keep objectivity high.

The necessary focus on subject content, technologies and pedagogical settings is only possible through the individual and research context-related development and triangulation of adapted survey instruments, without having to sacrifice the strength of the respective other measurement instrument (Mouza, 2016; Willermark, 2017).

9.2.3 Self-assessment instruments as means for self-regulated learning

Self-assessment is considered an important resource for shaping self-regulated learning (e.g. Andrade & Brookhart, 2016; Panadero et al., 2016). The use of self-assessment instruments tends to correlate positively with performance, albeit with a wide range of effect sizes in both school and university settings (e.g. Falchikow & Boud 1989; Brown & Harris, 2013). Overall, there is a tendency that students who assess themselves more consistently are more effective in their learning process and achieve higher scores in final performance tests (e.g. Dunlosky & Ariel, 2011; van Loon et al., 2013). However, numerous studies report that students tend to overestimate their knowledge (e.g. Falchikow & Bond, 1989; Nowell & Alston, 2007). How consistently learners assess their knowledge is influenced by both learner-specific factors (e.g. age, knowledge, experience with learning processes) and study-specific factors (e.g. domain, self-assessment instruments, learning objectives). Older students seem more capable of assessing themselves than younger students, higher-performing students usually estimate themselves more consistently than lower-performing students.

The type of task used in performance tests has a great influence on the consistency of self-assessment. It is higher for cognitively less demanding tasks than for more cognitively demanding problems such as text tasks that require transfer of knowledge. Rohr (2018), for example, shows a correlation between self-assessment and the quality of processing of text tasks among economics students. Students who assessed themselves as better also performed better in tests than students with lower expectations of their knowledge, speaking for a realistic academic self-concept. But even the stronger students did not succeed in answering text-based tasks adequately - the academic self-concept was contorted in the levels of high performance.

In research on TPACK, the question of whether the use of self-assessment instruments can positively influence the development of TPACK has not yet been addressed. Answers to this question are important from at least two perspectives: (1) Computer-assisted instruments are currently being developed in various places with which preservice as well as inservice teachers are supposed to self-assess the development of their TPACK and other media-related skills (e.g. Mueller et al. 2021; Redecker, 2017; Sailer et al. 2021). The aim of these

tools is to enable teachers to shape their media-related learning processes, for example by selecting courses relevant to them. So far, there is a lack of studies on the use of self-assessments as tools for self-regulated learning to promote TPACK. (2) TPACK is a complex construct difficult to grasp. To design the preservice teachers' self-regulated learning processes with acceptable effort, it therefore seems reasonable to investigate to what extent existing self-assessment instruments can support formative self-assessment.

9.2.4 Purpose of the study

The purpose of this study is to identify whether scales developed to measure TPACK in scientific studies can also be applied to self-directed learning of TPACK in preservice teacher education and professional development (RQ). To answer the main research question, we ask if TPACK changes triggered by an intervention can be captured by a self-assessment scale and a self-developed performance test (Max, et al., 2020a) (RQ1), how accurate the preservice teachers' self-assessments are compared to the performance shown (RQ2), and if there are differences in the quality of self-assessment as a function of preservice teacher performance? (RQ3)

9.3 Methodology

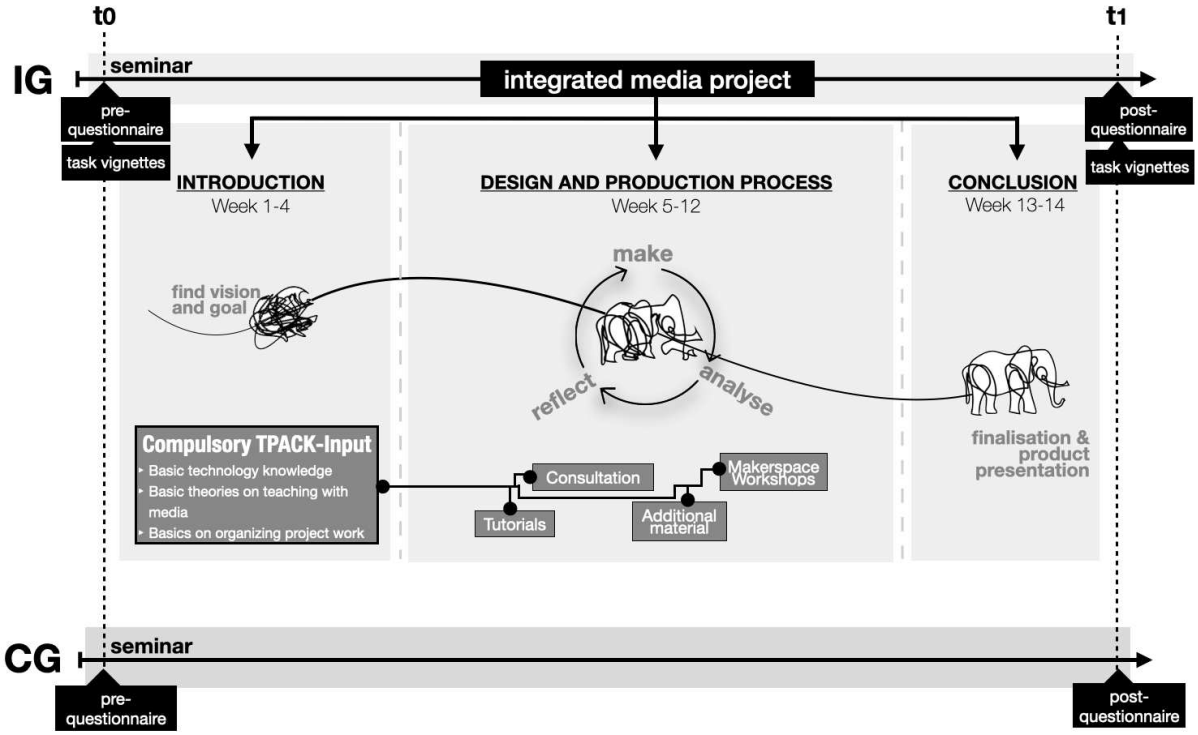
9.3.1 Structure of the intervention

The intervention of the present study consisted of two parts: (1) preservice teachers worked over one semester on media-based subject projects that have been embedded in elective or compulsory seminars in the natural sciences (biology, chemistry, physics, psychology, mathematics, computer science). The project was largely self-organised by the project groups. A pedagogical makerspace, newly implemented and available to all project groups, provided the necessary infrastructure and technical support as well as additional individual support services for free to successfully carry out the projects. (2) Accompanying the project work, all preservice teachers had to complete an interdisciplinary, asynchronous, online-based and compulsory TPACK input (approx. 180 min). This provides a unified theoretical basis and ensures a homogeneous conception of the projects based on the same criteria. In addition, the input provides a link between the science seminar, the media project and the makerspace (see Figure 1). The aim of the project work was the collaborative and creative development and design of meaningful project products that are conducive to learning, such as teaching-learning materials in the form of (interactive) explanatory videos, multimedia tasks or virtual models for science lessons (Max et al., 2020b; Max et al., 2021). The implementation

of the projects did not take place within the seminar times (20h in total), but was carried out individually and independently of time during the supplementary self-study time (70h in total).

Figure 9.1:

Integration of the TPACK-promoting intervention (media project and TPACK-input) into a science seminar and location of the survey time points in the intervention and control group



Media project process. The formation of the project groups was self-organised by the preservice teachers. In an introductory phase of the seminar, the teams developed ideas and visions for a subject-related project topic. Suitable project goals are then formulated in consultation with the lecturers. Subsequently, the group was responsible for planning next work steps in the design and production process, the content-related, media-didactic and technical familiarisation with the help of the self-learning materials, the self-monitoring of the project progress and the time management itself. The development of the project products took place in iterative cycles, in which prototypes were first created, then presented to each other within the seminar times and critically reflected on together with peers and the lecturer (Max et al., 2021). In this way, problems could be identified directly in the design process, pedagogical- and content-related concepts as well as technical solution possibilities were developed together, prototypes could be critically questioned and creative implementation possibilities were discussed subject-specifically. Thus, creating, analysing and reflecting on the prototypes were central working methods in the main phase of the project process. The

final phase served to incorporate the final feedback, the completion and the presentation of the project products.

Compulsory TPACK-input. The TPACK input addresses TPACK in five lessons using examples of integrating digital technologies into subject lessons. Initially, it provides criteria for good science teaching (Steffensky & Neuhaus, 2018). In addition, basic media pedagogical theories are elaborated: The cognitive load theory (Chandler & Sweller, 1992), the cognitive theory of multimedia learning (Mayer, 2009) and the SAMR model (Puentedura, 2006). The SAMR model was included because it is used in teacher training and raises awareness of the meaningfulness of technology integration. Finally, examples show how the theories and criteria can be used for subject-specific lesson planning in science. The conception, design process and implementation of the prototypes must be guided by these criteria.

Pedagogical makerspace. We chose the pedagogical makerspace as a learning space to teach TPACK because various authors describe a makerspace as an ideal place to implement varied and constructivist learning environments into teacher education (e.g. Bevan, 2017; Kurti et al., 2014) which are regarded as beneficial for the promotion of TPACK (e.g. Tondeur et al., 2012). While designing and creating teaching and learning materials, the preservice teachers need to use and reflect on a variety of digital tools they can use to develop his or her ideas and are additionally impelled to consider how their products will affect the learning process of the learners for which they are designed. It is suggested that especially intrinsic motivation and self-efficacy are fostered while learning by creating in a makerspace (e.g. Andrews et al., 2021). To support the implementation of the project, the pedagogical makerspace provides an open offer that includes additional self-learning materials such as tool tutorials, workshops and support staff who can assist with technical problems.

Preservice teachers who completed the intervention completed a self-assessment questionnaire of their TPACK before and after the intervention (see figure 1). They also answered vignettes-based TPACK performance tests whose task responses were scored by independent and trained raters. In contrast, the control group only completed the questionnaire.

9.3.2 Sample

Overall, N = 327 preservice science teachers took part in the study. Only participants in the intervention group filled out the questionnaires *and* the task vignettes, because it was assumed that the control group was not able to complete the tasks due to lack of knowledge. Not all participants in the intervention and the control group completed either part of the questionnaires or the task vignettes, respectively. Those were excluded from further analysis.

After excluding participants with missing data, N = 221 went into further analysis (male = 55; female = 166). The intervention group (IG) comprised N = 149 who participated in the compulsory course. The control group (CG; N = 72) was formed by preservice teachers who were not attending the seminar and were still in the same cohort. The preservice teachers participated in the study either at the end of their Bachelor's degree or directly at the beginning of their Master's degree. Therefore, it is assumed that no difference in knowledge exists between bachelor's and master's students, as media-related content in the subjects has only recently been included in the curricula. Through this arrangement, the Master's students are thematically on a similar level as the Bachelor's students, as no ICT-related courses have been offered in their studies so far. Also, the distribution of study progress was very similar between IG and CG, which was confirmed by a Mann-Whitney-U test of independent samples, U = 5636.5, $p > .05$. The study was conducted over four semesters, resulting in four cohorts (C1 = 13; C2 = 70; C3 = 77; C4 = 61).

Data concerning the increase in TPACK's self-assessment as well as other supposedly related constructs were already analysed and reported for the first three cohorts in Max et al. (submitted; vgl. *Studie 2*). However, the focus on this publication was different. We will repeat the analysis, including the fourth cohort and only with respect to the increase of TPACK so that the results can be placed in the overall context of this study. All other analyses are new and have not been reported anywhere else.

9.3.3 Instrument to measure TPACK with Self-assessment

Self-assessed TPACK measures are collected as part of a comprehensive pre-post questionnaire. The TPACK scale comprises 13 standardized items based on Schmidt et al. (2009) (4 Items) and Handal et al. (2013) (9 Items). The prospective science teachers have to self-assess their TPACK in rather general items like "I can teach lessons that appropriately combine literacy, technologies, and teaching approaches." (Schmidt et al. 2009, p.135) or somewhat more specific items like "I am able to use technology to explore or present biological [subject] content in a variety of different ways" (Handal et al. 2013, p.31). All TPACK items are based on a 4-point Likert scale.

For the composite TPACK scale before (pre) and after (post) the intervention, a reliability analysis was examined (Cronbachs alpha αpre = .839, Cronbachs alpha αpost = .891) with very good results (Dorsch & Wirtz, 2020).

9.3.4 Performance test to measure TPACK

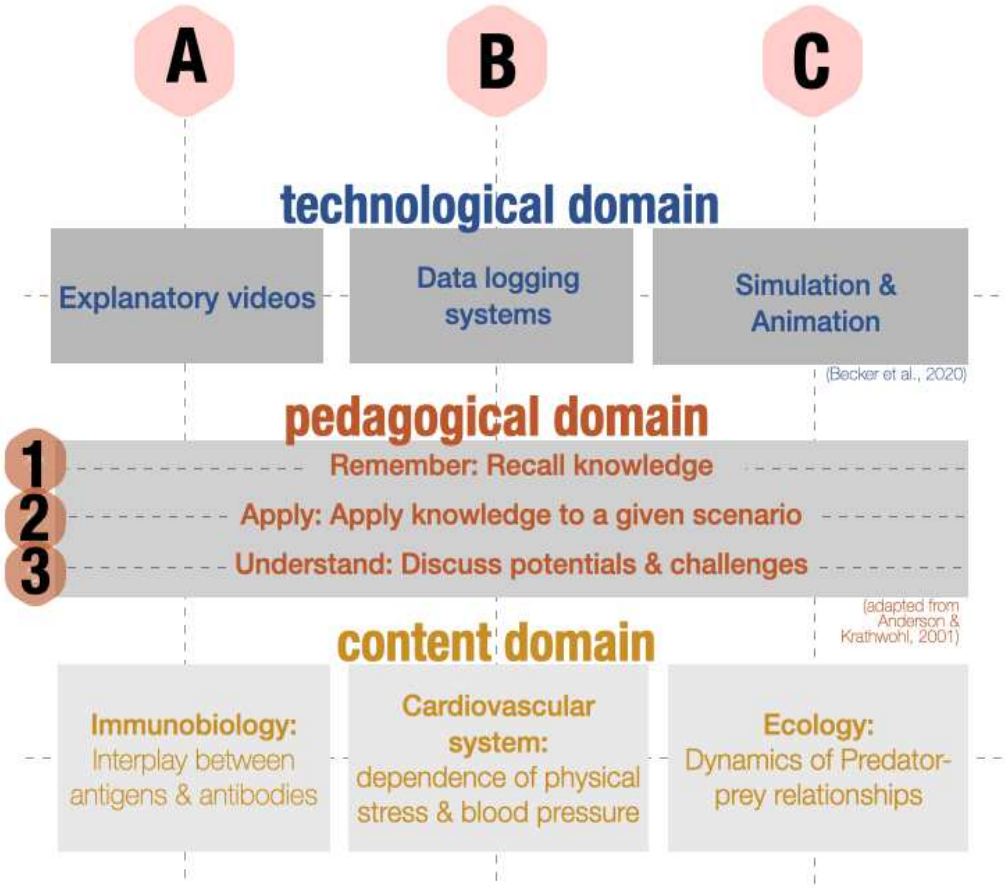
The performance test (= external assessment) consists of three tasks (A, B and C) for each subject, which differ in the technological, pedagogical and content domains. The structure of the tasks remains the same for a high degree of comparability both between the subjects and between the tasks. Only the content domain varies between the subjects. In order to narrow down the thematic diversity, priorities were set in the tasks, which are outlined below (Figure 2).

In the *technological domain*, the three tasks differ with regard to the selected digital tool. Here, (A) explanatory videos, (B) data logging systems and (C) digital animations/simulations (see Figure 2) were selected as some of the core technologies in science teaching. The selection of the main topics is based on a framework for TPACK in science education (Becker et al., 2020).

The *pedagogical domain* of the tasks require answers on the three levels "remember", “understand” and "apply" (adapted from Anderson & Krathwohl, 2001). Each task is

Figure 9.2

The structure of the three tasks (A, B, C): three domains of the performance test technological, pedagogical and content domain as well as three performance dimensions: remember, apply and understand.



composed of three subtasks (see Figure 2), whereby in subtask (1) knowledge about the respective technological focus (A, B or C) must be recalled (*Remember*). In subtask (2), knowledge needs to be applied to a classroom situation. To complete these tasks participants need to use indicators of the quality of good teaching (PCK) (Steffensky & Neuhaus, 2018) or media didactic assessment criteria (TPK) (e.g. principles of the Cognitive Load Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2009)). Moreover, participants are asked to justify their respective choice. (*Apply)*. This requires knowledge transfer of TPACK, as suggestions for action are to be developed by the participants for a specific situation with a given objective. Subtask (3) in turn requires the application of general TPACK knowledge, where participants have to discuss the potentials and challenges of the given technology. This last task is not explicitly reflected in the self-learning material, but can be learned, for example, through the work in the makerspace, and thereby requires a more general understanding of TPACK (*Understand*).

The task content comes from the curriculum (Bildungsplan, 2016). For each task, a standardised classroom situation was designed showing a student preparing a lesson for which the tasks are then set. In example A in Table 1, a biology teacher wants to teach the interplay between antigen and antibody as a topic in immunobiology and has the idea of having the students produce small explanatory videos. In answering the subtasks in the assessment, based on a rolling system, the preservice teacher now need to take on an advising role and justify and critically discuss a possible added value to the biology lesson at different levels using TPACK. The analysis tool includes PCK criteria (e.g. criteria of good teaching (Steffensky & Neuhaus, 2018)) as well as criteria from media didactics (e.g. Cognitive

Table 9.1

Example task (A) from the subject Biology. Technological domain: Explanatory videos. Pedagogical domain: remember - subtask 1, apply - subtask 2, understand - subtask 3. Content domain: Immunobiology.

Task A - Explanatory videos in biology lessons *A biology teacher wants to teach the topic "Immunobiology" in class 9 next. She is thinking about having the students make explanatory videos on the interplay between antigens and antibodies.*
1. First of all, explain in general what explanatory videos are and which forms of use can be identified in the classroom. 2. Develop a reasonable recommendation for the teacher on the use of explanatory videos for the purpose stated at the beginning. In your statement of reasons, elaborate on the criteria that are relevant to you for the use of explanatory videos in this situation. 3. Please discuss: Where do you see further potentials in general, but also disadvantages, of the use of explanatory videos in mathematics and science lessons?

Load Theory of Chandler and Swaller (1991), Cognitive Load Theory of Multimedia Learning (CTML) (Mayer, 2009) and the SAMR model (Puentedura 2006)).This content was already introduced during the TPACK-related input and was used in the project work to reflect on the prototypes being developed.

The assessment is based on a scoring guide (*supplement 1*)., which allows the tasks to be evaluated either along the individual topics or tool focuses (A, B or C) or based on definitions (subtask 1), evaluation criteria (subtask 2) and advantages and disadvantages of digital media in specific subject contexts (subtask 3). Within the context of one of three tasks (A, B or C) four points could be achieved for the first subtask (1), 15 points for the second subtask (2) and six points for the third subtask (3), resulting in 25 points per task (e.g. A1, A2 and A3). For further considerations, the points from the subtasks of the three tasks are subsumed. The participants can achieve 12 points in the subtasks of *Remember* (1) across the three tasks, 45 points in the subtasks *Apply* (2) and 18 points in the subtasks *Understand* (3). The criteria for the allocation of points are listed in the supplement.

Interrater reliability of three raters

Since three raters were involved in the task evaluation, interrater reliability was determined using Krippendorff's alpha and calculated with the statistical programme R. The calculations showed very good agreement values across the four cohorts for the total score of the external-assessment test ($\alpha = .964$) as well as for the tasks A ($\alpha = .838$), B ($\alpha = .846$) and C ($\alpha = .824$) (Krippendorff, 2013).

Validity of the task vignettes

In order to ensure the content validity of the developed tasks for measuring TPACK, the tasks and the scoring guide were discussed with experts (professors of natural sciences (biology, physics, mathematics, computer science, psychology, N=5) who are already familiar with the TPACK model, have different digitization-related experiences in school and university teaching, and doing research in the field of digitization). The interviews were conducted on the basis of an interview guide (*supplement 2*). The questions were systematically developed with regard to the TPACK model, the tasks' comprehensibility, completeness and representativeness of content and the literature used (Moosbrugger & Kelava, 2012). Expert feedback related to all the aspects mentioned. All considered the sample of references to be a good basis for the construction of the tasks; for them, the tasks represent essential aspects of teachers' TPACK. The integration of the SAMR model was mentioned as being worth discussing, but the rationale for taking it into account (widespread use in schools) was accepted as comprehensible. The experts considered the scoring guide to be sufficiently

differentiated and valid in terms of content. Requests for changes were mainly related to the task formulations and grammatical improvements. Based on the experts' feedback, the tasks were revised. In a second step, the tasks were presented to a small number (N = 5) of preservice teachers under test conditions. After test completion, the preservice teachers gave feedback on test comprehensibility and processing time. Based on the feedback, further minor adjustments were made to the tasks (Döring & Bortz, 2016).

9.4 Results

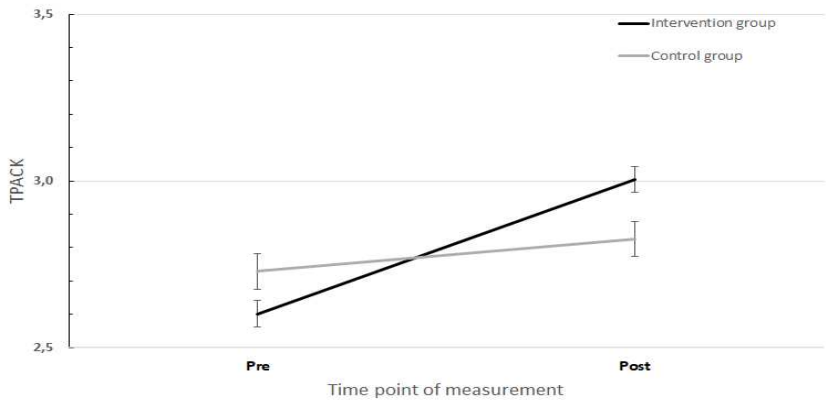
Before comparing self- and external-assessment, the self-assessment data were analysed for control group (CG) and intervention group (IG) before and after the intervention. In a second step, the data of the performance test are examined with regard to changes of TPACK. Three groups - low, medium and high performer - are derived (see 3.2). The next step contained an analysis of the consistency of self-assessments to the external assessment of the test participants and displays in which task areas there is a consistent self-assessment or an under- or overestimation of TPACK (see 3.3).

9.4.1 Self-assessment

To find out whether subject-specific media projects positively influence TPACK increase, we conducted a two-factorial ANOVA with repeated measurements. For three of the participants, the questionnaire before the intervention was missing, those were excluded from the following analysis. The two-way interaction of time (before and after the intervention) and group (N_{IG} =148; N_{CG} = 70) was significant for TPACK (F [1, 216] = 19.05, $p < .001$, $\eta 2p = .08$) (see Figure 3). Only preservice teachers of the IG had a significant TPACK increase. This result confirms the result of Max et al. (submitted; vgl. *Studie 2*) for the first three cohorts.

Figure 9.3.

Changes in self-assessment of TPACK (4-stage Likert scale) between intervention group (received intervention) and control group (did not receive intervention) before (pre) and after (post) the intervention



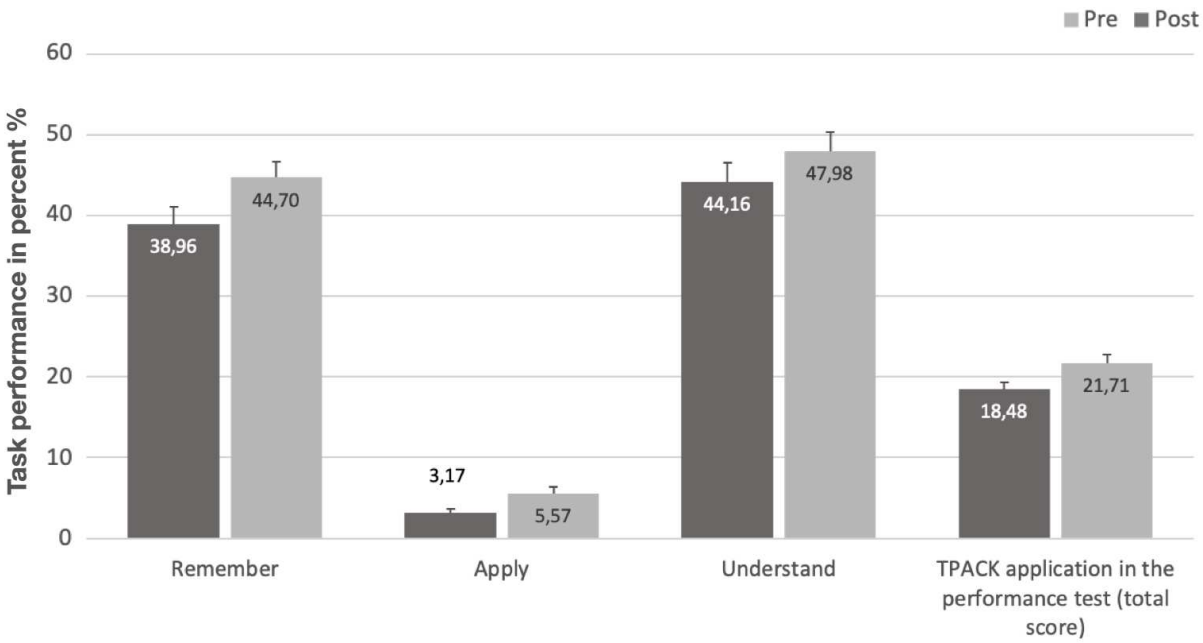
9.4.2 Performance test

The performance test was given to the preservice teachers in the IG before the start of the project and after its completion. Due to the challenging study situation during the Corona pandemic, 84 participants filled out the tasks before the intervention and 144 after the intervention. For the analysis regarding the performance increase, only those participants, who completed the tasks in both time points were included in the following dependent t-tests (N = 77) with the different subtask levels (*Remember*, *Apply* and *Understand*, and the total score) as dependent variables.

After the intervention the preservice teachers show an increase of TPACK regarding the subtasks *Remember* ($t(76) = -2.18$, $p = .032$, $d= 0.25$), *Apply* ($t(76) = -2.67$, $p = .009$, $d = 0.3$) and the total score ($t(76) = -3.36$, $p = .001$, $d = 0.38$). In contrast, no significant change in TPACK application is measurable for the third subtask *Understand* ($t(76) = -1.48$, $p < .05$; see Figure 4).

Figure 9.4

Percentage of scores achieved in externally measured TPACK in task part 1 Remember, task part 2 Apply, task part 3 Understand and total score before (pre) and after (post) the intervention.



Preservice teachers score less than 50% of the possible points in all subtasks. On average the highest scores were reached in the subtask *Understand.* The subtask *Apply* was especially hard for the participants, prior to and after the intervention.

In order to find out whether there are groups in the sample that differ significantly in the performance pattern, a cluster analysis was carried out among the post data of the present

task vignettes (N = 144) before triangulation. The resulting performance groups were compared afterwards with their self-assessed TPACK (see RQ 1.2). Based on the analysis, three clusters of preservice teachers could be defined. These three clusters were specified by a k-means-cluster-analysis (number of cases per cluster: 1 = 67; 2 = 60, 3 = 17). The first cluster is represented by the low performers, who achieved low results on all three levels *Remember*, *Apply* and *Understand* (Table 2). The middle performers in the second cluster differentiate themselves from the first cluster through their increased ability to *Remember* and *Understand*, while the third cluster is composed of preservice teachers who show high performance in all three areas. While a high level of understanding (*Understand*) does not indicate whether the student is a middle or high performer, a strong performance in the application area (*Apply*) can also be expected to result in a strong performance in the other two areas of *Remember* and *Understand*.

Table 9.2

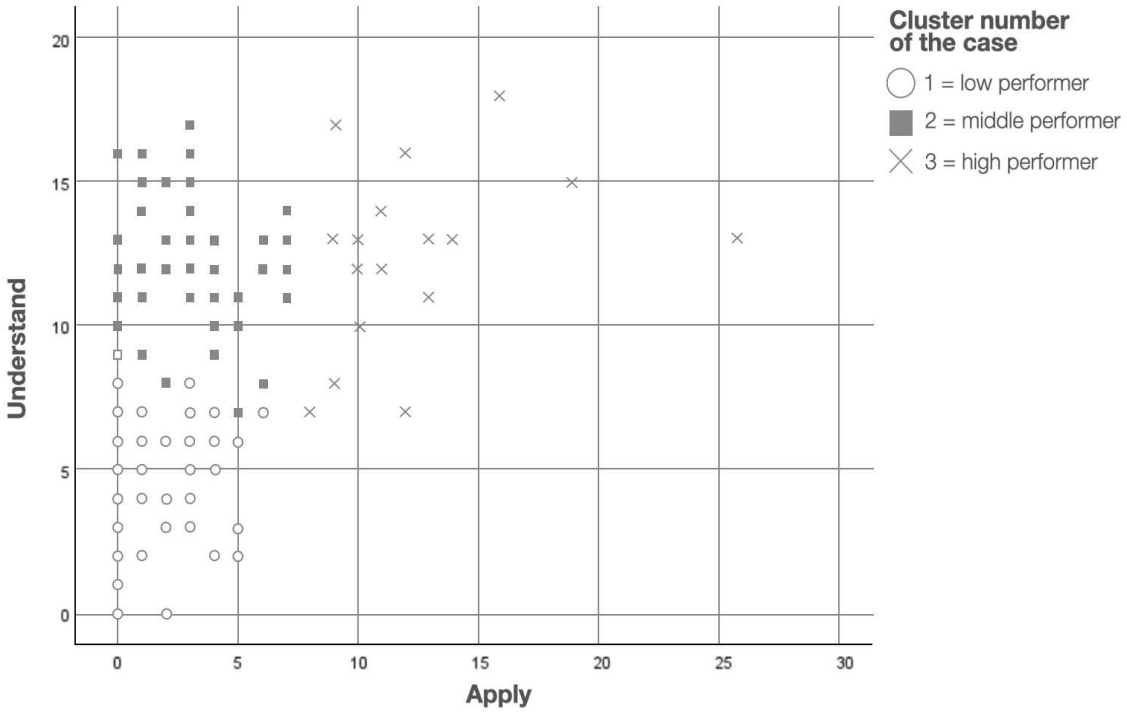
Identified cluster centres in the sample with respect of performance in the subtasks Remember, Apply and Understand

	Identified cluster centres		
	◯ = 1 low performer	■ = 2 middle performer	╳ = 3 high performer
Remember	4	7	8
Apply	1	3	13
Understand	5	12	13

The visualised clusters show with regard to their performance on the two upper levels *Understand* and *Apply* (see Figure 5) that clusters 1 and 2 differ above all with regard to *Understand*, while both groups have only little ability to apply their acquired knowledge. In contrast, the high performers clearly stand out on both levels, but at the same time also include a greater variation.

Figure 9.5

Dependence on the ability to Understand versus Apply knowledge between the identified clusters



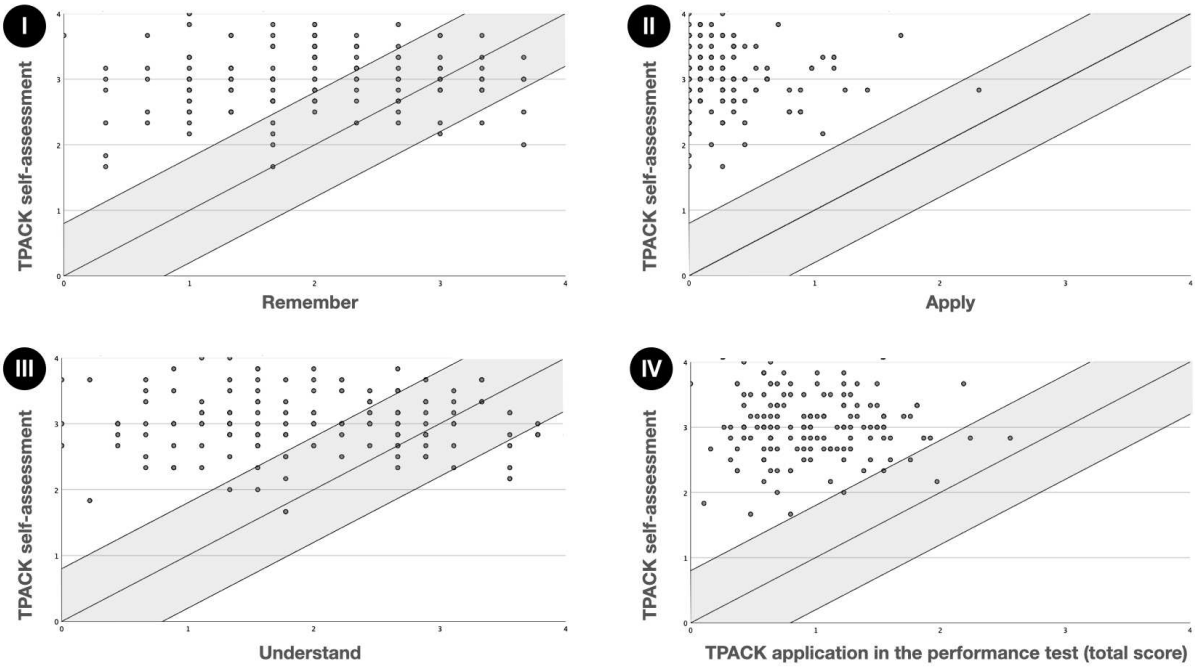
9.4.3 Self- and external assessment in comparison

In order to compare self-assessment and performance test (external assessment), both results were normed at 4, based on the 4-point Likert scale for the self-assessment scales. The calculation of the differences between both measures enables statements about the fit between self-assessment and external assessment (values lie between -4 and +4). The corridor as a defined tolerance range in which a realistic self-assessment of TPACK can be assumed is set at 20% according to Coutts and Rogers (1999; see also Rohr, 2018) and includes a deviation in the assessment of -0.8 to 0.8 points. In this corridor, the self-assessment largely corresponds to the preservice teachers' performance (procedure according to Rohr, 2018).

Figure 6 compares the mean value of the TPACK self-assessment with performance in the three subtasks. The values within the grey tolerance bar represent consistency between self-assessment and performance. If the values are below the grey bar, the preservice teachers have underestimated themselves and overestimated themselves if the values are above the bar.

Figure 9.6

Subdivision of the matched TPACK self-assessment with the sub-areas of task completion (I, II & III) as well as the task total score (IV) into underestimation (below grey bar), realistic self-assessment (grey bar) and overestimation (above grey bar)



The self-assessment complies realistically in 37.5% (I) and 43.1% (III) of the preservice teachers on the task levels *Remember* or *Understand*. More than half of them (*Remember* = 59.7%; *Understand* = 52.1%) rated their abilities higher than they were able to demonstrate in the course of the task. There is virtually no consistency in the sub-task in which the preservice teachers were required to transfer their knowledge to a concrete teaching situation as 99.3% overestimated their knowledge. In the overall performance (total score), 97.1% of the preservice teachers overestimated their knowledge.

9.4.4 Ability for self-assessment in relation to performance

A Kruskal-Wallis test shows that low, middle and high performers differ in the consistency of their self-assessment compared to their performance in the areas of *Remember* (Chi-Square(2) = 21.552, $p < .001$) and *Understand* (Chi-Square(2) = 69.153, $p < .001$). Subsequent pairwise comparisons show that there are significant differences between the low performers and the middle performers ($z = 3.811$, $p = .001$, $r = .34$) and between the low performers and the high performers ($z = 3.716$, $p < .000$, $r = .40$) at the *Remember* level. The same can be measured between the low performers and the middle performers ($z = 5.111$, $p < .000$, $r = .46$) as well as the low performers and the high performers ($z = 7.835$, $p < .000$, $r = .85$) at the *Understand* level. It can thus be assumed that the low performers in particular rate themselves

much higher than they actually perform in the tasks. Middle and high performers, on the other hand, estimate their knowledge more consistently at these two levels. According to Cohen (1992), the values ranging from r = .34 to r = .85 each represent a strong effect.

9.5 Discussion

The study aims to investigate whether self-assessment scales developed to measure TPACK in scientific studies can also be applied to self-directed learning of TPACK (RQ1). To answer the question, we first explored whether the self-assessment and performance test utilised could capture a development of preservice teachers' TPACK (RQ1.1). In the next step, we examined the consistency of preservice teachers' self-assessments compared to the performance shown (RQ1.2). In addition, we assessed whether there was a correlation between the level of performance (high performer, medium performer, low performer) and the ability to self-assess (RQ1.3). Please note that much of the data collection took place during the Covid 19 pandemic and the results may have been influenced accordingly (see Limitations for more information).

TPACK development as a result of project work in a pedagogical makerspace

The preservice teachers carried out a project in a pedagogical makerspace over the course of one semester. The project work was supported by self-learning materials on pedagogical and didactical guidelines for the use of digital media in class, as well as technical and pedagogical advice from experts. All participants were asked to choose their own project topics which resulted in a variety of different products such as digital 3D objects, H5P-based learning environments or AR-supported learning materials.

The pre-post-test based on the preservice teachers' self-assessment showed a gain in TPACK in the intervention group compared to the control group. These results are supported by the performance test used in parallel which indicates an increase in TPACK in the intervention group (RQ1). The TPACK increase through the work in the pedagogical makerspace is remarkable in that the focus of the projects was on dealing with the technical challenges for creating digital products, but also in self-organising the project work, i.e. a form of work that was rather unfamiliar to the preservice teachers (Max et al., 2021). Information on TPACK was made available by self-learning materials and it was up to the preservice teachers to what extent they made use of those materials.

Due to its design, the performance test provides a more differentiated picture of preservice teachers' knowledge than the self-assessment scales. The tasks are divided into different levels of complexity (*Remember, Apply* and *Understand*) following the taxonomy levels of Anderson and Krathwohl (2001). According to Cohen (1988) we found medium to strong

effects for the preservice teachers' growth of TPACK in the areas of *Remember* and *Understand*, while they do not significantly improve in the area of *Apply*. Considering the objectives of the project work, this result is not surprising, but points to the importance of successive offers for TPACK development, which also include work in the classroom (e.g. Jen et al., 2016). In view of our results we follow the call of several authors to extend self-assessments by performance tests to enable a stronger focus on the content of a subject, subject-specific characteristics of the use of digital media and the transferability to practice (Akyuz, 2018; Khoirul Antony & Paidi, 2019; Mouza et al., 2014; Yeh et al., 2014).

Consistency of self-assessment and performance

Self-assessment to foster self-regulated learning is becoming increasingly important both at universities and in the field of professional development, as its use tends to correlate positively with performance (e.g. Andrade, 2019; Brown & Harris, 2013; Falchikow & Boud 1989). Meanwhile, there are a few self-assessment instruments which serve as tools for self-regulated learning of media-related competencies (e.g. Mueller et al. 2021, Redecker, 2017; Saidel et al. 2021). The quality of these instruments is crucially conditioned by their consistency to (preservice) teachers' performance (Rohr, 2018). Such a comparison may allow for future calibration of self-assessment and performance instruments. In our study, we used items of the original TPACK survey instrument by Schmidt et al (2009) and Handal et al (2013) prior to the start of the project work in the makerspace and after completion of the project, each accompanied by a performance test. The scales used are easily accessible to universities and, due to their small number of items, can be processed with little effort by preservice teachers for self-regulated learning.

The results show, similarly to results from other disciplines (Andrade, 2019; Brown & Harris, 2013; Rohr, 2018), that preservice teachers tend to overestimate their knowledge (Fig. 6) (RQ2). The overestimation differs depending on the kind of knowledge requested in the performance tasks. Preservice teachers' self-assessment fits more accurately when they have to remember facts or give general explanations regarding existing advantages and disadvantages of certain digital media (*Understand*). However, they overestimate their knowledge starkly in tasks in which they have to apply TPACK to a teaching scenario. In those tasks we found virtually no intersection between self-assessment and performance.

In a second step, we divided the preservice teachers into low performers, medium performers and high performers. What we see is that high performers and medium performers estimate their knowledge in the two areas *Remember* and *Understand* more consistently than low performers (see paragraph 3.3) (RQ3). No differences in terms of performance can be found

in the application of TPACK. Those tasks couldn't hardly be answered, regardless of how well they perform on the other tasks. The reasons for this result may be diverse.
Considering the three quality criteria objectivity, reliability and validity it may seem at first that the self-assessments for TPACK are superior as they are repeatedly evaluated. However, they provide good quality criteria values only for the concept that they are indeed measuring: the *self-assessment* of TPACK (or also the self-efficacy, see e. g., Lachner et al., 2019), not *applying* TPACK. The performance test claims to measure TPACK performance based on theoretical considerations. It has thus face validity and content validity. With the low correlation to TPACK self-assessment construct validity seems to have failed. However, it is suggested that the two tests just measure different concepts (cf. also Lachner et al., 2019; Scherer et al., 2017;). The intervention (project in a pedagogical makerspace) was not designed to teach for the test, nor was the performance test designed to test as taught. The performance tasks aimed to test the ability to transfer knowledge to apply TPACK in a broader range. It can hence be considered as a difficult and complex task. It has been shown in other contexts that self-assessment accuracy declines, when task complexity increases (Andrade, 2019; Rohr, 2018). We therefore argue that the tasks in the performance test do not have low validity, but are complex and thus difficult to self-assess.

Implications for the use of self-assessment in self-regulated learning of TPACK

What do our study results tell about the use of self-assessments to support TPACK development (RQ)? The purpose of self-assessment is to provide feedback to a person about his knowledge, learning process and learning outcome. On this basis, a person can adapt his learning process (e.g. the amount of time to invest in learning, to seek help, to change learning style) to achieve better learning outcomes (Andrade, 2019; Panadero et al., 2016). Our results confirm that the instruments of Schmidt et al (2009) and Handal et al. (2013) allow capturing TPACK and TPACK growth as triggered by our intervention with a small number of items. Based on this result, it seems feasible to use self-assessments developed for scientific studies in the context of teacher education or for professional development to make TPACK learning more self-regulated. However, the instruments are limited in terms of their informative value: (1) They are more likely to capture learning gains that are located at the "Remember" and "Understand" levels of complexity, while the level of application, which is particularly relevant for teaching, is not well represented, at least not by the scales we used. (2) The effectiveness of self-assessment also depends on TPACK-related prior knowledge. Our study underpins that medium and high performers are more likely to assess their knowledge more adequately than low performers. (3) The moderate correlation between self-assessment and performance in our study shows that self-assessment is a skill that must be learned. To get

the most out of self-assessment the preservice teachers need to know how to self-judge consistently, how to draw appropriate consequences from the results they get regarding their learning processes and what learning opportunities they need to further develop their knowledge (e.g. Bol et al., 2012; Panadero and Romero, 2014; Rohr, 2018; Wollenschläger et al., 2016). Therefore, the use of self-assessments for self-regulated learning should be accompanied by learning opportunities to learn self-assessment (Bol et al., 2012). The combination of performance tests with self-assessments or self-assessments based on worked examples presented prior to the assessment could provide promising approaches to increase the consistency of preservice teachers' ability to self-assess. (4) The self-assessments used for self-regulated learning of TPACK in each case should also be tailored to the learning opportunities derived from the self-assessment. We show that working in a makerspace promotes the TPACK of higher performing preservice teachers more than of lower performing preservice teachers, who then in turn assess themselves more realistically. For them, the collaborative work environment makerspace seems well suited to develop their TPACK. Lachner et al. (2019) could show that teaching experience is highly related to the situational knowledge of TPK, which corresponds to the level of "Apply" in TPACK. To foster the application of knowledge, experience is hence relevant. The collaborative work environment of a makerspace provides such an opportunity.

9.5.1 Limitation

Three of the four cohorts participated in this study during the Corona pandemic, which made data collection more challenging. This is reflected in an increased number of incomplete questionnaires and an increased drop-out rate. Not controllable for us was the fact that preservice teachers were more exposed to digital teaching than before Corona due to the partial switch to online teaching. However, this should hardly influence our data, since the project topics the preservice teachers worked on in the makerspace had little overlap with those of their seminars in terms of content, methodology and the digital technologies employed.

9.5.2 Conclusion

Preservice teachers carried out a self-organised project in a pedagogical makerspace for one semester. All project topics aimed at developing digitally supported teaching-learning materials for pupils in a collaborative and creative way. The project work was designed as a learning opportunity to develop preservice teachers' TPACK. TPACK growth was measured through a self-assessment and a performance test. Both tests were able to map changes in TPACK. The comparison of self-assessment and performance revealed that preservice

teachers overestimated their TPACK, with the degree of overestimation depending on the performance and the competency ("remember", "understand", "apply") assessed. In particular, knowledge was significantly overestimated in tasks where they had to apply their TPACK to a teaching scenario. In these tasks, we found virtually no overlap between self-assessment and performance. We conclude from our results that standardised self-assessments on TPACK are fundamentally suitable to show development and thus support self-regulated learning. The use of these instruments has limitations where (1) instruction-specific and (2) subject-specific requirements are addressed to a greater extent, where (3) preservice teachers have little TPACK, and (4) hardly any experience with self-assessments. We therefore propose to use standardised self-assessments to accompany self-regulated learning, but to limit their use to the assessment of declarative knowledge and to combine them with other instruments (e.g. performance tests) for the assessment of more teaching-related knowledge. In addition, the use of self-assessments for self-regulated learning should be accompanied by learning opportunities with which preservice teachers initially learn to adequately assess themselves.

10. *Studie 5*: Factors influencing the development of pre-service science teachers' technological pedagogical and content knowledge in a pedagogical makerspace

> Max, A.-L., Weitzel, H., & Lukas, S. (*draft*). Factors influencing the development of preservice science teachers' technological pedagogical and content knowledge in a pedagogical makerspace.

Bei dem folgenden Artikel[7] handelt es sich um eine Version des Manuskripts, die unter Berücksichtigung der vierten Limitation (vgl. *Kapitel 11.*6) nochmal überarbeitet wird. Der Artikel adressiert die achte Forschungsfrage des vorliegenden Forschungsvorhabens:

(8) Inwieweit wird die TPACK-Entwicklung durch Rahmenfaktoren wie die technologiebezogene Selbstwirksamkeit, die Motivation zur Nutzung digitaler Medien und die Technologieakzeptanz beeinflusst und welche Auswirkungen hat dies auf die Intensionen, digitale Medien zu nutzen?

Da der pädagogische Makerspace eine offen konstruktivistische Lernumgebung ist, wird in *Studie 5* untersucht, wie wirksam diese Lernumgebung für die Entwicklung von TPACK ist und welche weiteren Rahmenfaktoren die TPACK-Entwicklung beeinflussen können.

	Autor	Konzept-ualisierung	Entwicklung Messinstrument	Datenerhebung/ -auswertung	Schreiben	Überarbeitung/ Redaktion
1.	Anna-Lisa Max	80%	60%	80%	80%	20%
2.	Holger Weitzel	10%	10%	10%	-	30%
3.	Sarah Lukas	10%	30%	10%	20%	50%

[7] Dieser entspricht möglicherweise nicht genau der in der Zeitschrift veröffentlichten endgültigen Fassung.

10.1 Abstract

Teachers require complex technological pedagogical content knowledge (TPACK) to integrate technology useful into modern teaching in a targeted manner. Conducting design-based project work in a pedagogical makerspace seems promising for university teacher education to actively develop TPACK. Contextual factors (e.g., technological self-efficacy, motivation, technology acceptance) could thereby influence the development of TPACK through project work in a makerspace and their intention to use digital media. To investigate these factors, 495 pre-service science teachers from both intervention and control groups completed a digital pre-post questionnaire before and after the intervention, the data of which were used to conduct structural equation modeling. The results reveal that the level of TPACK prior to the intervention is an important predictor of TPACK after project completion. Moreover, TPACK prior to the intervention influences pre-service teachers' intention to use digital media positively. Pre-service teachers' confidence in their ability to use technology has no influence on their motivation to engage with technology, nor does lack of intuitive usability have an influence on technology acceptance. Motivation and technology acceptance are strongly correlated. The motivation to utilize ICT depends highly on technology acceptance and usefulness for professional use and the intention to use ICT is strongly influenced by TPACK.

Keywords: Data science applications in education; Improving classroom teaching; Pedagogical issues; Teacher professional development; Teaching/learning strategies

10.2 Introduction

Information and communications technology (ICT) influences people's social, professional, and political lives and has the potential to fundamentally alter the learning culture at schools (Becker et al. 2020; Eickelmann & Gerick, 2020). However, not only the availability of ICTs, but also the demand to prepare students for digital transformation requires teachers to have media-related knowledge (Redecker, 2017). The technological pedagogical content knowledge (TPACK) model is a widely used model to describe the knowledge and skills required of teachers to adequately use digital technologies for subject teaching (Mishra & Koehler, 2006, 2008; see Section 2.1).

In recent years, makerspaces have been increasingly recognized as suitable and authentic learning environments for promoting TPACK, e.g., through design projects (Baran & Uygun, 2016; Tondeur et al., 2012; Wang et al., 2018).

Makerspaces usually provide space and a wide range of analogue and digital equipment to be utilized by users, i.e., makers, who create, and tinkerers, who improving existing products,

to create, revise, or optimize any kind of analogue or digital product (Fraunhofer IAO, 2018; Knaus & Schmidt, 2020, Max et al., 2021).

Working in a makerspace is characterized by a number of characteristics:

(1) Makers work on concrete problems on their own initiative.

(2) Making is regarded as an iterative process, changing flexibly among construction, testing, and revision to result in solutions that can be shared after completion (Bevan, 2017; Heredia & Tan, 2021).

(3) Engagement in a makerspace is independent of a maker's prior experience and competencies, thereby contributing to educational equity (Heredia & Tan, 2021; Ismer & Mietzner, 2019; Knaus & Schmidt, 2020; Mersand, 2021).

(4) Making is highly individualized (Ismer & Mietzner, 2019; Knaus & Schmidt, 2020), as it not only enables temporal flexibility (Heredia & Tan, 2021), but also allows makers to select their own working methods in line with their own learning styles, thus resulting in kinesthetic experiences in addition to the use of auditory and visual media (Blackley et al., 2017).

(5) A makerspace is a space with an "open mistake" culture, where productive failure is not only tolerated but even desired (Cross, 2017; Heredia & Tan, 2021; Schön, 2018) and where reservations and uncertainties about any kind of technology are reduced through active participation (Hilton et al., 2018).

A pedagogical makerspace is a place to teach (pre-service) teachers how to work in a makerspace and to inculcate making as a highly constructivist learning process (Cross, 2017; Kurti et al., 2014). This can be realized by pre-service teachers implementing projects in the makerspace or accompanying students in their projects, similar to a teaching-learning laboratory. Due to this approach, pedagogical makerspaces hold the promise of helping teachers to evolve innovative media practices, which are important in the pedagogical context to acquire TPACK in action (Olofson et al.; Petko et al., 2018). Given that TPACK is to be developed in a self-paced and self-exploring manner in a diverse learning environment, creative projects in a makerspace appear to be appropriate learning opportunities to support the development of TPACK. The aim of this study was to ascertain whether TPACK could be enhanced by conducting a project in a pedagogical makerspace. Moreover, this study also investigated the factors influencing the learning process (see Section 2.2).

10.3 Theoretical background

10.3.1 TPACK framework

The TPACK model of Mishra and Koehler (2006, 2008) establishes an essential and necessary interconnection between Shulman's model (1986), describing the constitutive pedagogical

content knowledge (PCK) of teachers, and the growing technological knowledge of modern information and communication media required by the prevailing digital transformation (Angeli et al., 2016). In this context, technological knowledge (TK) is incorporated in pedagogical content knowledge (PCK). In recent research, digital media as a component of TK has received the most attention. With TK as the interface of content knowledge (CK) and pedagogical knowledge (PK), the TPACK model is the conglomeration of these three facets. TPACK describes the knowledge and skills required to select technology professionally and reflectively (e.g., digital media) for domain-specific teaching and use it in teaching processes (Schmidt et al., 2009). Among the basic knowledge domains, in addition to PCK, there is also technological content knowledge (TCK), which describes technologies, that are of central importance above all for the subject context, and their application, as well as technological pedagogical knowledge (TPK), which is dedicated to the use of digital media in teaching-learning settings in a manner that promotes learning. Both are subsets of the more complex TPACK, which is intended to enable pre-service teachers to implement subject lessons meaningfully with the effective support of digital media and technologies as soon as they enter the classroom (Mourlam et al., 2021).

10.3.2 Factors influencing the teaching of TPACK

When pre-service teachers independently conduct projects in a makerspace in which they create digital learning products, TPACK can be perceived as a prerequisite as well as a desired result (Cross, 2017). The extent to which pre-service teachers use technologies in their work depends on the resources available, such as training material (Tondeur, 2012) and the support provided by learning facilitators or experts (Fernandes et al., 2020). The scope also depends on personal factors such as technological self-efficacy (TSE), technology acceptance (TAM) and intrinsic motivation to use digital media (IMDM). Both factors affect pre-service teachers' learning experience and may influence the development of TPACK as well as their intention to use digital media (IUDM).

10.3.2.1 Technological self-efficacy (TSE)

TSE is a person's belief in their ability to perform a particular task or achieve a goal through the use of technology (Holden & Rada, 2011). It allows people to successfully master tasks despite any difficulties they are facing (Bandura, 1986; Yamamoto, 2021). This means that TSE can influence a (pre-service) teacher's confidence in the purposeful and successful use of digital media for personal (subject-related) application, the design of teaching-learning materials, or the use of digital media in the teaching context, and thus the application of TPACK. Using TPACK through experiences with digital media positively increases TSE

(Abbitt, 2014; Joo et al., 2018; Lachner et al., 2021; Zahwa et al., 2021). Furthermore, studies report a positive relationship between TSE in working with digital media and a person's intrinsic motivation to complete tasks using digital media (Lachner et al., 2021; Niederhauser & Lindstrom, 2018; Vogelsang et al., 2019; Yamamoto, 2021). According to Yamamoto (2021), IMDM is a central component of TSE, whereas Lachner et al. (2021) classified TSE together with IUDM for teaching-learning processes as components of IMDM. While statistical studies have been able to identify TSE as a predictor of technology acceptance (Holden & Rada, 2011), this has so far been in connection with in-service teachers.

10.3.2.2 Technology acceptance (TAM)

Technology acceptance describes how users accept or use digital media (Holden & Rada, 2011). How people use media is defined in the Technology Acceptance Model (TAM; Davis, 1989) by perceived ease of use and perceived usefulness as core factors, which in this context influence a (pre-service) teacher's decisions as to when and how to use digital media for planning, designing, and implementing lessons. Perceived ease of use is important in education because it describes how effectively, efficiently, confidently, and easily the digital medium can be used, thereby meeting the demands for flexibility and adaptability to learners' individual needs (Holden & Rada, 2011). Perceived usefulness describes a preservice teacher's expectations of the usefulness of a digital medium for their teaching (Vogelsang et al., 2019). The more useful and essential a digital medium is perceived to be for the teaching process, the higher the attitudes toward its use (Scherer et al., 2018; Teo, 2012) and the teachers' IUDM to design effective teaching-learning settings are (Holden & Rada, 2011; Mei et al., 2017). The evaluation of a digital medium and its usefulness for the subject context are among the "TPACK-in-action" practices that can be predetermined by TPACK as a predictor (Joo et al., 2018). Similarly, TSE is thought to have a significant impact on TAM (Holden & Rada, 2011; Yamamoto, 2021). To the best of the authors' knowledge, the extent to which TAM influences the TPACK of pre-service teachers appears to have been insufficiently investigated to date and thus represents a research desideratum.

10.3.2.3 Intrinsic Motivation to use digital media (IMDM)

Motivation is expressed in terms of the purposefulness, persistence, and intensity of human behavior (Ryan & Deci, 2000; Wilde et al., 2009). In terms of engagement with digital media, a pre-service teacher's high IMDM is reflected in a strong commitment and desire to learn how to integrate and use digital media in a manner that promotes learning (Yamamoto, 2021). The increasing motivation to take up the challenge of designing technology-enhanced subject teaching in a meaningful way means simultaneously exploring the links among technological,

pedagogical, and content knowledge (Sojanah et al. 2021). In contrast to pre-service teachers (i.e., those without teaching experience), the focus of in-service teachers is often more on the added value that the digital medium brings to the planning, design, and implementation of lessons (Backfisch et al., 2020). Predictors of IMDM are attitudes toward digital media (Vogelsang et al., 2019). Likewise, TSE is also thought to be a predictor (Lachner et al., 2021). Furthermore, due to the multi-layered nature of the construct, Lachner et al. (2021) described the need to further empirically Investigate possible interactions with other constructs such as TAM or perceived usefulness (as a component of technology acceptance, see also Davis, 1989) in the field of teacher education.

10.3.2.4 Intention to use digital media (IUDM)

Intentions as behavioral purposes are factors that indicate how much a person is willing to behave in a certain way (Teo, 2012), i.e., with what willingness a (pre-service) teacher will engage with digital media. Accordingly, a higher readiness can also result in an increased engagement with digital media for the subject-specific teaching context (TPACK). Although the effects of TPACK on IUDM were measured as being significant by Liu (2011), this result has not been confirmed by other studies (Joo et al., 2018; Lachner et al., 2021). Lachner et al. (2021) assumed so-called ceiling effects for the measurements in their TPACK intervention study, suggesting that the readiness of pre-service teachers to engage with digital media was already so high at the beginning that no significant increase over time was possible. In addition, numerous studies have reported significant influences of attitudes toward digital media (Guggemos & Seufert, 2021; Liu, 2011; Teo, 2012) and TAM (Holden & Rada, 2011; Teo, 2012; Yamamoto, 2021) on IUDM. Self-efficacy was also studied as a predictor but had no significant impact in this context (Mei et al., 2017; Teo & Zhou, 2014).

10.4 Research questions

The necessity to create specific learning environments that will enable pre-service teachers to develop TPACK in action, regardless of their prior experience, has drawn the attention of university teacher education to the makerspace as an open constructivist teaching-learning environment (Cross, 2017; Kurti et al., 2014; Mersand et al., 2021). A makerspace has characteristics that support active, subject-based teaching-learning experiences through collaborative design activities (Knaus & Schmidt, 2020; Max et al., 2021). Whether these technological learning experiences lead pre-service teachers to rate their TPACK higher may depend on additional influencing factors (see Section 2.2). When and how they use digital media to plan, design, and deliver lessons might be related to their TAM and IMDM. These factors seem to be closely linked to TSE. Depending on the willingness with which a (pre-

service) teacher engages with digital media, this can also lead to an increased IUDM for the subject-specific teaching context and thus to an application of TPACK, which is a requirement for its development. In order to examine the TPACK development in connection with the influencing factors, the following research questions (RQs) were developed:

RQ1. To what extent do the pre-intervention (beginning of semester) constructs i.e., TSE_{t1}, $IMDM_{t1}$, TAM_{t1}, and $TPACK_{t1}$, and the post-intervention (end of semester) constructs i.e., $TPACK_{t2}$ and $IUDM_{t2}$, correlate with one another?
RQ2. How does TPACK, influenced by the predictors TSE_{t1}, $IMDM_{t1}$, and TAM_{t1}, develop in pre-service teachers through them working in the pedagogical makerspace and how does this affect their $IUDM_{t2}$?

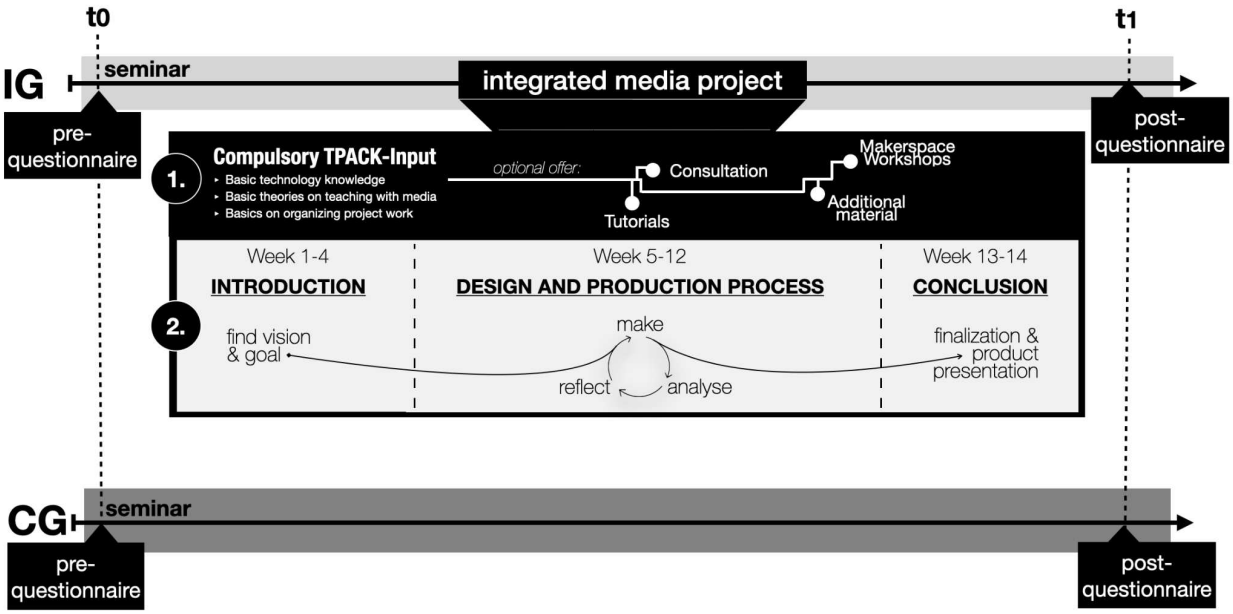
10.5 Methodology

10.5.1 Design of Intervention

Since the makerspace as a space for individual learning processes in a pedagogical context appears to promise to meet the demand for innovative media practices (Petko et al. 2018) and to enable experiencing one's own agency as a component of teacher professionalization (Lipowsky & Rzejak, 2017), media projects conducted in a pedagogical makerspace served as the intervention to promote TPACK in an authentic context (Tondeur et al., 2012; Wang et al., 2018). They were integrated into the existing curricular teaching. Access to the makerspace was organized individually and flexibly by learners at any time during their studies (in this context, strict coordination was necessary during the COVID pandemic).
The pre-service teachers who participated in the study took a compulsory seminar (spread over 14 weeks) as part of their studies in their respective scientific and mathematical subjects (biology, chemistry, physics, psychology, and mathematics), which included the integration of a subject-related media project across the semester. The seminar was divided into two main parts (see Figure 1). In the first part, the pre-service teachers worked on an online-based theoretical input (for approximately 180 minutes), which addressed TPACK in five lessons, sometimes with the help of examples (e.g., dealing with biological animations in biology lessons) and provided hints on how digital technologies could be integrated into subject lessons. The theoretical input introduced criteria for good science teaching (Steffensky & Neuhaus, 2018), aspects of media pedagogical theories (cognitive load theory (Chandler & Sweller, 1992), cognitive theory of multimedia learning (Mayer, 2009), the Substitution, Augmentation, Modification, and Redefinition (SAMR) model (Puetendura, 2006), and basic rules on self-organization in project groups. Subsequently, the pre-service teachers carried out a media project in an iterative design and production process (Author, 2022a).

Figure 10.1

Overview of the cross-semester media project with three main project phases, evaluation points, student activities, and TPACK-related compulsory input for the intervention group (IG) in comparison to the control group (CG).



Each pre-service teacher had the opportunity to use the digital and analogue media offered by the university's pedagogical makerspace to develop their ideas and produce teaching/learning material on a problem of a subject-specific topic (e.g., the creation of a subject-specific explanatory video; Lukas et al., 2019; Max et al., 2020b). The pedagogical makerspace offered analogue and digital equipment and software (i.e., cameras, green screens, audio recording systems, iPads, lighting, recording stations, computers with editing software for audio stories, podcasts and videos, a 3D scanner and printer, and cutting plotters). Work with this diverse hardware and software was supported by digital instruction manuals with numerous tutorials, consulting offers, and workshops.

The pre-service teachers worked in groups that were freely formed at the beginning of the semester. The project specifications combined classical and agile elements of project management with a focus on an iterative design process that combines several cycles in which the steps of doing, analyzing, and reflecting constantly alternate (Author et al. 2021). In the beginning, the project groups were supervised more intensively. More scaffolding was provided at that time (e.g., in the definition of project goals) and quickly decreased during the course of the project. Nevertheless, the project work was accompanied by regular rounds of reflection integrated in the seminar (see Figure 10.1). The instructors recorded the needs as well as perceived challenges and provided individual and project-specific problem-solving

strategies in addition to the input, so that TK could be meaningfully linked with CK and PK (Cohen, 2017).

10.5.2 Sample

The sample comprised *N* = 495 pre-service science teachers (male = 108; female = 387) in four cohorts (C) (C1 = 29; C2 = 169; C3 = 148; C4 = 149). Of these, *N* = 268 in the intervention group (IG) underwent the intervention by attending the compulsory seminar as part of their bachelor's or master's degree programs, while carrying out their media project in the makerspace. The compulsory seminar was newly included into teacher education through this project. Since the design of digital media had not been a standard part of the teacher education program in the past and no courses were offered in this area prior to the project, a similar level of knowledge in ICT design could be assumed in the bachelor's and master's programs. The control group (CG) with *N* = 227 neither gained experience in makerspace work nor received the TPACK-related input. All participants were either in their late bachelor's or early master's studies and were hence comparable considering their study progress.

10.5.3 Measures

We measured TPACK, TSE, TAM, and IMDM before the intervention and TPACK and IUDM after the intervention. For each selected scale at the corresponding time of measurement, a reliability analysis was conducted, which provided "good" to "very good" results (Dorsch & Wirtz, 2020; Table 1).

Table 10.1

Reliabilities (t_1 = pre and t_2 = post) of the scales used

Construct	**Cronbach's alpha (t_1 = pre; t_2 = post)**
Technological, pedagogical and content knowledge ($TPACK_{t1}$)	α = .85
Self-efficacy regarding the use of digital media (TSE_{t1})	α = .73
Technology Acceptance (TAM_{t1})	α = .9
Intrinsic Motivation to use digital media ($IMDM_{t1}$)	α = .92
Technological, pedagogical and content knowledge ($TPACK_{t2}$)	α = .89
Intention to use digital media ($IUDM_{t1}$)	α = .83

10.5.3.1 Technological pedagogical content knowledge (TPACK)

The TPACK scale consists of 13 items from the standardized TPACK questionnaires by Schmidt et al. (2009) (4 items) and Handal et al. (2013) (9 items). By combining the scales, the

pre-service teachers assessed their TPACK more generally e.g., “I can teach lessons that appropriately combine literacy, technologies, and instructional approaches” (Schmidt et al., 2009, p. 135, as well as in a slightly more subject-specific manner e.g., “I am able to use technology to explore or present biological [subject] content in different ways” (Handal et al., 2013, p. 31). All TPACK items were scored on a 4-point Likert scale.

10.5.3.2 Technological (TSE)

Technological self-efficacy measures personal confidence in the successful and purposeful use of technology. To answer the items, pre-service teachers had to assess, among other things, the need for support in order to be able to solve (creative) tasks with digital media, e.g., “In general, I can do any task I want with a digital medium as long as I can ask someone for help when I get stuck” (Holden & Rada, 2011). Although the scale was originally based on 10 items, it was shortened on the basis of an explorative factor analysis and thus validated in terms of content. The shortened version with six items was translated into German and was scored on a 4-point Likert scale.

10.5.3.3 Technology Acceptance (TAM)

The TAM scale adapted from Holden and Rada (2011) measures the perceived ease of use as well as the usability and flexibility to use certain technologies. It was translated into German for this research. The scale comprises nine items e.g., “My interaction with the technology is clear and understandable,” “Interacting with the technology does not require a lot of my mental effort,” etc., all scored on a 4-point Likert scale.

10.5.3.4 Intrinsic Motivation to use digital media (IMDM)

To measure the intrinsic motivation of pre-service teachers in relation to working with digital media, the short scale of intrinsic motivation (KIM) by Wilde et al. (2009) was used e.g., “I find it very interesting to work with digital media.” This consists of four subscales: interest/enjoyment, perceived competence, perceived choice, and pressure/tension. All items were scored on a 5-point Likert scale in accordance with the original measure. For better comparability between the constructs, the scale was afterwards converted to a 4-point Likert scale.

10.5.3.5 Intention to use digital media (IUDM)

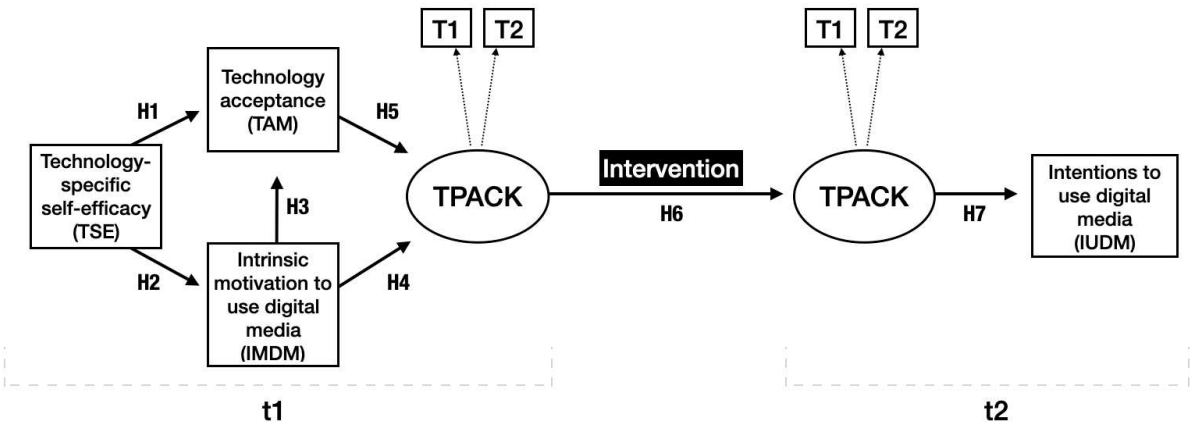
The IUDM for subject lessons was measured with five items adapted and translated from Bleschke et al. (2001). Items such as “I will look for meaningful ways to use digital media in my teaching in the future” were scored on a 4-point Likert scale.

10.5.4 Research Design

A digital pre-post questionnaire was completed by the pre-service teachers at the beginning (t_1) and end of the semester (t_2; see Figure 10.2). The sample comprises N = 257 incomplete data sets, as a large proportion of students participated in the pre-survey but not the post-survey (there was a high drop-out rate, e.g., due to opting out of seminars or studies and the excessive demands during online classes due to the COVID-19 pandemic). These cases were still included in the analysis because structural equation modeling is capable of handling them with maximum likelihood estimation (Geiser, 2011). In addition to working on media projects in the pedagogical makerspace (intervention), the factors TSE, TAM, and IMDM were identified in the literature as central factors influencing the development of TPACK in pre-service teachers. The development could subsequently be expressed, among other things, in the change of IUDM for one's own teaching. A research design was derived from the interplay of effects, which is shown in Figure 10.2.

Figure 10.2

Research design with the constructs used over the time before (t_1) and after (t_2) the intervention.



Based on the literature, the following hypotheses were formed:

H1: TSE_{t1} has an impact on TAM_{t1}.

H2: TSE_{t1} has an impact on $IMDM_{t1}$.

H3: $IMDM_{t1}$ has an impact on TAM_{t1}.

H4: $IMDM_{t1}$ has an impact on $TPACK_{t1}$.

H5: TAM_{t1} has an impact on $TPACK_{t1}$.

H6: $TPACK_{t1}$ has an impact on $TPACK_{t2}$.

H7: $TPACK_{t2}$ has an impact on $IUDM_{t2}$.

Data on the increase in self-assessment of TPACK as well as other related constructs have already been analyzed and reported for the first three cohorts by the authors (2021, 2022a, 2022b). However, the interaction of TPACK with other factors before and after the project work in the makerspace had not been reported until the time of this study.

10.5.5 Analysis

10.4.5.1 Correlation among constructs

Correlation among the pre-intervention constructs TSE_{t1}, $IMDM_{t1}$, TAM_{t1}, and $TPACK_{t1}$ and the post-intervention constructs $TPACK_{t2}$ and $IUDM_{t2}$, (RQ1) was investigated with a two-way Pearson correlation analysis with the interval-scaled mean values of the present scales using IBM SPSS.

10.4.5.2 Manifest path analysis for measuring TPACK development in relation to constructs

A manifest path analysis was conducted to examine how TPACK, influenced by the predictors TSE_{t1}, $IMDM_{t1}$, and TAM_{t1}, developed as a result of working in the pedagogical makerspace and how this affected IUDM (see research design in Figure 2) (RQ2).

Structural equation modeling (SEM) was selected as the evaluation method for this purpose, as it allowed empirical testing of correlation structures and change measurements based on regression analyses between several variables (Geiser, 2011). An autoregressive path was included in the path modeling that connected the longitudinal data available from TPACK at t_1 and t_2 and could reveal possible changes in TPACK over time (Geiser, 2011). Structural equation modeling was carried out using Mplus 7.0 as previously employed by Muthén and Muthén (1998, 2020). To estimate the theoretical model structure, the maximum likelihood method was applied (Backhaus et al., 2015).

Prior to structural modeling, an exploratory factor analysis (EFA) was calculated in Mplus for each construct. This allowed us to determine whether the items actually loaded on the intended factors to counteract possible unsatisfactory fit indices. Non-fit items were removed until adequate fit indices were achieved. The $IMDM_{t1}$, TAM_{t1}, $TPACK_{t1}$, $TPACK_{t2}$, and $IUDM_{t2}$ scales each loaded on one factor, confirming validity in addition to content testing. The TSE scale, on the other hand, had to be shortened from 10 to 6 items because the EFA identified two different constructs. After a communicative content validation, the items relevant to the context were selected.

Due to the large number of items (TSE_{t1} = 10 items, $IMDM_{t1}$ = 12 items, TAM_{t1} = 7, $TPACK_{t1}$ = 9 items, $TPACK_{t2}$ = 9 items, and $IUDM_{t2}$ = 5 items), the sample of N = 495 pre-service teachers was found to be relatively small to obtain robust parameter estimates and standard errors. In order to reduce the ratio of model parameters to sample and thus achieve better statistical

power for the identification of effects, we utilized item parceling. In this process, individual items are either randomly or specifically combined into one or more packages through the formation of mean values, which then become indicator(s) of the latent target construct (Matsunaga, 2008). In our case, we applied the subset-item-parcel approach (where subscales are combined) and the all-item-parcel approach (scales are combined) (Matsunaga, 2008). In the case of the TPACK construct, consisting of the subscales T1 and T2, two parcels were created. For the constructs TSE, IMDM, TAM, and IUDM, only one parcel was created in each case. With the scale mean values, manifest path models were calculated within the framework of structural equation modeling (Geiser, 2011).

Before calculating the scale mean values for each parcel, the reliability was calculated, which provided "good" to "very good" results (Dorsch & Wirtz, 2020; see Table 1). Subsequently, the mean values were examined with boxplots to enable graphically identifying and sorting out outliers (Buttler, 1996). As part of the prerequisite test, it was ascertained whether multicollinearity existed due to the high correlation of the predictors $IMDM_{t1}$ and TAM_{t1} (see Table 2). Multicollinearity should not be present, because otherwise it is not known which of the two variables actually contributes to the variance explanation of the endogenous variable, which in this case was TPACK. Here, the VIF value should not have been greater than 10 (Robinson & Schumaker, 2009). In our case, the VIF value was 3.62, so multicollinearity could be excluded.

The overall model fit of the SEM was indicated by the Comparative Fit Index (CFI), Tucker-Lewis Index (TLI), and Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA; Geiser, 2011). Geiser (2011) recommended the following values as model acceptance criteria: CFI < .95, TLI < .95, and RMSEA and SRMR < .05.

10.6 Results

10.6.1 Descriptive statistics and correlations of TPACK and influencing factors

The descriptive results and correlations of all variables are shown in Table 10.2. All means were above the scale's median of 2.5 and ranged from 1 to 4 only for $IUDM_{t2}$. For the other five scales, the minimum was between 1.56 and 2.13 at t_1, indicating a positive response tendency to the items. The standard deviations ranged from 0.36 to 0.54, indicating a relatively low dispersion of scores around the mean.

Table 10.2

Descriptive statistics and correlations of all measures. $TPACK_{t1}$ = Technological pedagogical content knowledge (Pre), TSE_{t1} = Technological self-efficacy (Pre), TAM_{t1} = Technology Acceptance (Pre), $IMDM_{t1}$ = Intrinsic Motivation to use digital media (Pre), $TPACK_{t2}$ = Technological pedagogical content knowledge (Post), $IUDM_{t2}$ = Intention to use digital media (Post). Two asterisks (**) indicate correlations significant at p < .001.

	N	Min	Max	Mean	*SD*	1. $TPACK_{t1}$	2. TAM_{t1}	3. $IMDM_{t1}$	4. TSE_{t1}	5. $TPACK_{t2}$	6. $IUDM_{t2}$
1. $TPACK_{t1}$	490	1.56	3.83	2.67	.44	1	.462**	.505**	.067	.381**	.254**
2. TAM_{t1}	488	1.56	4.00	2.91	.54		1	.838**	.073	.257**	.370**
3. KIM_{t1}	488	1.56	4.00	2.9	.51			1	.040	.313**	.346**
4. TSE_{t1}	480	2.13	4.00	3.02	.36				1	.127*	.143*
5. $TPACK_{t2}$	257	1.92	4.00	2.94	.45					1	485**
6. $IUDM_{t2}$	255	1.00	4.00	3.28	.52						1

A high correlation at the significance level of p = 0.01 was measured among the factors $IMDM_{t1}$, TAM_{t1}, and $TPACK_{t1}$ at t_1. All three factors do not correlate with TSE_{t1}. Furthermore, all factors measured at t_1 (Pre) correlate significantly with the factors measured at t_2 (Post), $TPACK_{t2}$ and $IUDM_{t2}$, indicating correlation over time (from t_1 to t_2).

10.6.2 TPACK development and impact influenced by other constructs

We analyzed the extent to which TSE, TAM, IMDM, TPACK, and IUDM interact in a partial longitudinal model. TSE_{t1} was assumed to be a predictor of $IMDM_{t1}$ and TAM_{t1}, which are supposed to be predictors of $TPACK_{t1}$. An autoregressive path was used to test the extent to which the development of TPACK over time (and under the influence of the intervention) depends on itself, i.e., the measured TPACK at t_1. In addition, the influence of $TPACK_{t2}$ on the IUDM of pre-service teachers e.g., for lesson planning and delivery in the future ($IUDM_{t2}$), was examined.

The fit indices for the manifest path analysis (*Figure 10.3*) were satisfactory: χ^2 = 55.722, *df* = 25, p < .001, CFI = .98, TLI = .96, RMSEA = .05, and SRMR = . 042.

Figure 10.3

Path model of the regression with p-values for the hypotheses H1-H7 (solid arrows show significant paths, dashed arrows show not significant paths).

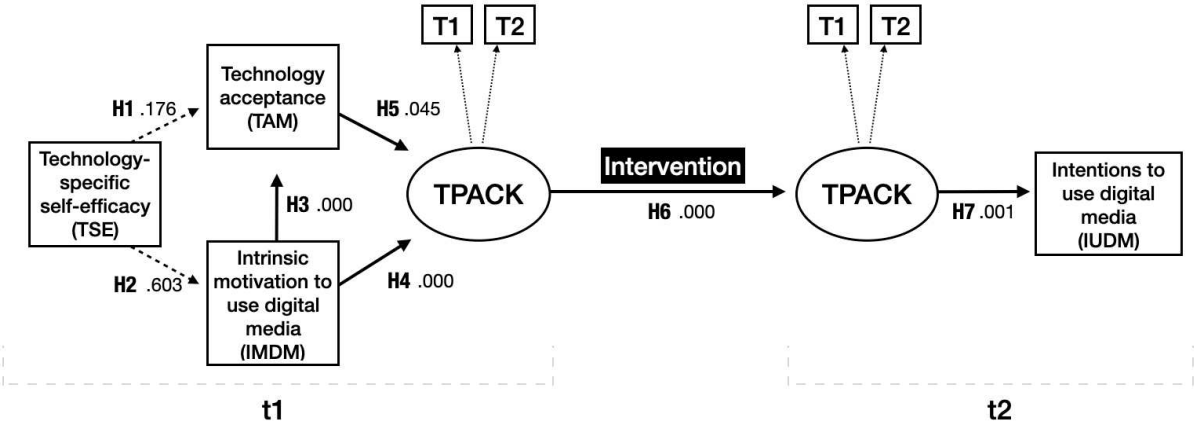


Table 10.3 presents the standardized path coefficients for each path analyzed. Furthermore, the quotients of the parameter and quotient error estimates are shown (which can be interpreted as z-values, cf. Muthén & Muthén, 2017, p. 798), allowing the statistical power r of Cohen (1988) being calculated for each path (Lenhard & Lenhard, 2016). In addition, the statistical significance of the paths is provided at the levels ** = $p < 0.01$ and * = $p < 0.05$. Based on the values given, each hypothesis in this study was either confirmed or rejected.

Table 10.3

*Results of the hypothesis tests include the path coefficients, z-values, and p-values (** = $p < 0.01$, * = $p < 0.05$) as well as the statistical power r according to Cohen (1988). $TPACK_{t1}$ = Technological pedagogical content knowledge (Pre), TSE_{t1} = Technological Self-Efficacy (Pre), TAM_{t1} = Technology Acceptance (Pre), $IMDM_{t1}$ = Intrinsic Motivation to use digital media (Pre), $TPACK_{t2}$ = Technological pedagogical content knowledge (Post), $IUDM_{t2}$ = Intention to use digital media (Post).*

	Path	**Path coefficient**	***z*-value**	**statistical power *r* *(Cohen, 1988)***	**Decision**
H1	$TSE_{t1} \rightarrow TAM_{t1}$	.037	1.354	.06 *(no effect)*	Not supported
H2	$TSE_{t1} \rightarrow IMDM_{t1}$	.024	0.521	.02 *(no effect)*	Not supported
H3	$IMDM_{t1} \rightarrow TAM_{t1}$	.831	55.112**	2.48 *(large effect)*	Supported
H4	$IMDM_{t1} \rightarrow TPACK_{t1}$	.436	4.756**	.21 (*small effect*)	Supported
H5	$TAM_{t1} \rightarrow TPACK_{t1}$	.182	2.004*	.09 (*small effect*)	Supported
H6	$TPACK_{t1} \rightarrow TPACK_{t2}$	.448	5.843**	.26 *(medium effect)*	Supported
H7	$TPACK_{t2} \rightarrow IUDM_{t2}$	.459	8.259**	.37 *(large effect)*	Supported

As a result of the analysis, TSE_{t1} could not be measured as a predictor for TA_{t1} and $IMDM_{t1}$ (H1 and H2 were not supported), even though a relationship among the constructs could be identified for both TAM (Holden & Rada, 2011) and IMDM (Lachner et al., 2021; Niederhauser

& Lindstrom, 2018; Vogelsang et al., 2019; Yamamoto, 2021). All other hypotheses (H3 to H7) could be supported. The effect sizes according to Cohen (1988) range from small to large effects. The examination of the extent to which the development of TPACK over time (and under the influence of the intervention) depends on TPACK itself (H6) achieving a medium effect.

The research model (see *Figure 10.3*) was used to test the variance explanation of the five endogenous variables TAM_{t1}, $IMDM_{t1}$, $TPACK_{t1}$, $TPACK_{t2}$, and $IUDM_{t2}$ using R^2. The coefficient of determination R^2 indicates what proportion of the variance in the data of this dependent variable can be explained by the estimated model (Backhaus et al., 2015). It was found that $IMDM_{t1}$ explains 70.5% of the variance of TAM_{t1} with an R^2 of .705 ($p < .001$), TAM_{t1} and $IMDM_{t1}$ explain the variance of $TPACK_{t1}$ by 35.7% ($R^2 = .357$; $p < .001$), and the same applies to $TPACK_{t1}$ on $TPACK_{t2}$ ($R^2 = .356$ / 35.6%; $p < .001$). The extent to which pre-service teachers tend to actually work with digital media and engage in further training ($IUDM_{t2}$) can be explained to 25.9% by $TPACK_{t2}$ ($R^2 = .259$; $p < .001$). Since no significant influence on $IMDM_{t1}$ could be measured on the basis of TSE_{t1} (only predictor), TSE_{t1} does not explain the variance in $IMDM_{t1}$.

The impact of the sex of the participants on the individual parameters and the development of TPACK was also tested in the model. However, since gender was found not to have any significant influence on the individual parameters, it is not discussed further.

10.7 Discussion

The aim of this study was to evaluate the TPACK development of pre-service science teachers following an intervention in a pedagogical makerspace with respect to personal factors that generally relate, for example, to attitudes and beliefs toward digital media. Moreover, the influence of those factors and TPACK on using digital media in class was examined.

Based on the findings of previous research, a research model was developed that allows TSE, IMDM, and TAM to be assumed as operationalized representatives of personal factors, and thus as predictors of TPACK. Seven hypotheses were formulated to transparently present the relationships among the four constructs before the intervention, the autoregressive relationship of TPACK, and the relationship between the two constructs after the intervention. The results of the analysis support hypotheses H3 to H7 of this study. With regard to t_1 (before the intervention), the following findings were inferred:

For TSE_{t1}, no significant influence on TAM_{t1} and $IMDM_{t1}$ (H1:X and H2:X) could be found. Thus, confidence in the ability to use the presented technology is neither essential for the motivation to engage with technology, nor does a lack of intuitive usability appear to have an influence on the acceptance of the available technology, e.g., for the creation of prototypes in the

context of the project. This is not consistent with findings of Holden and Rada (2011) and Yamamoto and colleagues (2021), who identified TSE as a significant predictor of TAM. Similarly, the literature points to a strong relationship between TSE and IMDM (Lachner et al., 2021; Yamamoto, 2021) that also could not be confirmed by the results of this study.

The investigation of possible interactions between TAM and IMDM was recommended by Lachner et al. (2021), as suitable databases remain insufficient. We found a strong correlation between $IMDM_{t1}$ and TAM_{t1} (r = .838**). The motivation of pre-service teachers to utilize digital technologies depends highly on how the technologies are accepted and assessed as useful and practicable for professional use (70.5%: R^2 = .705); H3:✓). Both motivation (H4:✓) and technology acceptance (H5:✓) have an influence on $TPACK_{t1}$, but the predictors exhibit only a small effect (see Table 3). Therefore, further factors as predictors for TPACK must be considered.

For the development of $TPACK_{t2}$, the existing $TPACK_{t1}$ is important (H6:✓), since TPACK can develop in a more targeted and cumulative way through an already existing, conscious cognitive linking of such knowledge. However, with 35.6% explained variance, $TPACK_{t1}$ represents only one of several factors that affect TPACK development. Other factors shaping TPACK-development during work in the pedagogical makerspace were not investigated and thus represent a research desideratum for studies that deal with “TPACKing” in the realm of makerspaces as learning opportunities for pre-service teachers. Nevertheless, pre-service teachers with higher TPACK before project work benefit significantly more than those with lower TPACK.

With regard to t_2 (after the intervention), the following could be measured. $IUDM_{t1}$ is significantly influenced by TPACK with a strong effect (H7:✓). Since this relationship potentially causes an increased engagement with digital media in teaching, the intentions in turn could be a predictor for TPACK, which has not been adequately addressed in the research literature to date. The impact of TPACK on intention was also measured significantly by Liu (2011), but could not be confirmed by other authors (Joo et al., 2018; Lachner et al., 2021), which according to Lachner et al. (2021) may be attributed to ceiling effects that might have biased their results.

Although there have been numerous studies dealing with the relationships of the various constructs with each other and with TPACK among pre-service teachers and in-service teachers, there is still disagreement about which factors significantly influence TPACK development. The results of this study sharpen the view on the structure of effects around TPACK and examine the makerspace as an innovative learning space influencing the development of TPACK.

The potential of a pedagogical makerspace lies in the fact that each pre-service teacher can cumulatively build on their personal level of knowledge with their individual previous technological experience and that everyone can obtain support when a lack of TPACK can lead to excessive demands.

The learning experiences formulated by pre-service teachers in working through the challenges generated (i.e., designing digitally-supported teaching-learning materials for a specific subject context) are shaped by productive and constructive failure and an open culture of error. In this context, on the one hand, the challenges and project goals defined at the beginning can be individually adapted to the learners' level of performance, and on the other, experts and support materials prevent learners' "complete failure." This appears to be imperative to ensure that related factors (e.g., motivation, technology acceptance, attitudes, beliefs toward digital media) do not negatively impact TPACK development.

Implications for fostering TPACK in university education

Our results indicate that pedagogical makerspaces can be regarded as suitable learning environments to develop TPACK, particularly for pre-service teachers who already have basic TPACK. The level of TPACK at the beginning of the project appears to be an important predictor for TPACK at the end of the project. Similar findings were shown in past research (Zimmermann et al., 2021). However, profound knowledge and technology specific self-efficacy are not needed to perform projects in a makerspace successfully.

Nevertheless, TPACK should be addressed prior to the project work in a pedagogical makerspace during the pre-service teachers' training and extended in a series of learning opportunities.

The psychological transformations that take place while working in a pedagogical makerspace have not been thoroughly investigated. We know little about which personality factors motivate makers, even though there are many obstacles and difficulties during this process. It is important to know which factors can lead to early instances of quitting to support these teachers and keep them going to be able to succeed and improve self-efficacy. Although the present study did not find such an effect considering TSE, this effect was often reported in other studies. Therefore, this factor should not be neglected. As the participants in our study were already at least in their third year of studying, the level of study progress might vary with TSE as an important influencing factor. Abbitt (2014) found a correlation between TSE and TPACK components that grew stronger from before the test to after the test. The students in this study were at the end of their studies. In a recent study of Zimmermann et al. (2021), the influence of the study progress was integrated in the development of TPACK and self-efficacy. It was found that TSE had more influence in the

more advanced students. It is possible that the range of study progress in the study at hand was too large. Further, TSE can also be measured with different instruments; some might be better suited to measure TSE with respect to TPACK competencies.

Working in a pedagogical makerspace is unusual for pre-service science teachers in several ways:

1. They are not familiar with working independently in teams on projects.
2. They are only vaguely familiar with organizing projects over an entire semester.
3. They are often only partially familiar with the technologies necessary for the success of the project.

Although pre-service teachers typically face the challenge of the thoroughly constructivist learning environment of a makerspace, they should be accompanied by support measures. It is therefore appropriate for instructors in a pedagogical makerspace to set a good example and teach with digital media in a project-oriented manner. In many cases, this means that instructors must also first familiarize themselves with the way things work in a pedagogical makerspace.

The intention to use digital media increases with increasing TPACK. For this reason, one important goal in teacher education is to focus on the professionalization of TPACK. However, the concrete implementation of TPACK is not yet well defined and might change dynamically with the fast-paced ongoing progress of technical achievement. Therefore, a continuous derivative in teacher education should be implemented in the curricula and in the personnel planning.

10.7.1 Limitations of this study

Since three out of four cohorts participated in the intervention and evaluation during the COVID pandemic, monitoring of task completion was only possible to a limited extent and, as a consequence, only a portion of the sample took part in the post-intervention evaluation. This was sometimes due to the fact that they were overwhelmed with the change to digital and often asynchronous teaching during COVID, combined with the flood of information and tasks.

On the other hand, the pre-service science teachers were more engaged with the handling and use of digital media in regular courses due to online teaching, which could have influenced the results of the study. The visit to the makerspace had to be booked in advance due to hygiene regulations and was therefore not as flexible as outside the context of the pandemic. As a consequence, pre-service teachers of different working groups could not

support each other since it is actually intended for the work in the makerspace "in normal times."

10.7.2 Conclusion

The results of this study provide evidence that working in a makerspace supplemented by TPACK-related input is suitable for teaching TPACK to pre-service science teachers. Pre-intervention TPACK is an important predictor of TPACK at the end of the project. IUDM, TAM, $TPACK_{t1}$, and $TPACK_{t2}$ correlated with each other. No correlation of technology-specific self-efficacy was found in contrast to other studies (such as Abbitt, 2014; Zimmermann et al., 2021). Thus, neither was the confidence in the ability to use technology essential for the motivation to engage with technology during project work in a pedagogical makerspace, nor did a lack of intuitive usability seem to affect the acceptance of the technology. Intrinsic motivation to use digital media and technology acceptance did influence $TPACK_{t1}$, allowing $TPACK_{t2}$ to develop positively. Increased $TPACK_{t2}$ at the end of the project had a positive impact on the intention to utilize digital technologies in class.

Our results indicate that pre-service teachers are willing to engage in project work in the pedagogical makerspace even if their technology-specific self-efficacy is rather low. This makes the makerspace an exciting place to learn even for pre-service teachers with lower TPACK. Nevertheless, especially pre-service teachers with higher TPACK before project work increase their TPACK by working in the makerspace. This suggests at least two lines for future research on the use of makerspaces for teaching TPACK: 1. it needs to be clarified which complementary learning opportunities and support pre-service teachers with different prerequisites need to gain the greatest possible benefit from working in the makerspace. In this context, researchers need to consider personality factors that motivate makers. 2. it seems important to investigate what influence project work in a makerspace has on pre-service teachers' conceptions of teaching and whether the makerspace can also function as an accelerator towards more constructivist forms of teaching.

In order to impart TPACK, we consider it necessary to focus on the cumulative professionalization of TPACK and to always pay attention at least to the contextual factors like IMDM and TAM when developing learning.

11. Gemeinsame Diskussion der Ergebnisse

Das der Dissertation zugrundeliegende Projekt *TPACK 4.0* strebte die Förderung von TPACK bei angehenden naturwissenschaftlichen Lehrkräften durch eine integrierte Medienbildung in die einzelnen Fächer der ersten Phase der Lehrkräftebildung an. Für die Konzeption einer darauf ausgerichteten Intervention wurde basierend auf den Erkenntnissen bisher in der Literatur beschriebener Wirkungsstudien sowie aus theoretischen Empfehlungen zentrale Anforderungen an einen Interventionsansatz zur Förderung von TPACK abgeleitet und im Konzeptionsprozess beachtet (vgl. *Kapitel 2.2*). Besonders zielführend schien dafür ein design- und projektbasierter Ansatz zu sein (vgl. Baran & Uygun, 2016; Bonafini & Lee, 2021; Zhang & Tang, 2021), der durch fachspezifische Projekte die Möglichkeit für individuelle, aktive und hochwertige Erfahrungen mit unterschiedlichen Technologien in einem authentischen Kontext bietet (vgl. Schmid et al., 2020; Tondeur, 2012), das kumulative Anknüpfen an das bestehende TPACK der angehenden Lehrkräfte ermöglicht und Einblicke in lernförderliche Technologieintegrationen in Lehr-Lernsettings liefert (vgl. Chai et al., 2011). Entsprechend wurde im Rahmen des Projekts (und damit der vorliegenden Dissertation) ein Makerspace entwickelt, der das individuelle Arbeiten an technologiebezogenen Projekten fördern und mit seinen offenen Räumlichkeiten und den darin für alle Interessierten frei verfügbaren analogen und digitalen Geräten (Frauenhofer IAO, 2018; Knaus & Schmidt, 2020) eine angemessene und lernförderliche konstruktivistische Lehr-Lernumgebung schaffen sollte.

Das Bestreben des vorliegenden Forschungsvorhabens war es daher erstmals zu evaluieren, inwieweit sich ein in den pädagogischen Kontext implementierter Makerspace als wirksame Lehr-Lernumgebung für die Förderung von TPACK bei angehenden (naturwissenschaftlichen) Lehrkräften erweist. Diesem Vorhaben wurde ein Interventionskonzept zugrunde gelegt (s. *Kapitel 5.1*), dessen Kernelement die Umsetzung eines fachbezogenen Medienprojekts in einem pädagogischen Makerspace ist, welches über ein Semester von angehenden Lehrkräften in kleineren Projektgruppen bearbeitet werden sollte. Die Aufgabe im Medienprojekt war die Entwicklung und Produktion digitalgestützter Unterrichtsmaterialien oder -Konzepte für den Fachunterricht. Eingebettet wurden die Medienprojekte in für dieses Forschungsvorhaben ausgewählte fachdidaktische Seminare der naturwissenschaftlichen Fächer. Diese lieferten den organisatorischen Rahmen für die Projektumsetzung, einen fachlichen bzw. fachdidaktischen Kontext für die Themenfindung sowie mehrere über das Semester verteilte Zeitfenster, in denen individuelle Erfahrungen aus den Projektarbeiten ausgetauscht und problemlöseorientiert mit den Dozierenden reflektiert werden konnten (vgl. *Kapitel 5.1.1*). Zusätzlich mussten alle angehenden Lehrkräfte als Projektvorbereitung einen verpflichtenden mediendidaktischen Input bearbeiten, der fach- und seminarübergreifend

eine einheitliche mediendidaktische Wissensbasis (TPK) legte (vgl. *Kapitel 5.1.2*). Für die eigentliche Konzeption und Durchführung der Projekte verfügten die angehenden Lehrkräfte anschließend über einen freien Workload (ca. 70 Zeitstunden pro Person), der für die kollaborative und selbstorganisierte Projektumsetzung im pädagogischen Makerspace genutzt werden konnte. Dabei sollte der Makerspace für die Umsetzung der Medienprojekte nicht nur die erforderliche Infrastruktur bereitstellen, sondern auch einen auf den individualisierten Bedarf der Projektgruppen ausgerichtetes Unterstützungssystem liefern (Jin, 2021; Jones et al., 2020; Kurti et al., 2014; vgl. *Kapitel 3*).

Um dem Bestreben des vorliegenden Dissertationsvorhabens nachzukommen, wurden drei übergeordneten Zielsetzungen verfolgt. Dabei wurde (1) die Wirksamkeit der Intervention im pädagogischen Makerspace zunächst über Selbsteinschätzungen gemessen sowie mögliche personelle Einflussfaktoren auf die TPACK-Entwicklung untersucht (2) ein Leistungstest zur Fremdeinschätzung von TPACK entwickelt, der ergänzend eine Triangulation mit den Selbsteinschätzungsdaten ermöglicht und (3) die bei der Projektarbeit im Makerspace von angehenden Lehrkräften wahrgenommenen Herausforderungen und dazu entwickelten Problemlösestrategien identifiziert, um eine Grundlage für die strukturelle und konzeptionelle Weiterentwicklung des pädagogischen Makerspace zu schaffen. Um diese Zielsetzungen zu adressieren wurden acht Forschungsfragen (s. *Kapitel 4*) entwickelt, auf die in den folgenden Kapiteln auf der Basis der Ergebnisse aus den Studien 1 bis 5 eingegangen wird.

In *Kapitel 11.1* wird zunächst diskutiert, wie wirksam die Intervention für die Entwicklung von TPACK jeweils aus der Perspektive der Selbst- und Fremdeinschätzung war und welche Passung zwischen selbsteingeschätztem und fremdeingeschätztem TPACK nach Triangulation der Daten vorliegt. Dabei wird zudem auf die Erhebungsinstrumente eingegangen, welche zur Messung von TPACK im Rahmen des Forschungsvorhabens der Dissertation zur Selbst- und Fremdeinschätzung von TPACK ausgewählt oder entwickelt wurden. Darüber hinaus wurden über den Prä-Post-Fragebogen zusätzlich personenbezogene Konstrukte erhoben, deren Zusammenhang mit TPACK in *Kapitel 11.2* dargestellt und diskutiert werden. In *Kapitel 11.3* werden die im formativen Evaluationsprozess identifizierten wahrgenommenen Herausforderungen aufgeführt, denen sich angehende Lehrkräfte bei der Umsetzung der selbstorganisierten und fachbezogenen Medienprojekte stellen müssen. Dadurch können zukünftig Anpassungen des hier vorgestellten Interventionskonzepts unter Beachtung dieser Herausforderungen so vorgenommen werden, dass die Intervention unabhängig von medienbezogenen Vorerfahrungen und bereits bestehendem TPACK der Zielgruppe wirkungsvoll wird. Abschließend werden in *Kapitel 11.4* Empfehlungen als „lessons learned“ für die TPACK-bezogene Arbeit in einem pädagogischen Makerspace abgeleitet.

11.1 TPACK-Entwicklung im pädagogischen Makerspace und Vergleich der Messinstrumente

Die Ergebnisse aus den TPACK-Selbsteinschätzungen der vorliegenden Studien (vgl. *Studien 2, 4 und 5*) machen deutlich, dass die Teilnehmer der Interventionsgruppe – über alle Kohorten hinweg – ihr TPACK nach Abschluss der fachbezogenen Projektarbeit im pädagogischen Makerspace im Vergleich zu den Teilnehmern der Kontrollgruppe signifikant höher einschätzten als vor der Intervention (vgl. *Kapitel 8.5.2*, *9.4.1* und *10.6.2*). Dieses Ergebnis wird von den Fremdeinschätzungsdaten des Prä-Post-Leistungstests bestätigt (vgl. *Forschungsfrage 5*). Dabei trat dieser Effekt auf, obwohl nicht nur die Interventionsgruppe (im Rahmen der Intervention), sondern auch die Kontrollgruppe durch die pandemiebedingte Umstellung der Hochschullehre auf Online-Unterricht während der COVID-19-Pandemie stärker als zuvor mit digitalen Medien konfrontiert wurden (vgl. *Limitation in Kapitel 11.5)*. Somit zeigen die Ergebnisse – sowohl aus Selbsteinschätzungen als auch aus Fremdeinschätzungen – eine durch das Angebot des pädagogischen Makerspace und den darin durchgeführten fachbezogenen Medienprojekten bedingte Förderung von TPACK (vgl. *Forschungsfrage 5*), obwohl die pandemiebedingten Begleitumstände generell zu einer erhöhten Auseinandersetzung mit digitalen Medien führten.

Ausschlaggebend für die Entwicklung von TPACK scheint nach Analyse der Selbsteinschätzungsdaten das bereits zu Beginn der Projektarbeit vorliegende TPACK zu sein (Kohorte 1-3 in *Kapitel 8.4.2*; Gesamtstichprobe *Kapitel 5.3*). Dem zu Folge profitieren vorrangig jene Teilnehmer von den Technologieerfahrungen im Makerspace, die ihren TPACK-Wissensstand bereits zu Beginn des Medienprojekts höher einschätzen (*Kapitel 9.4.3*). Inwiefern das Ergebnis jedoch auf das anwendungsbezogene TPACK zutrifft, kann daraus nicht abgeleitet werden. Denn bei der Verwendung bestehender Selbsteinschätzungsskalen bleibt stets eine fehlende inhaltliche Passung zwischen Intervention und Items trotz empfohlener Konkretisierung der Fragebogenitems an den Interventionskontext – die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführt worden ist – oft bestehen (Njiku et al., 2020). Darüber hinaus findet durch den Einsatz von Selbsteinschätzungstests die TPACK-Messung isoliert von der eigentlichen Anwendungspraxis statt. Dies stellte vor allem für die Studien der vorliegenden Dissertation eine Problematik dar, da durch die Intervention angestrebt wurde, konzeptionelles TPACK performativ („in-action“) und anwendungsorientiert durch Medienprojekte zu fördern (*Kapitel 6.5*). Im Rahmen solcher Interventionsvorhaben scheint der alleinige Einsatz von Fragebögen zur Messung des komplexen, kontextspezifischen und anwendungsbezogenen TPACK zu kurz gegriffen. Entsprechend ist eher fragwürdig, ob Selbsteinschätzungsskalen ein realistisches Feedback über den Fortschritt des eigenen TPACK erlauben.

Um das adressierte TPACK-Konstrukt dennoch valide messen zu können (Gesichts- und Inhaltsvalidität), wurde im Rahmen der Dissertation ein Leistungstest zur Fremdeinschätzung von TPACK entwickelt, welcher den Umgang mit TPACK bei angehenden Lehrkräften bezogen auf die drei Komplexitätsstufen „Erinnern“, „Anwenden“ und „Verstehen“ misst (vgl. *Kapitel 6; Forschungsfrage 1*). Diese differenziertere Betrachtung der TPACK-Entwicklung zeigte, dass ausschließlich in den Bereichen „Erinnern“ und „Verstehen“ ein Leistungszuwachs mit mittlerem bis starkem Effekt stattfand (Cohen, 1988). Dagegen konnte im Bereich „Anwenden“ kein Leistungszuwachs gemessen werden (vgl. *Kapitel 9.4.2*). Grund hierfür kann die Konzeption der Intervention gewesen sein. Denn obwohl die Teilnehmer der Interventionsgruppe ihr TPACK im Rahmen des mediendidaktischen Inputs „verstehen“ und in der Umsetzung des Medienprojekts „anwenden“ mussten, fand die Anwendung von TPACK isoliert von der eigentlichen Unterrichtspraxis statt. Künftige Programme zur Förderung von TPACK bei angehenden Lehrkräften sollten deshalb so gestaltet werden, dass TPACK zum einen reflexiv und in stetiger Anwendung sowie in direkter Anbindung an die Unterrichtspraxis mit situativen und kontextspezifischen Erfahrungen gefördert wird (s. a. Jen et al., 2016; Olofson et al., 2016). Um dafür konzeptionelle Voraussetzungen zu schaffen, die das anwendungsorientierte TPACK noch stärker in den drei Bereichen fördern, könnte zukünftig eine stärkere Verzahnung der Arbeit im Makerspace mit der Unterrichtspraxis dadurch angestrebt werden, dass Projektprodukte wie digitale Lerngegenstände oder digitalgestützte Unterrichtskonzepte, z. B. direkt im Anschluss an das Medienprojekt im Feld mit Schülerinnen und Schülern oder Studierenden getestet werden. Dies ergänzt den ganzheitlichen Projektprozess durch eine retroperspektive Endreflexion auf Basis von Praxiserfahrungen. Die dabei eingenommene Metaperspektive könnte den kritischen Blick über die Vor- und Nachteile digitalgestützter Lehr-Lernarrangements im fachspezifischen Unterrichtskontext weiter schärfen (vgl. *lessons learned 5* und *6* in *Kapitel 11.4).*

Damit ferner Unterstützungsmaßnahmen noch besser angepasst werden können, ist ein Verständnis über die Leistungsmuster der Zielgruppe entscheidend. Dafür wurde mit den Postdaten des Leistungstests eine Clusteranalyse durchgeführt *(*vgl*. Kapitel 9.4.2*), die unter Beachtung der drei Komplexitätsstufen „Erinnern“, „Verstehen“ und „Anwenden“ drei Leistungsgruppen in der Stichprobe identifizieren konnte: Die Low-Performer, die Middle-Performer und die High-Performer. Vor allem die Low-Performer hatten auf allen drei Stufen Schwierigkeiten ihr TPACK zu „erinnern“, dieses zu „verstehen“ und im Aufgabenkontext „anzuwenden“ (*Kapitel 9.4.2)*. Dabei unterscheiden sich die Low-Performer von den Middle-Performern lediglich in der mangelnden Fähigkeit, TPACK-bezogene Inhalte zu „verstehen“. Für Low-Performer sollten TPACK-Lerneinheiten deshalb zukünftig besonders das Verständnis von digitalgestützten Inhalten im Fachunterricht z. B. durch fachexemplarische

Erklärvideos mit ergänzenden digitalen, interaktiven Übungen adressieren, damit TPACK zielgerichtet angeeignet und in Verständnisaufgaben „angewendet“ werden kann. High-Performer zeichnen sich besonders durch ihre Fähigkeit aus, TPACK in Ansätzen bereits auf verschiedene Kontexte weitgehend kriteriengeleitet „anwenden“ und davon ausgehend „anwendungsbezogene“ Handlungsentscheidungen für die fachbezogene Unterrichtspraxis treffen zu können. Diese Fähigkeit setzt allerdings das „Erinnern“ und „Verstehen“ von TPACK voraus. Schaffen es auch die Low- und Middle-Performer ihr TPACK durch die verschiedenen Unterstützungsangebote in den Bereichen „Erinnern“ und „Verstehen“ weiter auszubauen, können Low-, Middle- und High-Performer gleichermaßen von der Intervention profitieren.

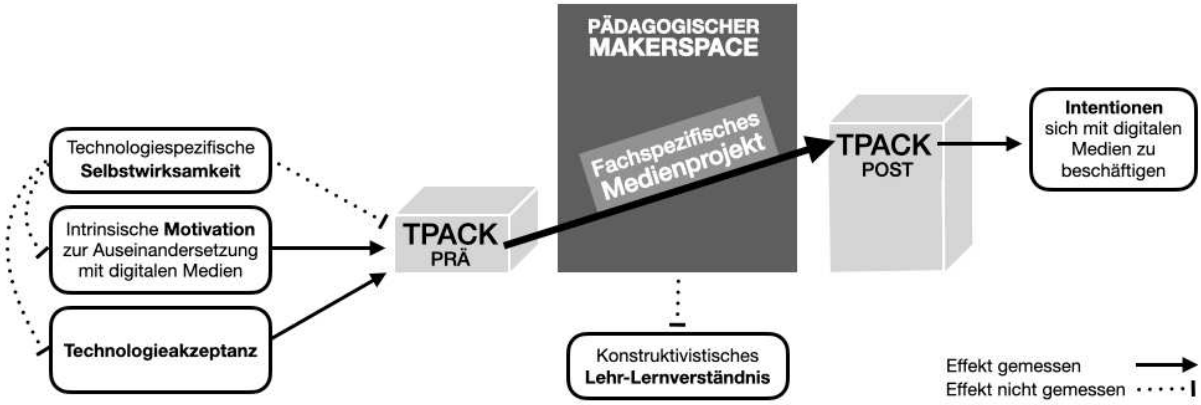
Vergleicht man nun die Daten des Leistungstests mit jenen der Selbsteinschätzung, wird sichtbar, dass angehende Lehrkräfte vor und nach der Intervention dazu neigen, ihr TPACK zu überschätzen (*Kapitel 9.4.3*). Eine deutliche Überschätzung liegt besonders dann vor, wenn die Selbsteinschätzung von TPACK mit jener Leistung verglichen wird, bei der angehende Lehrkräfte TPACK im Prozess der Unterrichtsplanung begründet auf ein Unterrichtsszenario „anwenden“ müssen. Erfordert die Aufgabe lediglich das „Erinnern" von Fakten oder das Sammeln von Vor- und Nachteilen eines digitalen Mediums („Verstehen“), trifft die Selbsteinschätzung zumindest deskriptiv immerhin bei einem Teil der Studierenden zu. Somit hängt der Grad der Überschätzung von der Art des in den Leistungsaufgaben abgefragten Wissens ab. Dies deckt sich mit Ergebnissen aus anderen Disziplinen (Andrade, 2019; Brown & Harris, 2013; Rohr, 2018). Grund dafür kann ein mangelndes Verständnis für das anwendungsorientierte TPACK sein, welches neben einer zu gering ausgeprägten Fähigkeit zur Selbsteinschätzung Voraussetzung dafür ist, dass der eigene Lernprozess und das eigene Lernergebnis selbst angemessen eingeschätzt und bewertet werden können. Eine Fehleinschätzung der eigenen Kompetenzen mindert somit die Validität des Messinstruments und schränkt in der Folge sowohl die Reliabilität der Messung als auch die Interpretation der Forschungsergebnisse ein. Dieser Problematik kann auf zwei Weisen begegnet werden: Erstens lässt sich durch die, im Rahmen des Dissertationsvorhabens durchgeführte und von mehreren Autoren vorgeschlagene, Triangulation der TPACK-Daten eine genauere Aussage über das bestehende TPACK bzw. die Entwicklung des anwendungsbezogenen TPACK treffen sowie die Messgenauigkeit der Selbsteinschätzungstests zur Kalibrierung der Messinstrumente besser bewerten. Zweitens könnten die Ergebnisse des Leistungstests zusätzlich als externes Feedback für angehende Lehrkräfte genutzt werden, um vor allem Studierende mit mangelnden Selbsteinschätzungsfähigkeiten darin zu stärken, sich selbst konsequent und realistischer einzuschätzen. Erst dann können TPACK-Skalen zur studentischen Selbstevaluation erst zielführend zum Einsatz kommen (vgl. *Forschungsfrage 7*).

Zusammengefasst ermöglichte also die Ergänzung der TPACK-Erhebung um die Fremdeinschätzung zum einen das Aufdecken einer Diskrepanz zwischen Fremd- und Selbsteinschätzung des TPACK und zum anderen das Ableiten gezielter Unterstützungsmaßnahmen mit unterschiedlichem Fokus zur Förderung von TPACK bei angehenden Lehrkräften, je nach anfänglicher Kompetenz auf den Ebenen „Verstehen“, „Erinnern“ und „Anwenden“. Dieses Ergebnis unterstreicht somit die Relevanz der von verschiedenen Autoren eingeforderte Triangulation durch ein zusätzliches Maß ergänzend zu den Selbsteinschätzungen. Um das Verständnis über TPACK und dessen Entwicklung weiter auszubauen, sollten gemäß des Forschungsstandes (vgl. *Kapitel 2.4*) auch der Einfluss personenbezogener Konstrukte weiterführend untersucht werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden nun in *Kapitel 11.2* diskutiert.

11.2 Einfluss personenbezogener Konstrukte auf die TPACK-Entwicklung

Die Forschungsliteratur berichtet von relevanten personenbezogenen Konstrukten, die Einfluss auf die TPACK-Entwicklung haben bzw. von TPACK beeinflusst werden können: (a) Die technologiespezifische Selbstwirksamkeit, (b) die intrinsische Motivation, sich mit digitalen Medien auseinanderzusetzen, (c) die Technologieakzeptanz und (d) die Intentionen, sich mit digitalen Medien zu beschäftigen (vgl. *Kapitel 2.4*). Um die Relevanz und den Einfluss dieser Faktoren auf die TPACK-Entwicklung im Kontext des Förderansatzes (projektbasiertes Arbeiten in einem pädagogischen Makerspace) untersuchen zu können, wurden in dem Prä-Post-Fragebogen passende Messinstrumente ergänzt (vgl. *Kapitel 5.4.1*; vgl. Forschungsfrage 8). Da sich die angehenden Lehrkräfte aktiv und eigenständig mit dem Inhalt und der Umsetzung des Projekts auseinandersetzen und je nach Bedarf selbstorganisiert auf die Unterstützungsstrukturen des Makerspace zur Konstruktion des eigenen Lösungsweges zurückgreifen mussten, wurde zusätzlich eine Skala ergänzt, die (e) das konstruktivistische Lehr-Lernverständnis abbildet. In *Abbildung 11.1* werden die erhobenen Konstrukte und ihre Veränderungen übersichtlich dargestellt, die außerdem im Folgenden hinsichtlich ihres Einflusses auf die Entwicklung von TPACK diskutiert werden.

Abbildung 11.1
Erhobenen Konstrukte und ihre Veränderungen



Technologiebezogene Selbstwirksamkeit. Da Selbstwirksamkeit durch die Fähigkeit einer Person beschrieben wird, eine bestimmte Aufgabe ausführen oder ein Ziel erreichen zu können (Holden & Rada, 2011), gewinnt die vorhandene technologiebezogene Selbstwirksamkeit auch für den Projektprozess und das Umsetzen der Projektziele im pädagogischen Makerspace an Relevanz. Studien berichten von einem starken Zusammenhang zwischen technologiebezogener Selbstwirksamkeit und der Technologieakzeptanz oder der intrinsische Motivation im Umgang mit digitalen Medien (Lachner et al., 2021; Niederhauser & Lindstrom, 2018; Vogelsang et al., 2019; Yamamoto, 2021). Beide Zusammenhänge konnten mit den vorliegenden Daten nicht bestätigt werden (*Studie 5*; *Kapitel 10.5.2*). Ebenso wurde keine signifikante Veränderung der technologiebezogenen Selbstwirksamkeit im Verlauf der Intervention gemessen (*Kapitel 8.4.2*). Dies könnte zum einen an der pandemiebedingten Umstellung auf online-Lehre und der damit steigenden Unsicherheit aufgrund der sich ändernden Umstände gelegen haben (vgl. *Kapitel 11.6)*. Zum anderen könnten zu ehrgeizig formulierte Ziele für das Medienprojekt im Vergleich zum verfügbaren TPACK der Projektmitglieder im Arbeitsprozess Grund dafür gewesen sein (vgl. *Kapitel 8.5.1)*, die im Laufe des Projekts zur Überforderung und Frustration und damit zu einer vermindert wahrgenommenen technologiebezogenen Selbstwirksamkeit führten. Dafür müssten zukünftig Unterstützungsmaßnahmen für eine bessere Aufgabenbewältigung entwickelt werden, die das Erreichen der Projektziele erleichtern.

Intrinsische Motivation zur Auseinandersetzung mit digitalen Medien. Die intrinsische Motivation zur Auseinandersetzung mit digitalen Medien stieg bei angehenden Lehrkräften durch das Medienprojekt im pädagogischen Makerspace signifikant (*Kapitel 8.5.2).* Durch die Bearbeitung in Projektteams werden nach Ryan und Deci (2000) mit der sozialen

Eingebundenheit und dem Erleben von Autonomie bereits zwei von drei Voraussetzungen zur Entstehung intrinsischer Motivation erfüllt. Schließen die angehenden Lehrkräfte im Sinne eines Kompetenzerlebens das Medienprojekt auch noch erfolgreich ab, steigt die Motivation, mehr über die lernförderliche Integration und Verwendung digitaler Medien im Bildungskontext wissen zu wollen (Yamamoto, 2021). Gleichzeitig kann sich durch eine höhere intrinsische Motivation auch der Umfang und die Intensität der Auseinandersetzung mit digitalen Medien für den lernförderlichen, technologiegestützten Fachunterricht erhöhen, wodurch die intrinsische Motivation bisher als Einflussfaktor auf die TPACK-Entwicklung vermutet wurde (vgl. Sojanah et al., 2021). Die vorliegenden Daten bestätigen diese Vermutung (*Studie 5*; *Kapitel 10.5.1). Studie 5* der vorliegenden Dissertation konnte somit intrinsische Motivation als einen Prädiktor für TPACK ausmachen.

Technologieakzeptanz. Die Umsetzung des Medienprojekts hat die Technologieakzeptanz der angehenden Lehrkräfte positiv beeinflusst (Studien 5; *Kapitel 8.5.2*). Die Anwendung der Technologie für die Erstellung von Unterrichtsmaterialien (z.B. Erklärvideos) oder die Konzeption technologiegestützter Lehr-Lernumgebungen (z.B. interaktive Lernräume mit H5P) wurde von den angehenden Lehrkräften der Interventionsgruppe im Laufe des Projekts als nützlich und benutzerfreundlich wahrgenommen (vgl. *Kapitel 2.4.4)*. Hilfreich kann dafür eine Vorauswahl an zielführender Hard- und Software im pädagogischen Makerspace gewesen sein, für deren Anwendung zielgerichtet Tutorials produziert und den Teilnehmern an die Hand gegeben wurden. Studie 5 zeigte außerdem, dass sich sowohl eine höhere Technologieerfahrung (durch private oder berufliche Vorerfahrungen), als auch eine höhere intrinsischen Motivation vor der Intervention positiv auf die TPACK-Entwicklung auswirken (*Kapitel 10.5.1*). Somit sind die intrinsische Motivation sowie die Technologieakzeptanz zentrale Prädiktoren für TPACK, die wie von Lachner et al. (2021) vermutet, auch untereinander in starker Wechselwirkung stehen: So geht mit einer hohen Motivation für die Auseinandersetzung mit digitalen Medien gleichzeitig auch eine erhöhte Technologieakzeptanz einher, die die Entwicklung von TPACK begünstigen (vgl. *Kapitel 10.5.1* und *Kapitel 10.5.2).*

Konstruktivistisches Lehr-Lernverständnis. Da die angehenden Lehrkräfte in der offen konstruktivistischen Lehr-Lernumgebung aktiv und selbstorganisiert ihren TPACK-Lernprozess steuern und durchlaufen mussten (*Kapitel 3.2*), hätte sich die Projektarbeit im pädagogischen Makerspace positiv auf das konstruktivistische Lehr-Lernverständnis auswirken können. Dieser Effekt wurde in den Daten jedoch nicht gefunden (*Kapitel 7.4.2*). Die zahlreichen Herausforderungen, die während der Projektorganisation und -durchführung

auf verschiedenen Ebenen (z.B. bei der Arbeitsbewältigung und dem Teamwork) auftraten (vgl. *Kapitel 7.4.1* und *Kapitel 8.5.2)* könnten diesem Effekt entgegengewirkt und daher eine Erklärung für das Ausbleiben des positiven Einflusses sein. Entsprechend sollten zukünftig die zur Frustration und Überforderung führenden Herausforderungen im Projektprozess weiter identifiziert (wie im Rahmen von prozessbegleitenden Interviews bereits geschehen, vgl. *Kapitel 5.7*) und durch die erweiterte Implementation passender Unterstützungsmaßnahmen in den Makerspace überwindbar gestaltet werden (vgl. *Kapitel 5.1.1.1)*, damit sich die angehenden Lehrkräfte diesen gewachsen fühlen und es somit insgesamt zu einem Kompetenzerleben während des Projektverlaufs kommen kann (vgl. Ryan & Deci, 2000).

Intentionen zur Beschäftigung mit digitalen Medien. Je mehr angehende Lehrkräfte über TPACK verfügen, desto höher sind Interesse und Bereitschaft sich weiter mit digitalen Medien auseinanderzusetzen und darin fortzubilden (*Kapitel 10.5.1*). Damit sind die Intentionen zur Beschäftigung mit digitalen Medien eng an die technologiebezogenen Einstellungen geknüpft (*Kapitel 2.4.1)*, die als Grundvoraussetzung dafür gesehen werden können, dass es fortführend zur aktiven und selbstinitiierten Auseinandersetzung mit digitalen Medien kommt (Guggemos & Seufert, 2021; Liu, 2011; Teo, 2012). Inwiefern diese Bereitschaft anschließend jedoch in die Tat umgesetzt wird, konnte mit den Daten der vorliegenden Studie nicht beantwortet werden und stellt somit ein Forschungsdesiderat dar, welches in zukünftige Studien fortführend untersucht werden sollte.

Zusammenfassend kann der Lernerfolg von TPACK kann im Rahmen medienbezogener Lernprozesse in einem pädagogischen Makerspace durch das Ausmaß des bereits existierenden *TPACK* sowie durch weitere Faktoren wie der *Intrinsische Motivation zur Auseinandersetzung mit digitalen Medien* und der *Technologieakzeptanz* unterstützt werden (*vgl. Forschungsfrage 8; Kapitel 4*). Positive Technologieerfahrungen haben somit in der Lehrkräftebildung durch ihren starken Einfluss auf die Einstellungen und Überzeugungen angehender Lehrkräfte gegenüber der Arbeit und dem Umgang mit digitalen Medien eine hohe Relevanz. Daraus kann gefolgert werden, dass der pädagogische Makerspace als stark konstruktivistische Lernumgebung eine nützliche Ergänzung des Portfolios von Lernumgebungen an Hochschulen ist, durch die angehende Lehrkräfte technologiebezogenes Wissen erwerben und ihre Einstellung zur Nutzung digitaler Medien verbessern können. Trotzdem müssen passende Unterstützungsmaßnahmen bedarfsgerecht entwickelt werden (*Kapitel 11.4*), damit die wahrgenommenen Herausforderungen (*Kapitel 11.3)* von den angehenden Lehrkräften bewältigt und sich nicht in einer Verschlechterung der

technologiebezogenen Selbstwirksamkeit oder einem negativen *konstruktivistischen Lehr-Lernverständnis* äußern. Somit sind Einflussfaktoren eine Voraussetzung dafür, ob sich angehende Lehrkräfte mit Technologien auseinandersetzen, längerfristig beschäftigen und am Ende auch in ihren Fachunterricht integrieren (vgl. Guggemos & Seufert, 2021; Scherer et al., 2018; Teo & van Schaik, 2012; Vogelsang et al., 2019).

11.3 Herausforderungen bei der TPACK-Entwicklung in einem pädagogischen Makerspace

Der messbare Zuwachs an TPACK (vgl. *Kapitel 8.4.2, 9.4.1, 10.5.2)* ist vor allem vor dem Hintergrund bemerkenswert, dass durch die hohe Individualität der Projektziele sowie die heterogene Zusammensetzung der Projektgruppen keine auf das Medienprojekt angepasste, medienspezifische Vorbereitung der Projektarbeit im Rahmen des mediendidaktischen Inputs möglich war. Der Input diente damit lediglich als theoretischer Katalysator eines daran anschließenden, hoch individualisierten, konstruktivistischen Arbeitsprozesses. So mussten sich die Projektgruppen um verschiedene Elemente wie die Selbstorganisation der Projektarbeit, die Bewältigung technischer Herausforderung bei der Erstellung digitalgestützter Produkte und die Fähigkeit zur Erarbeitung und Aneignung erforderlicher, TPACK-bezogener Inhalte selbstständig und eigenverantwortlich kümmern (*Kapitel 5.1.4*).
Als zentraler Bestandteil der Intervention hatten die angehenden Lehrkräfte die Aufgabe, ein Medienprojekt zu einem fachspezifischen Thema über ein Semester hinweg in Projektgruppen eigenständig zu planen und umzusetzen (*Kapitel 5.1.1*). Dies konnte z.B. die Produktion eines Erklärvideos, die Erstellung interaktiver Aufgaben oder die Entwicklung einer AR-Anwendung für den digitalgestützten Unterrichtskontext sein (*Kapitel 5.1.3*). Als Arbeitsraum stand ihnen der pädagogische Makerspace mit dem notwendigen Equipment und einem vielseitigen Unterstützungsangebot zur Verfügung (*Kapitel 5.1.1.2)*. Weil der Makerspace neu für das Projekt implementiert wurde, konnten die angehenden Lehrkräfte innerhalb ihres Lehramtstudiums an dieser Hochschule bisher keine Vorerfahrungen mit dem projektbasierten, agilen Arbeiten in Projektteams (nicht zu verwechseln mit einer Gruppenarbeit) in einer konstruktivistischen, mit neuen Technologien ausgestatteten Lehr-Lernumgebung (im Unterschied also zu einer Gruppenarbeit), sammeln. Damit verbunden ergaben sich zahlreiche Herausforderungen (*Forschungsfrage 2*), für die von den angehenden Lehrkräften entweder eigenständig Problemlösestrategien entwickelt (*Forschungsfrage 3*) oder nachträglich Maßnahmen im pädagogischen Makerspace ergriffen werden mussten (*Forschungsfrage 4*). Im Folgenden werden die Herausforderungen sowie die dazu entwickelten Problemlösestrategien mit entsprechenden Lösungsansätzen diskutiert (*Kapitel 7.4.1, 8.5.2*):

Um ein Projekt umsetzen zu können, mussten von Projektgruppen zu Beginn passende *Rahmenbedingungen* geschaffen werden. Dazu gehört die Entwicklung einer Projektvision mit klar definierten Zielen, was für viele Projektgruppen bereits eine erste Hürde darstellte. Dabei fehlen angehenden Lehrkräften teilweise nicht nur Kenntnisse über die Operationalisierung von Projektzielen, sondern auch technische Grundkenntnisse, um eine realistische Projektidee mit dazugehörigen Zielen zu entwickeln (vgl. *Kapitel 7.4.1*). Ziele sind für den erfolgreichen Projektverlauf vor allem deshalb von Bedeutung, da sie fortan eine stetige Überprüfung dessen ermöglichen, inwiefern gewählte Arbeitsschritte tatsächlich zielführend sind. Werden die Ziele von Beginn an zu ehrgeizig formuliert, trägt dies im Verlauf der Projektarbeit zu einem erheblichen Mehraufwand und damit zur Frustration bei, da komplexe Verfahren entweder unter Einbezug von Experten mühsam erarbeitet oder Ziele und somit auch Arbeitswege nachträglich angepasst werden müssen (ebda.). Ein Lösungsansatz für diese Problematik könnte sein, verstärkt mit Elementen aus den agilen Projektmethoden zu arbeiten (*Kapitel 8.3)*. Das Endziel des Projekts wird dabei solchen Methoden nicht schon zu Beginn fest definiert, sondern generiert sich im Prozess aus den Erfahrungen und dem Erwerb von Kompetenzen (hier im speziellen TPACK) in einzelnen, iterativen Arbeitszyklen (*Kapitel 7.3*). Somit wird die Projektvision zum treibenden Motor, obwohl sie stets modellierbar und zeitlich leichter zu kontrollieren bleibt (Bemmé, 2011).
Nach der Anfangsphase eines Projekts liegt der Fokus auf der *Arbeitsbewältigung*. Hierbei ist die zentrale Herausforderung Arbeitsschritte zu planen und zeitlich zu koordinieren, die für die angehenden Lehrkräfte meist neu und damit nicht einschätzbar waren (vgl. *Kapitel 7.4.1*). Traditionelle Herangehensweisen sehen hierfür zunächst eine detaillierte und ausführliche Planungsarbeit vor (vgl. *Kapitel 8.3*), wodurch unvorhersehbare Zwischenschritte schnell zu einer Nichteinhaltung des Zeitmanagements und damit zu Stress und Überforderung führen (*Kapitel 7.4.1, 8.5.2*). Auch hier sieht der agile Ansatz vor, zügig mit der Entwicklung eines ersten Prototyps zu beginnen, damit erste technischen Möglichkeiten praktisch erfahren und hinsichtlich ihrer Nützlichkeit bewertet werden können. Aufbauend darauf kann die zuvor noch vage formulierte Projektvision mit Zielsetzungen rückwirkend überarbeitet werden, was wiederum in einer iterativen Prototypenentwicklung mündet (vgl. *Kapitel 8.3*). Einige Projektgruppen, die im Rahmen der vorliegenden Studien im pädagogischen Makerspace arbeiteten, praktizierten die schrittweise Annäherung an ihr Endprodukt bereits unbewusst als eigene Problemlösestrategie (*Kapitel 7.4.1*). Die größte Herausforderung bestand für sie allerdings darin, vorbereitend notwendiges TPACK aufzubauen. Dies zeigte sich zum einen in der Tatsache, dass sie Schwierigkeiten hatten, das Wissen anschließend auf ihre Praxis zu übertragen, und zum anderen darin, dass dieser Schritt aufgrund von Zeitmangel teilweise reduziert wurde, was später Konsequenzen mit sich zog (ebda.).

Hinsichtlich der *Zusammenarbeit* und Kooperation waren die Berichterstattungen der Projektgruppen sehr heterogen. So gab es Gruppen, die schnell in einen produktiven Arbeitsflow kamen und sich konsistent trafen oder zumindest (aufgrund der Covid-19 Pandemie) digital austauschten. In Einklang mit agilen Projektmethoden zeigten sie Strategien auf, Teilaufgaben zu definieren und zu verteilen, sich gegenseitig je nach Bedarf und verfügbaren Kompetenzen zu unterstützen, sowie sich schnell und kurz neben den regelmäßigen Projekttreffen abzusprechen (*Kapitel 7.4.1)*. Bei Gruppen, die nur über einen spärlichen Austausch und einen schleppenden Projektverlauf berichteten, ist anzunehmen, dass solche hilfreichen Strategien weder bekannt oder für sinnvoll erachtet, noch eigenständig entwickelt und angewendet wurden.

Die größte und gleichzeitig zeitintensivste Herausforderung lag für die angehenden Lehrkräfte darin, sich mit den eigenen *individuellen Voraussetzungen* im Rahmen der Projektarbeit auseinander zu setzen (*Kapitel 7.4.1)*. Studierende, die bereits über eine größere TPACK-Wissensbasis und technologische Vorerfahrungen (z.B. Erfahrungen in Filmschnitt oder illustrativem Mediendesign) verfügen, müssen sich im Arbeitsprozess weniger intensiv mit unterschiedlicher Hard- und Software auseinandersetzen und können sich auf andere Arbeitsschritte konzertieren; sie profitieren dabei stärker von der Projektarbeit. Angehende Lehrkräfte mit weniger Vorerfahrungen müssen dagegen sehr viel Zeit aufbringen, um sich zunächst einen Überblick zu verschaffen und sich grundlegende Funktionsweisen unterschiedlicher Hard- und Software anzueignen, was schnell als Zeitdruck und Überforderung wahrgenommen werden kann.

Damit trotz individueller Voraussetzungen eine Bildungsgerechtigkeit angestrebt werden kann, müssen vor allem die verfügbaren technischen, personellen und unterstützenden *Ressourcen* auf eine heterogene Studierendenschaft ausgelegt werden. So forderte ein Teil der angehenden Lehrkräfte mehr Unterstützung ein, wohingegen der andere Teil gerne weniger Unterstützung und Auswahl gehabt hätte (*Kapitel 7.4.1)*. Die im Makerspace verfügbaren Unterstützungsstrukturen, bestehend aus Online-Materialien, Coaching und Supervision (vgl. *Kapitel 5.1.1.1*), sollten deshalb in Zukunft sowohl Einsteigern das notwendige Scaffolding für eine erfolgreiche Projektarbeit und eine positive Technologieerfahrung ermöglichen, als auch Fortgeschrittenen Freiraum geben, eigenständig zu handeln und nur bei Bedarf darauf zurückgreifen zu können. Um beiden Wahrnehmungen entgegenzukommen, erscheint es deshalb für zukünftige Anwendungen im pädagogischen Makerspace sinnvoll, für jedes Projekt eine Vorauswahl an Materialien zu treffen, um eine bessere Passung zu erreichen und die Materialien noch stärker auf die Bedürfnisse der Gruppen zuzuschneiden (ebda.).

Zusammenfassend bietet sich zur Bewältigung einiger der im Rahmen der vorliegenden Studien identifizieren Herausforderungen an, im Projektprozess künftiger Anwendungen im pädagogischen Makerspace auf Elemente neuer und agiler Projektmethoden zurückzugreifen (*Kapitel 8.6*). So können zumindest solche Herausforderungen im Projektmanagement und den Kooperationsstrukturen umgangen werden, die aus der Anwendung der klassischen Projektmethode selbst entstehen (*Kapitel 8.3*). Relevant wäre dies zumindest für jene Projektgruppen, die nicht aus der Gruppe heraus in der Lage sind, intuitiv Problemlösestrategien zu entwickeln.

11.4 Empfehlungen für die TPACK-bezogene Arbeit im pädagogischen Makerspace

Aus den bisherigen Überlegungen ergeben sich Empfehlungen für die TPACK-bezogene und projektbasierte Arbeit in einem pädagogischen Makerspace, die zukünftig bei der Implementation eines Makerspace als konstruktivistische Lehr-Lernumgebung im Hochschulbereich beachtet werden sollten. Diese werden im Folgenden als „lessons learned“ aufgeführt (Forschungsfrage 4):

1. Angemessene Projektziele formulieren. Ziele, die fordern, aber nicht überfordern, stellen einen Erfolgsfaktor dar, von dem der Verlauf eines Projekts maßgeblich abhängt (vgl. *Abbildung 7.1*). Deshalb sollten zu Beginn auf der Projektvision aufbauende Ziele mit dem Dozierenden formuliert und hinsichtlich ihrer Operationalisierung und Erreichbarkeit diskutiert werden (*Kapitel 5.1, 9.3.1*), um erste große Fehltritte zu verhindern.

2. Projektmethoden vermitteln. Im Rahmen der TPACK-Förderung ist das in der Projektgruppe selbstorganisierte und eigenverantwortliche, effektive Bestreiten des Projektprozesses in komplexen und authentischen Lernerfahrungen wichtiger als das Projektprodukt selbst (*Kapitel 2.2.2*). Damit angehende Lehrkräfte nicht über die Maßen mit Herausforderungen der Selbstorganisation einer Projektarbeit konfrontiert werden und unsystematisch in die Umsetzung des Projekts starten, sollte die Anwendung von Projektmethoden einführend thematisiert werden (*Kapitel 7.5.1, 8.6, 11.4*). Dies ist notwendig, da die angehenden Lehrkräfte bisher weder die Möglichkeit hatten, in Gemeinschaftsprojekten längerfristig projektorientiert zu arbeiten, noch fand während des Studiums eine Qualifikation für dieses Arbeitsformat statt (vgl. *Kapitel 7.5.1).* Zusätzlich können durch den Einsatz kleiner Instruktionseinheiten Angst genommen und ein entsprechendes Mindset verbreitet werden, in welchem Rückschläge kein Scheitern darstellen (Jones et al., 2017; Vongkulluksn et al., 2018). Dabei sollten angehende Lehrkräfte

zum Experimentieren und Tüfteln ermutigt werden, da nur so die immer wichtiger werdende Fähigkeit erlernt werden kann, langfristig und flexibel auf neue Herausforderungen zu reagieren (Yamamoto, 2021; *Kapitel 3.3*).

3. Agile Projektelemente einführen. Das Ziel eines Projekts ist es, strategische Lösungen für komplexe Probleme und Aufgaben zu finden (Bemmé, 2020). Um flexibler und dynamischer an Produkten arbeiten und schnell auf veränderte Anforderungen und Ressourcenbeschränkungen reagieren zu können, ohne den kompletten Planungsprozess erneut durchlaufen zu müssen, bietet es sich an, die Stärken traditioneller und agiler Projektmethoden für Medienprojekte in der Lehrerausbildung zu kombinieren: Aufbauend auf der Projektvision mit ersten Projektzielen sollten sich verkürzte Planungsphasen iterativ mit „Making"- und Reflexionsphasen abwechseln, sodass sich die ursprüngliche Idee in Wechselwirkung mit dem sich aufbauenden TPACK stets interessengeleitet und kreativ durch „Prototyping" schnell weiterentwickelt (vgl. *Kapitel 8.3, 8.6*).

4. Differenzierte Unterstützungsangebote entwickeln. Unterstützungsangebote haben die Funktion, den Projektgruppen bei wahrgenommenen Hürden im Projektprozess zielgerichtet weiterzuhelfen. Durch die heterogenen Leistungsvoraussetzungen und Vorerfahrungen der angehenden Lehrkräfte werden Unterstützungsangebote von einem Teil der Projektgruppen als überfordernd, von einem anderen Teil als unzureichend eingestuft (vgl. Tabelle 7.4). Damit die im Makerspace verfügbaren Unterstützungsstrukturen dennoch zu einer positiven Technologieerfahrung beitragen, sollten einfache und individuelle Beratungs- oder Orientierungsmöglichkeiten zu einer Vorauswahl eines vielfältigen und differenzierten Angebots an Selbstmaterialien führen. So bleiben sowohl Anfänger ohne Vorerfahrung (vgl. Bevan, 2017; Zhan et al., 2021; *Kapitel 3.3*), als auch Fortgeschrittene „Maker" in einem pädagogischen Makerspace handlungsfähig.

5. Übertragbarkeit in die Praxis und Testung im Feld. Die Projektvision sollte sich stets auf den fachbezogenen Unterricht beziehen. Um für die Entwicklung der Vision einen authentischeren Projektkontext zu schaffen (*Kapitel 2.2.2*), könnte diese zukünftig in Zusammenarbeit mit Menschen aus der Praxis entworfen werden. Anschließend können die Prototypen in realen Lehr-Lerngelegenheiten in der Schule oder im Rahmen von Mikrounterricht getestet werden (Mouza et al., 2014) und gezielt für lernförderliche TPACK-Praxiserfahrungen sorgen (*Kapitel 2.2.2*). Dies schafft eine hochwertige Grundlage zum Reflektieren der Projektprodukte (z.B. digitalgestützte Unterrichtspläne oder Lehr-Lernmaterialien) nicht nur auf theoretischer, sondern vor allem auf erfahrungsbasierter

Grundlage (Willermark, 2017).

6. Reflexion fordern und fördern. Damit sich anwendungsbezogenes TPACK entwickeln kann, sollten die Technologieerfahrungen in iterativen Reflexionsrunden kritisch und kriteriengeleitet diskutiert werden (Koh et al., 2014; Petko, Döbeli Honegger, et al., 2018; Zhang & Tang, 2021). Eine wichtige Rolle spielt dabei vor allem die gemeinsame und gegenseitige Reflexion z.B. mit anderen Projektgruppen, da nur so eine Sensibilisierung der angehenden Lehrkräfte zur Selbsteinschätzung des eigenen TPACK angeregt wird (Lipowsky & Rzejak, 2017; Valtonen et al., 2020). Die Kompetenz zur Selbsteinschätzung ist vor allem dann notwendig, wenn die Lernenden ihren Lernprozess z.B. in offen konstruktivistischen Lehr-Lernsettings selbst steuern müssen. Denn nur durch die Optimierung des Selbstmanagement und die sinnvolle Regulation von Lernprozessen (z.B. Zeit einteilen, Arbeitsablauf anpassen, Hilfe suchen) können im Projektverlauf bessere Lernergebnisse und damit Fortschritte erzielt werden (Andrade, 2019; Panadero et al., 2016). Jedoch hat der Vergleich von Selbst- und Fremdeinschätzung gezeigt, dass angehende Lehrkräfte ihre Fähigkeiten vor allem bei komplexeren Anwendungsaufgaben nicht realistisch einschätzen können (*Kapitel 9.4.3)*. Darum besteht ein hoher Bedarf in der Förderung der Reflexionskompetenz unter angehenden Lehrkräften (*Kapitel 9.5)*, damit dieser Ansatz zielführend zur Förderung von TPACK beitragen kann. Hilfreich für die angehenden Lehrkräfte hätte dafür das Feedback aus den Fremdeinschätzungen gewesen sein können. Darauf wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens verzichtet, da so eine Verzerrung der Ergebnisse in Folgekohorten unterbunden werden sollte.

11.5 Limitationen und Ausblick

Während des Forschungsvorhabens ergaben sich mehrere Limitationen, die im Folgenden dargestellt werden. Erstens kam es über alle Kohorten hinweg zu einer hohen Abbruchrate von Studienteilnehmern (vgl. *Kapitel 5.2.2*). So wurde die inferenzstatistische Auswertung von Prä-Post-Fragebogen und -Leistungstest in den *Studien 2* und *4* lediglich mit einer kleineren Stichprobe (N = 145 - 327) durchgeführt, da nur für diese Fälle vollständige Prä-Post-Datensätze vorlagen. Eine Ausnahme bildete die Strukturgleichungsmodellierung in *Studie 5* (N = 495), da hier die Schätzung fehlender Werte auf Basis der vollständigen Datensätze trotzdem möglich war. Grund für die hohe Abbruchrate und die damit zusammenhängende Reduktion der Stichprobengröße könnte die mit Beginn des Erhebungszeitraums auftretenden COVID-19-Pandemie gewesen sein, mit der ab dem Frühjahr 2020, und damit ab Kohorte 2, starke Kontaktbeschränkungen und eine vollständige Umstellung von Präsenz- auf Online-Lehre einherging. Die Online-Lehre blieb für die gesamte Dauer des

Forschungsvorhabens (einschließlich Kohorte 4) bestehen und betraf damit 94,1% der Gesamtstichprobe (vgl. *Kapitel 5.2.2*). Diese kurzfristige Umstrukturierung der Hochschullehre könnte zu einer kognitiven Überlastung und organisatorischen Überforderung einiger angehender Lehrkräfte geführt haben, wodurch diese entweder Seminare oder ganze Studiengänge abgebrochen oder durch die Informationsflut den mehrfachen Aufruf zur Teilnahme an der Selbsteinschätzung übersehen haben.

Als zweite Limitation brachte die Umstellung von Präsenz- auf Online-Lehre konzeptionelle Veränderungen in der Intervention mit sich. Der pädagogische Makerspace, zu dem eigentlich alle angehenden Lehrkräfte der Interventionsgruppe jederzeit frei und flexibel Zugang haben sollten (vgl. *Kapitel 3)*, konnte durch das strenge Hygienekonzept für die Gesamtlaufzeit des Forschungsvorhabens nur noch mit Terminvereinbarungen von den Projektgruppen genutzt werden. Dadurch fand der für einen Makerspace charakteristische interdisziplinäre und niederschwellige Austausch zwischen Projektmitgliedern, Projektgruppen und Fachleuten aus verschiedenen technologischen und inhaltsbezogenen Teildisziplinen gar nicht mehr und die flexible Nutzung der individuellen Beratungs- und Unterstützungsangebote eingeschränkter statt. Absprachen sowie Beratungen mussten innerhalb der Projektgruppen weitgehend online organisiert werden und richteten sich am Zusammenhalt und dem Grad der Vernetzung in der Projektgruppe aus. Während dies ein weiterer Grund für die o.g. hohe Abbruchrate sein kann, gehen diese Änderungen der Rahmenbedingungen als Folge der COVID-19-Pandemie teilweise mit einem großen Gegensatz zu den Grundsätzen des „Makerspirit“ einher. Folglich wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht ausschließlich die Wirksamkeit eines ursprünglich geplanten, klassischen pädagogischen Makerspace untersucht, sondern die Wirksamkeit eines abgewandelten, terminlich durchstrukturierten und in Teilen digitalen Makerspace, der pandemiebedingt Großteils zum Ziel hatte, angehende Lehrkräfte bestmöglich bei ihrer digitalgestützten Arbeit zu Hause zu unterstützten. Die Wirksamkeit eines pädagogischen Makerspace im eigentlichen Sinne sollte deshalb in zukünftigen Studien weiter untersucht werden. Obwohl der Makerspace in diesem Forschungsvorhaben wider Erwarten nicht alle Anforderungen und Eigenschaften an ein TPACK-förderliches Lehr-Lernsetting erfüllt hatte (vgl. *Kapitel 2.2* und *3.2*), wurden dennoch positive Effekte in der TPACK-Entwicklung gefunden (z.B. *Kapitel 7.4.1; 9.4.1; 9.4.2)*. Dabei kann keine Aussage darüber getroffen werden, wie hoch die Auswirkungen der Intervention im Vergleich zur klassischen Nutzung des pädagogischen Makerspace gewesen wären und inwiefern eine klassische Umsetzung der Medienprojekte TPACK in den Bereichen „Erinnern“, „Verstehen“ und „Anwenden“ hätte besser fördern können (vgl. *Kapitel 9.4.2)*.

Neben konzeptionellen Veränderungen hatte die Online-Lehre als dritte Limitation auch einen unkontrollierbaren Einfluss auf die Grundvoraussetzungen der Stichprobe. Hier war

ursprünglich davon auszugehen, dass ausschließlich die angehenden Lehrkräfte der Interventionsgruppe sich intensiver mit digitalen Medien auseinandersetzen würden. Die vielfältigen, rezeptiven Technologieerfahrungen während der Online-Lehre führten jedoch dazu, dass stattdessen alle angehenden Lehrkräfte neben der Interventionsstudie zusätzlich und kontinuierlich mit digitalen Medien konfrontiert wurden. Dies könnte sowohl die TPACK-Entwicklung, als auch weitere persönliche Merkmale der angehenden Lehrkräfte (z.B. Interesse an, Vorerfahrungen mit oder die Bereitschaft zur Nutzung von digitalen Medien) bereits ohne Intervention beeinflusst haben, was durch die vorliegenden Messinstrumente unzureichend abgebildet wurden. Die Tatsache, dass mit der Intervention dennoch eine Steigerung des TPACK einher ging unterstreicht damit zusätzlich das Potential eines pädagogischen Makerspace zur Förderung von TPACK.

Die vierte Limitation bezieht sich auf den in *Studie 5* gewählten Ansatz, der darauf abzielt, relevante Kontextfaktoren (u.a. Motivation im Umgang mit digitalen Medien, Technologieakzeptanz und technologiebezogene Selbstwirksamkeit) mit der Entwicklung von TPACK in Zusammenhang zu bringen *(vgl. Forschungsfrage 8)*. Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde ein Strukturgleichungsmodell entwickelt (vgl. *Kapitel 10.4.4)*, welches zum jetzigen Stand die gesamte Stichprobe (*N =495*) in die Analyse mit einbezieht. *Studie 4* (*Kapitel 9.4.1*) weist allerdings nur auf einen positiven Zusammenhang von $TPACK_{prä}$ zu $TPACK_{post}$ ausschließlich in der Interventionsgruppe, nicht aber in der Kontrollgruppe hin. Entsprechend kann angenommen werden, dass der fehlende signifikante Zusammenhang aus der Kontrollgruppe das Strukturgleichungsmodell in der Aussagenkraft des Zusammenhangs zwischen $TPACK_{prä}$ und $TPACK_{post}$ verfälscht. Aus diesem Grund sollten Überlegungen dahingehend angestellt werden, inwieweit eine Berechnung des Modells für getrennte Gruppen sinnvoll wäre, um bestehende Effekte (voraussichtlich in der Interventionsgruppe, aber nicht in der Kontrollgruppe) anschließend besser herausarbeiten zu können. Des Weiteren wurde in *Studie 4* gezeigt, dass angehende Lehrkräfte (in der Interventionsgruppe) ihr TPACK selbst, gemessen an der Fremdeinschätzung, auf zwei von drei Ebenen überschätzt haben (vgl. *Kapitel 9.4.2)*. Daher scheint fragwürdig, ob eine solche Selbsteinschätzung als einziges Maß für TPACK eine aussagekräftige Schlussfolgerung erlaubt. Zusätzlich zu den in *Studie 5* bislang beschriebenen Analysen sollten daher auch die Maße der Fremdeinschätzung für die Fragestellung bzgl. möglicher Einflussfaktoren auf TPACK beachtet werden. Außerdem sollten zukünftige Forschungsvorhaben, die sich auf die Untersuchung der Wirksamkeit eines pädagogischen Makerspace im eigentlichen Sinne beziehen, weitere personelle Einflussfaktoren auf die Entwicklung von TPACK untersuchen, wie z.B. explizit die Einstellungen gegenüber digitalen Medien oder Konstrukte, die noch stärker das kontextspezifische Nutzungsverhalten und die Nutzungsabsicht von

Technologien adressieren. Auf Basis solcher Erkenntnisse ließen sich zukünftig gezieltere Fördermaßnahmen für die Arbeit im pädagogischen Makerspace ableiten, der entsprechend zur noch besseren Förderung von TPACK weiterentwickelt werden könnte.

11.6 Schlussfolgerungen

Vor allem die im Jahr 2020 beginnende Corona-Pandemie hat den Bildungssektor wachgerüttelt und verdeutlicht, dass angehende Lehrkräfte gezielter befähigt werden müssen, digitale Technologien fach-, inhalts- und lernprozessadäquat einsetzen zu können (KMK, 2021; SWK, 2021). Dies setzt ein anwendungsbezogenes TPACK bei angehenden Lehrkräften voraus. Die Fachliteratur (z. B. Becker et al., 2020; Herzig & Martin, 2018) – wie auch die Ergebnisse der hier beschriebenen Studien – machen dabei den Förderungsbedarf von TPACK bei angehenden Lehrkräften deutlich.

Deshalb wurden in dem vorliegenden Dissertationsvorhaben (1) ein neu konzipierter pädagogischer Makerspace hinsichtlich seines förderlichen Einflusses auf das TPACK angehender Lehrkräfte untersucht und ermittelt, welche potentiellen TPACK-fördernden Auswirkungen personenbezogene Eigenschaften auf die Entwicklung haben können. Zur Erhebung von TPACK beschränken sich Messinstrumente in der Forschungsliteratur häufig auf Selbsteinschätzungsfragebögen (vgl. *Kapitel 2.3*). Jedoch hat der Einsatz dieser Instrumente vor allem dort seine Grenzen, wo kontextspezifische und fachspezifische Anforderungen an den Einsatz digitaler Medien adressiert werden, angehende Lehrkräfte die Komplexität von TPACK nicht ausreichend erfassen und die angehenden Lehrkräfte kaum Fähigkeiten zur realistischen Selbsteinschätzung aufweisen. Deshalb wird in der Fachliteratur angeregt, die TPACK-Selbsteinschätzung mit den TPACK-Daten aus Fremdeinschätzungen zu triangulieren. Dieser Anregung wurde (2) mit einem neu konzipierten, vignettenbasierten Fremdeinschätzungsmaß Rechnung getragen. Ferner wurden (3) mittels Interviews Herausforderungen der Studienteilnehmer bei der Arbeit im Makerspace herausgearbeitet, um Vorschläge zur Optimierung der projektbasierten Arbeit in einem Makerspace abzuleiten. Aus den Ergebnissen der fünf zugrundeliegenden Studien ergeben sich nun zusammenfassend drei zentrale Schlussfolgerungen.

Erstens zeigen die Ergebnisse der *Studien 2, 4* und *5*, dass selbstorganisierte und fachbezogene Medienprojekte in einem pädagogischen Makerspace das TPACK von angehenden Lehrkräften in der Lehrkräftebildung erfolgreich fördern können. Darüber hinaus wird auch die Motivation im Umgang mit digitalen Medien positiv beeinflusst, die zusammen mit der Technologieakzeptanz zentrale Einflussfaktoren für TPACK und dessen Entwicklung darstellen. Dennoch profitieren insbesondere jene angehenden Lehrkräfte von einem projektbasierten Interventionsansatz in einem pädagogischen Makerspace, welche bereits

über grundlegendes TPACK zu Beginn der Projektarbeit verfügen. Deshalb sollte beim Initiieren von TPACK-bezogenen Lernprozessen im pädagogischen Makerspace darauf geachtet werden, dass vor allem angehende Lehrkräfte mit weniger TPACK unterstützt werden, benutzerfreundliche Technologien sinnvoll und zielführend für die Bearbeitung der eigenen Medienprojekte auszuwählen, damit sich TPACK bestmöglich entwickeln kann. Denn je höher das TPACK von angehenden Lehrkräften ist, desto größer ist auch die Bereitschaft bzw. die Intention, sich zukünftig für die eigene Professionalisierung und Weiterbildung mit Technologien weiterführend kritisch auseinanderzusetzen.

Zweitens ergaben die Analysen aus *Studie 4,* dass sich die Ergebnisse aus Selbsteinschätzungen zur validen Messung von TPACK entweder nur auf die Bewertung des deklarativen Wissens beschränken oder mit Ergebnissen aus Fremdeinschätzungen (z. B. aus Leistungstests wie in *Studie 1* kontextspezifisch entwickelt) zur Bewertung des anwendungsbezogenen TPACK trianguliert werden sollten. Die in *Studie 4* durchgeführte Triangulation zeigt nämlich eine deutliche Überschätzung des selbsteingeschätzten TPACK (gemäß der Fremdeinschätzung) auf. Entsprechend sollten (angehende) Lehrkräfte bei intendierter Verwendung von Selbsteinschätzungsskalen als Instrument für selbstgesteuertes Lernen begleitend zu Lernangeboten im pädagogischen Makerspace zunächst in ihrer Selbsteinschätzung geschult werden.

Drittens zeigen *Studien 2* und *3*, dass angehende Lehrkräfte bei der selbstorganisierten Arbeit an Medienprojekten im pädagogischen Makerspace häufig auf Herausforderungen stoßen, für die sie nur in Teilen zielführende Problemlösestrategien entwickeln können. Für solche Herausforderungen, die von den Projektgruppen nicht selbst überwunden werden und die daher mit einer Überforderung einhergehen, ergibt sich basierend auf der Analyse der in den Studien durchgeführten Interviews der Vorschlag für zwei gezielte Gegenmaßnahmen: Zum einen könnten die identifizierten organisatorischen Hürden im Rahmen eines gezielten Projektmethodentrainings für kollaboratives und agiles Arbeiten in Projekten überwunden werden. Solche Trainings sollten entsprechend vorbereitend, also vor der Durchführung von selbstorganisierten Projektarbeiten in der Lehrkräftebildung zum Einsatz kommen. Zum anderen zeigen die identifizierten Herausforderungen, an welchen Stellen bestehende Unterstützungs- und Lernangebote (auch teilweise noch verstärkter aus der Perspektive der jeweiligen Teildisziplinen) gemäß dem Bedarf der Projektgruppen noch weiterentwickelt und ausdifferenziert werden sollten. So kann die offen konstruktivistische Lehr-Lernumgebung des pädagogischen Makerspace zur Förderung von TPACK in der ersten Phase der Lehrkräftebildung stets auf die heterogene Zielgruppe angepasst werden.

Zusammenfassend ergeben sich aus den Erkenntnissen dieses Dissertationsvorhabens wichtige Anregungen sowohl bezüglich der fachspezifischen und praxisorientierten

Förderung als auch bezüglich der Messung von TPACK. Zudem wurde (nicht zuletzt aufgrund der genannten pandemiebedingten Einschränkungen bei der Interventionsdurchführung) eine Grundlage für künftige Forschung zur effektiven und langfristigen Förderung von TPACK bei (angehenden) Lehrkräften geschaffen.

12. Literaturverzeichnis

Abbitt, J. T. (2014). An Investigation of the Relationship between Self-Efficacy Beliefs about Technology Integration and Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) among Preservice Teachers. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *27*(4), 134–143. https://doi.org/10.1080/21532974.2011.10784670

Akyuz, D. (2018). Measuring technological pedagogical content knowledge (TPACK) through performance assessment. *Computers & Education*, *125*, 212–225. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.012

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Hrsg.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives* (Complete ed). Longman.

Andrade, H., & Brookhart, S. M. (2016). The role of classroom assessment in supporting self-regulated learning. In D. Laveault & L. Allal (Hrsg.), *Assessment for learning: Meeting the challenge of implementation*, (S. 293–309). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39211-0_17

Andrade, H. L. (2019). A Critical Review of Research on Student Self-Assessment. *Frontiers in Education*, *4*. https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00087

Andrews, M. E., Borrego, M., & Boklage, A. (2021). Self-efficacy and belonging: The impact of a university makerspace. *International Journal of STEM Education*, *8*(1), 24. https://doi.org/10.1186/s40594-021-00285-0

Angeli, C., Valanides, N., & Christodoulou, A. (2016). Theoretical considerations of Technological Pedagogical Content Knowledge. In M. C. Herring, P. Mishra & M. J. Koehler (Hrsg.), *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators* (2. Aufl., S. 11–30). Routledge.

Angermeier, G. (2018). Agiles Projektmanagement. *ProjektMagazin*. https://www.projektmagazin.de/glossarterm/agiles-projektmanagement

Archambault, L. M., & Barnett, J. H. (2010). Revisiting technological pedagogical content knowledge: Exploring the TPACK framework. *Computers & Education*, *55*(4), 1656–1662. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.07.009

Backfisch, I., Lachner, A., Hische, C., Loose, F., & Scheiter, K. (2020). Professional knowledge or motivation? Investigating the role of teachers' expertise on the quality of technology-enhanced lesson plans. *Learning and Instruction*, *66*, 101300. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101300

Backhaus, K., Erichson, B., & Weiber, R. (2015). *Fortgeschrittene multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung* (3. Aufl.). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46087-0

Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, *84*(2), 191–215. https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.191

Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice-Hall.

Baran, E., & Uygun, E. (2016). Putting technological, pedagogical, and content knowledge (TPACK) in action: An integrated TPACK-design-based learning (DBL) approach. *Australasian Journal of Educational Technology, 32*(2), 47–63. doi:10.14742/ajet.2551.

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C., & von Kotzebue, L. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften—DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt, & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*, 14–43. Joachim Herz Stiftung Verlag.

Bemmé, S.-O. (2011). *Kultur-Projektmanagement*. Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92755-8

Bemmé, S.-O. (2020). *Kultur-Projektmanagement: Kultur- und Organisationsprojekte erfolgreich managen* (2. Aufl.). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27095-7

Bemmé, S.-O. & Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. (2020). *Kultur-Projektmanagement Kultur- und Organisationsprojekte erfolgreich managen.* https://doi.org/10.1007/978-3-658-27095-7

Kolikant, Y. B.-D., Martinovic, D., & Milner-Bolotin, M. (Hrsg.). (2020). *STEM Teachers and Teaching in the Digital Era: Professional Expectations and Advancement in the 21st Century Schools*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29396-3

Bevan, B. (2017). The promise and the promises of Making in science education. *Studies in Science Education*, *53*(1), 75–103. https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1275380

Biedermann, H., Steinmann, S., & Oser, F. (2015). «Glaubensbestände und Glaubenswandel»: Zur Transformation von konstruktions- und transmissionsorientierten Lehr-Lern-Überzeugungen in der Lehrpersonenausbildung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung 33*. 46-68. https://www.pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=13896

Bildungsplan. (2016). *Bildungsplan*. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg.http://www.bildungsplaene-w.de/,Lde/LS/BP2016BW/ALLG#FaecherSEK1

Bilici, S.C., Yamak, H., Kavak, N., & Guzey, S.S. (2013). Technological pedagogical content knowledge self-efficacy scale (TPACK-SeS) for preservice science teachers: Construction, validation, reliability. *Eurasian Journal of Educational Research*, 52, 37-60.

Blackley, S., Sheffield, R., Maynard, N., Koul, R., & Walker, R. (2017). Makerspace and Reflective Practice: Advancing Pre-service Teachers in STEM Education. *Australian Journal of Teacher Education*, *42*(3). https://doi.org/10.14221/ajte.2017v42n3.2

Bleschke, T., Ehmke, M., & Senkbeil, M. (2001). Typen von Lehrkräften beim schulischen Einsatz von neuen Medien. In F. Schuhmacher (Hrsg.), *Innovativer Unterricht mit neuen Medien. Ergebnisse wissenschaftlicher Begleitung von SEMIK-Einzelprojekten*, 35–66. Grünwald: Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht.

Bloom, B. S., & Bloom, B. S. (1974). *Stabilität und Veränderung menschlicher Merkmale* (2. Aufl). Beltz.

Bol, L., Hacker, D. J., Walck, C. C., & Nunnery, J. A. (2012). The effects of individual or group guidelines on the calibration accuracy and achievement of high school biology students. *Contemporary Educational Psychology*, *37*(4), 280–287. https://doi.org/10.1016 /j.cedpsych.2012.02.004

Bolzer, M., Strijbos, J. W., & Fischer, F. (2015). Inferring mindful cognitive-processing of peer-feedback via eye-tracking: Role of feedback-characteristics, fixation-durations and transitions: Peer feedback processing with eye tracking. *Journal of Computer Assisted Learning*, *31*(5), 422–434. https://doi.org/10.1111/jcal.12091

Bonafini, F. C., & Lee, Y. (2021). Investigating Prospective Teachers' TPACK and their Use of Mathematical Action Technologies as they Create Screencast Video Lessons on iPads. *TechTrends*, *65*(3), 303–319. https://doi.org/10.1007/s11528-020-00578-1

Brantley-Dias, L., & Ertmer, P. A. (2013). Goldilocks and TPACK: Is the Construct „Just Right?". *Journal of Research Technology & Engeneering*, *46*(2), 103–128.

Brown, G. T. L., & Harris, L. (2013). Student Self-assessment. In J. McMillan (Hrsg.), *SAGE Handbook of Research on Classroom Assessment*. SAGE Publications, Inc.

Buttler, G. (1996). *Ein einfaches Verfahren zur Identifikation von Ausreißern bei multivariaten Daten*. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnburg. https://www.econstor.eu/ bitstream /10419/29594/1/615880223.pdf

Cano, J. L., & Lidón, I. (2011). Guided reflection on project definition. *International Journal of Project Management*, *29*(5), 525–536. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.04.008

Chai, C. S., Koh, J. H. L., & Tsai, C.-C. (2013). *A Review of Technological Pedagogical Content Knowledge*. 22.

Chai, C. S., Koh, J. H. L., & Tsai, C.-C. (2016). A review of the quantitative measures of Technological, Pedagogical Content Knowledge (TPACK). In M. C. Herring, M. J. Koehler,

& P. Mishra (Hrsg.), *Handbook of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) for Educators* (S. 87–106). Routledge.

Chai, C. S., Ling Koh, J. H., Tsai, C.-C., & Lee Wee Tan, L. (2011). Modeling primary school pre-service teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) for meaningful learning with information and communication technology (ICT). *Computers & Education*, *57*(1), 1184–1193. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.01.007

Chandler, P., & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62(2), 233–246. https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1992.tb01017.x

Clarke, D., & Hollingsworth, H. (2002). Elaborating a model of teacher professional growth. *Teaching and Teacher Education*, 18(8), 947–967. doi:10.1016/s0742-051x(02)00053-7.

Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Taylor and Francis.

Cohen, J. (2017). Maker Principles and Technologies in Teacher Education: A National Survey. *Journal of Technology and Teacher Education*, *25(1),* 5–30.

Cohen, J. D., Jones, W. M., & Smith, S. (2018). Preservice and Early Career Teachers' Preconceptions and Misconceptions About Making in Education. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *34*(1), 31–42. https://doi.org/10.1080/21532974.2017.1387832

Coutts, L., & Rogers, J. (1999). Student assessment and standardized patients - will the question never end?. Academic Medicine, 74(10), 128–130. http://journals.lww.com/academicmedicine/Abstract/1999/10000/Predictors_of_student_self_assessment_accuracy.62.aspx

Cross, A. (2017). *Tinkering in K-12: An exploratory mixed methods study of makerspaces in schools as an application of constructivist learning*. 178.

Davis, A., Fidler, D., & Gorbis, M. (2011). *Future Work Skills 2020*. Institute for the Future for University of Phoenix Research Institute. Palo Alto. https://www.iftf.org/uploads/media/SR-1382A_UPRI_future_work_skills_sm.pdf

Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, *13*(3), 319–339. https://doi.org/10.2307/249008

Davis, N., Eickelmann, B., & Zaka, P. (2013). Restructuring of educational systems in the digital age from a co-evolutionary perspective: Restructuring of educational systems. *Journal of Computer Assisted Learning*, *29*(5), 438–450. https://doi.org/10.1111/jcal.12032

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior.* New York: Plenum.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2012). Self-determination theory. In P. A. M. Van Lange, A. W. Kruglanski, & E. T. Higgins (Hrsg.), *Handbook of theories of social psychology* (S. 416–436). Sage Publications Ltd. doi:10.4135/9781446249215.n21

De Vaujany, F., & Aroles, J. (2021). Experiencing Making: Silence, Atmosphere and Togetherness in Makerspaces. In J. Aroles, F. Vaujany, & K. Dale (Hrsg.), *Experiencing the New World of Work* (S. 84-106). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108865814.007

Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. (5. Aufl.). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5

Dorsch, F., & Wirtz, M. A. (Hrsg.). (2020). *Dorsch—Lexikon der Psychologie* (19. Aufl.). Hogrefe.

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 *ICILS 2018 #Deutschland Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking*, 205–240. Waxmann.

Duffy, T. M., & Cunningham, D. J. (1996). Constructivism: Implication for the design and delivery of instruction. In D. H. Jonassen (Hrsg.), *Handbook of Research for Educational Communications and Technology*, 170–198. Macmillan Library Reference USA.

Dunlosky, J., & Ariel, R. (2011). Self-regulated learning and the allocation of study time. In B. H. Ross (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (S. 103–140). Elsevier Academic Press.

Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., &, Vahrenhold, J. (2019). *ICILS 2018 #Deutschland Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking.* Waxmann Verlag.

Falchikov, N., & Boud, D. (1989). Student self-assessment in higher education: A metaanalysis. *Review of Educational Research*, 59(4), 395–430. https://doi.org/10.3102/00346543059004395

Fernandes, G. W. R., Rodrigues, A. M., & Ferreira, C. A. (2020). Professional Development and Use of Digital Technologies by Science Teachers: A Review of Theoretical Frameworks. *Research in Science Education*, *50*(2), 673–708. https://doi.org/10.1007/s11165-018-9707-x

Ferrari, A. (2013). DIGCOMP: A framework for developing and understanding digital competence in Europe (Report EUR 26035 EN). Luxembourg: Publication Office of the European Union. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC83167/lb-na-26035-enn.pdf

Field, A. P. (2009). *Discovering statistics using SPSS: And sex, drugs and rock „n“ roll* (3. Aufl.). SAGE Publications.

Figg, C., Jennifer, R., Shannon, W. & Pelchat, K. (2018). Using Informal Learning of Makerspaces to Enhance Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK). In E. Langran & J. Borup (Eds.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (S. 2037-2040). Washington, D.C., United States: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). Zuletzt abgerufen am 4. Juli, 2021 von https://www.learntechlib.org/primary/p/182808/.

Figg, C., Khirwadkar, A., & Welbourn, S. (2020). Making “Math Making” Virtual. *A journal of educational research and practice*, *29*(2), 30–36.

Fraillon, J., Ainley, J., Schulz, W., Friedman, T., & Gebhardt, E. (2014). *Preparing for life in a digital age*. Springer International.

Frauenhofer IAO. (2018). *Bedarf und Anforderungen von KMU in Baden-Württemberg an Makerspaces*. http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-4871603.pdf

Frey, K. (2012). *Die Projektmethode: „der Weg zum bildenden Tun“* (12. Aufl.). Beltz.

Geiser, C. (2011). *Datenanalyse mit Mplus: Eine anwendungsorientierte Einführung* (2. Aufl.). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Geramanis, O. (2020). Zusammenarbeit 5.0 – die kooperative Dimension der neuen Arbeitswelt. In O. Geramanis & S. Hutmacher (Hrsg.) *Der Mensch in der Selbstorganisation: Kooperationskonzepte für eine dynamische Arbeitswelt*, 3–25. Wiesbaden: Springer Gabler. doi:10.1007/978-3-658-27048-3.

Glade, Eva-Maria. (2019). *Wissenschaftliche Weiterbildung als pädagogischer Doppeldecker für die Wissensgesellschaft*. https://doi.org/10.25656/01:18027

Göhlich, M., Wulf, C., & Zirfas, J. (Hrsg.). (2014). *Pädagogische Theorien des Lernens* (2. Aufl.). Beltz Juventa.

González-González, C. S., & Arias, L. G. A. (2018). Maker movement in education: Maker mindset and makerspaces. *IV Jornadas de HCI*, 4.

Grabner, J. (2016). 5 Minuten für digitale Kompetenzentwicklung mit dem SAMR-Modell. *Zentrum für lernende Schulen*, *51*.

Graham, C. R., Borup, J., & Smith, N. B. (2012). Using TPACK as a framework to understand teacher candidates’ technology integration decisions: TPACK decision making. *Journal of*

Computer Assisted Learning, *28*(6), 530–546. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00472.x

Graham, C. R., Burgoyne, N., Cantrell, P., Smith, L., Clair, L., & Harris, R. (2009). TPACK Development in Science Teaching: Measuring the TPACK Confidence of Inservice Science Teachers. *TechTrends*, *53*(5), 70–79. https://doi.org/10.1007/s11528-009-0328-0

Guggemos, J., & Seufert, S. (2021). Teaching with and teaching about technology – Evidence for professional development of in-service teachers. *Computers in Human Behavior*, *115*, 106613. https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106613

Hamilton, E. R., Rosenberg, J. M., & Akcaoglu, M. (2016). The Substitution Augmentation Modification Redefinition (SAMR) Model: A Critical Review and Suggestions for its Use. *TechTrends*, *60*(5), 433–441. https://doi.org/10.1007/s11528-016-0091-y

Han, S.-Y., Yoo, J., Zo, H., & Ciganek, A. P. (2017). Understanding makerspace continuance: A self-determination perspective. *Telematics and Informatics, 34*, 134-195. doi:10.1016/j.tele.2017.02.003

Handal, B., Campbell, C., Cayanagh, M., Petocz, P., & Kelly, N. (2013). Technological Pedagogical Content Knowledge of Secondary Mathematics Teachers. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, *13*(1), 22–40.

Harris, J. (2016). Inservice Teachers' TPACK Development: Trends, Models, and Trajectories. In M. C. Herring, P. Mishra, & M. J. Koehler (Hrsg.), *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators* (2. Aufl., S. 191–206). Routledge. https://scholarworks.wm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=educationbook chapters

Harris, J. B., & Hofer, M. J. (2011). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in Action: A Descriptive Study of Secondary Teachers' Curriculum-Based, Technology-Related Instructional Planning. *Journal of Research on Technology in Education*, *43*(3), 211–229. https://doi.org/10.1080/15391523.2011.10782570

Harris, J., Grandgenett, N., & Hofer, Mark. (2010). Testing a TPACK-based technology integration assessment instrument. *Research highlights in technology and teacher education*, 323–331.

Henriksen, D., Mishra, P., Creely, E., & Henderson, M. (2021). The Role of Creative Risk Taking and Productive Failure in Education and Technology Futures. *TechTrends*, *65*(4), 602–605. https://doi.org/10.1007/s11528-021-00622-8

Heredia, S. C., & Tan, E. (2021). Teaching & learning in makerspaces: Equipping teachers to become justice-oriented maker-educators. *The Journal of Educational Research*, *114*(2), 171–182. https://doi.org/10.1080/00220671.2020.1860871

Herzig, B., & Martin, A. (2018). Lehrerbildung in der digitalen Welt. In S. Ladel, J. Knopf, & A. Weinberger (Hrsg.), *Digitalisierung und Bildung* (S. 89–113). Wiesbaden: Springer Fachmedien. doi:10.1007/978-3-658-18333-2_6

Hilton, E. C., Tomko, M., Murphy, A., Nagel, R., & Linsey, J. S. (2018). Impacts on design self-efficacy for students choosing to participate a university makerspace. ICDC, 369-378.

Hofer, M., & Grandgenett, N. (2012). TPACK Development in Teacher Education: A Longitudinal Study of Preservice teachers in a Secondary M.A.Ed Program. *Journal of Research on Technology in Education*, *45*(1), 83–106. https://doi.org/10.1080/15391523.2012.10782598

Holden, H., & Rada, R. (2011). Understanding the Influence of Perceived Usability and Technology Self-Efficacy on Teachers' Technology Acceptance. *Journal of Research on Technology in Education*, *43*(4), 343–367. https://doi.org/10.1080/15391523.2011.10782576

Ismer, E., & Mietzner, D. (2019). *Mit Kollaboration zu individuellen Kompetenzzielen – Der Maker Space als neuer Lernort* [Application/pdf]. https://doi.org/10.15771/0949-8214_2019_11

Jaatinen, J., & Lindfors, E. (2019). Makerspaces for Pedagogical Innovation Processes: How Finnish Comprehensive Schools Create Space for Makers. *Design and Technology Education: An International Journal*, *24*(2), 42–66.

Jen, T.-H., Yeh, Y.-F., Hsu, Y.-S., Wu, H.-K., & Chen, K.-M. (2016). Science teachers' TPACK-Practical: Standard-setting using an evidence-based approach. *Computers & Education*, *95*, 45–62.

Jin, Y. (2021). Play, Design, Create, Fail, Teach, and Repeat: A Design Case Of Designing a Maker Education Course for Preservice Teachers. *International Journal of Designs for Learning*, *12*(1), 77–100. https://doi.org/10.14434/ijdl.v12i1.25857

Jones, W. M., Caratachea, M., Schad, M., & Cohen, J. D. (2020). Examining K–12 teacher learning in a makerspace through the activity–identity–community framework. *Journal of Research on Technology in Education*, *53*(3), 317–332. https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1774824

Jones, W. M., Smith, S., & Cohen, J. D. (2017). Preservice Teachers' Beliefs About Using Maker Activities in Formal K-12 Educational Settings: A Multi-Institutional Study. *Journal of Research on Technology in Education*, *49*(3–4), 134–148. https://doi.org/10.1080/15391523.2017.1318097

Joo, Y. J., Park, S., & Lim, E. (2018). Factors influencing preservice teachers' intention to use technology: TPACK, teacher self-efficacy, and technology acceptance model. *Educational Technology & Society*, *21*(3), 48–59.

Juanda, A., Shidiq, A. S., & Nasrudin, D. (2021). Teacher learning management: Investigating biology teachers' TPACK to conduct learning during the COVID-19 outbreak. *Journal Pendidikan IPA Indonesia, 10*(1), 48-59.

Kaplon-Schilis, A., & Lyublinskaya, I. (2019). Analysis of Relationship Between Five Domains of TPACK Framework: TK, PK, CK Math, CK Science, and TPACK of Pre-service Special Education Teachers. *Technology, Knowledge and Learning*, *43*(4), 281. https://doi.org/10.1007/s10758-019-09404-x

Keser, H., Karaoğlan Yılmaz, F. G., & Yılmaz, R. (2015). TPACK Competencies and Technology Integration Self-Efficacy Perceptions of Pre-Service Teachers. *İlköğretim Online*, *14*(2). https://doi.org/10.17051/io.2015.65067

Khalifa, S., & Brahimi, T. (2017). Makerspace: A novel approach to creative learning. *2017 Learning and Technology Conference (L&T) - The MakerSpace: From Imagining to Making!*, 43–48. https://doi.org/10.1109/LT.2017.8088125

Khirwadkar, A., & Figg, C. (2019). Makerspaces for Developing TPACK: A Self-Directed Creative Exploration for Learning Mathematics. In K. Graziano (Hrsg.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (S. 2463-2468). Las Vegas, NV, United States: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). Zuletzt abgerufen am 4. Juli 2021 von https://www.learntechlib.org/primary/p/207996/.

Khoirul Antony, M. & Paidi. (2019). TPACK Observation Instrument: Development, Validation, and Reliability. *Journal of Physics: Conference Series*, *1241*, 012029. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1241/1/012029

KMK. (2016). *Bildung in der digitalen Welt* [Brief an Sekretariat der Kultusministerkonferenz]. www.kmk.org

KMK. (2017). Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz.https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2018/Strategie_Bildung_in_der_digitalen_Welt_idF._vom_07.12.2017.pdf

KMK. (2019). Empfehlungen zur Digitalisierung in der Hochschullehre. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2019/BS_190314_Empfehlungen_Digitalisierung_Hochschullehre.pdf

KMK. (2021). *Lehren und Lernen in der digitalen Welt — Die ergänzende Empfehlung zur Strategie „Bildung in der digitalen Welt"*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_12_09-Lehren-und-Lernen-Digi.pdf

Knaus, T., & Schmidt, J. (2020). Medienpädagogisches Making. *Medienimpulse*. https://doi.org/10.21243/MI-04-20-04

Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What Is Technological Pedagogical Content Knowledge?. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education, 9(1), 60–70.*

Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2013). What Is Technological Pedagogical Content Knowledge?. *Journal of Education*, 193(3), 13–20.

Koh, J. H. L., Chai, C. S., & Tay, L. Y. (2014). TPACK-in-Action: Unpacking the contextual influences of teachers' construction of technological pedagogical content knowledge (TPACK). *Computers & Education*, *78*, 20–29.

Koh, J. H. L., Chai, C. S., & Tsai, C. C. (2010). Examining the technological pedagogical content knowledge of Singapore pre-service teachers with a large-scale survey. *Journal of Computer Assisted Learning*, *26*(6), 563–573. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2010.00372.x

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experiences as the source of learning and development*. Prentice Hall.

Kopcha, T. J., Ottenbreit-Leftwich, A., Jung, J., & Baser, D. (2014). Examining the TPACK framework through the convergent and discriminant validity of two measures. *Computers & Education*, *78*, 87–96. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.05.003

Kramarski, B., & Michalsky, T. (2009). Three metacognitive approaches to training pre-service teachers in different learning phases of technological pedagogical content knowledge. *Educational Research and Evaluation*, *15*(5), 465–485. https://doi.org/10.1080/13803610903444550

Krauskopf, K., Zahn, C., & Hesse, F. W. (2012). Leveraging the affordances of Youtube: The role of pedagogical knowledge and mental models of technology functions for lesson planning with technology. *Computers & Education*, *58*(4), 1194–1206. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.12.010

Krippendorff, K. (2013). Content analysis, an introduction to its methodology (3. Aufl.). Sage Publications.

Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3. Aufl.). Beltz Juventa.

Kuhn, J., Ropohl, M., & Groß, J. (2017). Fachdidaktische Mehrwerte durch Einführung digitaler Werkzeuge. In J. Messinger-Koppelt, S. Schanze, & J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen* (S. 11–32). Joachim Herz Stiftung Verlag.

Kurti, R. S., Kurti, D. L., & Fleming, L. (2014). The philosophy of educational makerspaces part 1 of making an educational makerspace. *Teacher Librarian*, *41*(5), 8–11.

Lachner, A., Backfisch, I., & Stürmer, K. (2019). A test-based approach of Modeling and Measuring Technological Pedagogical Knowledge. *Computers & Education*, *142*, 103645. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103645

Lachner, A., Fabian, A., Franke, U., Preiß, J., Jacob, L., Führer, C., Küchler, U., Paravicini, W., Randler, C., & Thomas, P. (2021). Fostering pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): A quasi-experimental field study. *Computers & Education*, *174*, 104304. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104304

Lee, M.-H., & Tsai, C.-C. (2010). Exploring Teachers' Perceived Self Efficacy and Technological Pedagogical Content Knowledge with Respect to Educational Use of the World Wide Web. *Instructional Science: An International Journal of the Learning Sciences*, *38*(1), 1–21.

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2017). Fortbildungen für Lehrkräfte wirksam gestalten—Erfolgversprechende Wege und Konzepte aus Sicht der empirischen Bildungsforschung. *Bildung und Erziehung*, *70*(4), 379–399.

Liu, S. H. (2011). Modeling pre-service teachers' knowledge of, attitudes toward, and intentions for technology integration. In T. Bastiaens & M. Ebner (Hrsg.), *World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). https://www.learntechlib.org /primary/p/38335/

Lukas, S., Max, A.-L., & Weitzel, H. (2020). Integrating media didactic competences in psychology courses of teacher education. *Proceedings of CELDA*, 326–330.

Lukas, S., Müller, W., Huwer, J., Drüke-Noe, C., Koppel, I., Rebholz, S., Stratmann, J., Theilmann, F., & Weitzel, H. (2019). Improving students' TPACK through learning labs: The implementation of IChemLab and STEAM Makerspace. *EDULEARN19 Proceedings*, Palma de Mallorca, Spain, 6718–6726. https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.1611

Länderkonferenz Medienbildung. (2015). Kompetenzorientiertes Konzept für die schulische Medienbildung. LKM-Positionspapier. https://lkm.lernnetz.de/files/Dateien_lkm/ Dokumente/LKM-Positionspapier_2015.pdf

Martin, L. (2015). The Promise of the Maker Movement for Education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, *5*(1). https://doi.org/10.7771/2157-9288.1099

Matsunaga, M. (2008). Item Parceling in Structural Equation Modeling: A Primer. *Communication Methods and Measures*, *2*, 260–293. https://doi.org/10.1080/19312450802458935

Max, A.-L., Lukas, S., & Weitzel, H. (2020a). Entwicklung von Aufgaben zur Bewertung des TPACK von Lehramtsstudierenden der Biologie. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, *19*, 15.

Max, A.-L., Lukas, S., & Weitzel, H. (2021). How to successfully organise a media project in a pedagogical makerspace for teacher students. *Proceedings of the INTED 2021*, Valencia, Spain, 6511–6517. doi:10.21125/inted.2021.1301

Max, A.-L., Schmoll, I., Uhl, P., Huwer, J., Lukas, S., Mueller, W., & Weitzel, H. (2020b). Integration of a teaching-learning lab and a pedagogical makerspace into a module for media education for STEAM teacher students. *Proceedings of the INTED*, 2050–2059. https://doi.org/10.21125/inted.2020.0645

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning* (2. Aufl.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678

Mei, B., Brown, G. T. L., & Teo, T. (2017). Toward an Understanding of Preservice English as a Foreign Language Teachers' Acceptance of Computer-Assisted Language Learning 2.0 in the People's Republic of China. *Journal of Educational Computing Research*, *56*(1), 74–104. https://doi.org/10.1177/0735633117700144

Mersand, S. (2021). The State of Makerspace Research: A Review of the Literature. *TechTrends*, *65*(2), 174–186. https://doi.org/10.1007/s11528-020-00566-5

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2016). Bildungsplan Sekundarstufe I Biologie. http://www.bildungsplaenebw.de/,Lde/LS/BP2016BW/ALLG/SEK1/BIO

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, *108*(6), 1017–1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2008). *Introducing Technological Pedagogical Content Knowledge*. 16.

Moosbrugger, H., & Kelava, A. (2012). Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (pp. 7–26). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20072-4_2

Mourlam, D., Chesnut, S., & Bleecker, H. (2021). Exploring preservice teacher self-reported and enacted TPACK after participating in a learning activity types short course. *Australasian Journal of Educational Technology*, 152–169. https://doi.org/10.14742/ajet.6310

Mouza, C. (2016). Developing and Assessing TPACK Among Pre-Service Teachers. A Synthesis of Research. In *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators* (2. Aufl., S. 169–190). Routledge.

Mouza, C., Karchmer-Klein, R., Nandakumar, R., Ozden, S. Y., & Hu, L. (2014). Investigating the impact of an integrated approach to the development of preservice teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK). *Computers & Education*, *71*, 206–221.

Müller, W., Grassinger, R., Schnebel, S., Stratmann, J., Weitzel, H., Aumann, A., Bernhard, G., Gaidetzka, M., Heiberger, L., Kreyer, I., Schmidt, C., Uhl, P., Visotschnig, M. & Widmann, J. (2021). Integration of digital competences into a teacher education program: A sensitive approach. In *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Supported Education - Volume 1: CSEDU*, 232–242. DOI: https:// doi.org/10.5220/ 0010527202320242

Muthén, L. K., & Muthén, B. (1998 - 2017). *Mplus user's guide: Statistical analysis with latent variables, user's guide*. Los Angeles, CA: Muthén & Muthén. https://www.statmodel.com/html_ug.shtml

Niederhauser, D. S., & Lindstrom, D. L. (2018). Instructional Technology Integration Models and Frameworks: Diffusion, Competencies, Attitudes, and Dispositions. In J. Voogt, G. Knezek, R. Christensen, & K.-W. Lai (Hrsg.), *Second Handbook of Information Technology in Primary and Secondary Education* (S. 335–355). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71054-9_23

Njiku, J., Mutarutinya, V., & Maniraho, J. F. (2020). Developing technological pedagogical content knowledge survey items: A review of literature. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *36*(3), 150–165. https://doi.org/10.1080/21532974.2020.1724840

Nowell, C., & Alston, R. M. (2007). I thought I got an A! Overconfidence across the economics curriculum. *Journal of Economic Education*, 38, 131–142. https://doi.org/10.3200/ JECE.38.2.131-142

Olofson, M. W., Swallow, M. J. C., & Neumann, M. D. (2016). TPACKing: A constructivist framing of TPACK to analyze teachers' construction of knowledge. *Computers & Education*, *95*, 188–201. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.12.010

Örtengren, K. (2016). *A guide to Results-Based Management (RBM), efficient project planning with the aid of the Logical Framework Approach (LFA)* [Data set]. American Psychological Association. https://doi.org/10.1037/e616352011-234

Panadero, E., Brown, G. T. L., & Strijbos, J.-W. (2016). The Future of Student Self-Assessment: A Review of Known Unknowns and Potential Directions. *Educational Psychology Review*, *28*(4), 803–830. https://doi.org/10.1007/s10648-015-9350-2

Panadero, E., & Romero, M. (2014). To rubric or not to rubric? The effects of self-assessment on self-regulation, performance and self-efficacy. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, *21*(2), 133–148. https://doi.org/10.1080/0969594X.2013.877872

Partnership for 21st Century Learning (2019). Framework for 21st Century Learning. Abgerufen von https://www.battelleforkids.org/networks/p21/frameworks-resources

Petko, D., Honegger, B. D., & Prasse, D. (2018). Digitale Transformation in Bildung und Schule: Facetten, Entwicklungslinien und Herausforderungen für die Lehre- rinnen- und Lehrerbildung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, *36*(2), 157–174.

Puentedura, P. (2006). *Transformation, technology, and education*. Abgerufen von http://hippasus.com/resources/tte/

Rayna, T., & Striukova, L. (2021). Fostering skills for the 21st century: The role of Fab labs and makerspaces. *Technological Forecasting and Social Change*, *164*, 120391. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120391

Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital competence of educators. DigCompEdu.* Publication Office of the European Union. https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/european-framework-digital-competence-educators-digcompedu

Robinson, M. D., & Clore, G. L. (2001). Simulation, Scenarios, and Emotional Appraisal: Testing the Convergence of Real and Imagined Reactions to Emotional Stimuli. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *27*(11), 1520–1532. https://doi.org/10.1177/01461672012711012

Robinson, C., & Schumacker, R. E. (2009). Interaction Effects: Centering, Variance Inflation Factor, and Interpretation Issues. *Multiple linear regression viewpoints, 35*, 6-11.

Rohr, V. (2018). *Der Zusammenhang zwischen akkurater Selbsteinschätzung und Performanz im wirtschaftswissenschaftlichen Kontext*. (Dissertation Wirtschaftswissenschaften). Universität Mannheim.

Rosenfeld Halverson, E., & Sheridan, K. M. (2014). The maker movement in education. *Harvard Educational Review*, *84*(4), 495–504.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. *American Psychologist*, 11.

Sailer, M., Stadler, M., Schultz-Pernice, F., Franke, U., Schöffmann, C., Paniotova, V., Husagic, L., & Fischer, F. (2021). Technology-related teaching skills and attitudes: Validation of a scenario-based self-assessment instrument for teachers. *Computers in Human Behaviour,* 115(106), 625. https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106625of

Savery, J. R., & Duffy, T. M. (1995). Problem Based Learning: An Instructional Model and Its Constructivist Framework. *Educational Technology*, *35*(5), 31–38.

Schanze, S., & Girwidz, R. (2018). Lernen mit digitalen Medien. In D. Krüger, D., I. Parchmann, & H. Schrecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin Heidelberg: Springer, 177-192.

Scherer, R., & Teo, T. (2019). Unpacking teachers' intentions to integrate technology: A meta-analysis. *Educational Research Review*, *27*, 90–109. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.03.001

Scherer, R., Tondeur, J., & Siddiq, F. (2017). On the quest for validity: Testing the factor structure and measurement invariance of the technology-dimensions in the technological, pedagogical, and content knowledge (TPACK) model. Computers & Education, 112, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.04.012

Scherer, R., Tondeur, J., Siddiq, F., & Baran, E. (2018). The importance of attitudes toward technology for pre-service teachers' technological, pedagogical, and content knowledge: Comparing structural equation modeling approaches. *Computers in Human Behavior*, *80*, 67–80. https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.11.003

Schmid, M., Brianza, E., & Petko, D. (2020). Developing a short assessment instrument for Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK.xs) and comparing the factor structure of an integrative and a transformative model. *Computers & Education*, *157*, 103967. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103967

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.

Schmidt, L. (2019). Menschenzentriert – Kollaborativ – Handlungsorientiert. Design-Ansätze für die Primarschule des 21. Jahrhunderts. In *Chance Makerspace: Making trifft auf Schule*, 19–32. Kopaed.

Schmoelz, A. (2017). On Co-Creativity in Playful Classroom Activities. *Creativity. Theories – Research - Applications*, *4*(1), 25–64. https://doi.org/10.1515/ctra-2017-0002

Schwanewedel, J. (2017). Hauptsache digital?!. Unterricht Biologie (427), 46–47.

Schön, S. (2018). Kreativräume und Werkstätten für digitale Innovationen. *Synergie. Digitalisierung in der Lehre.*, *Fachmagazin für Digitalisierung in der Lehre,* (4), 10–16.

Schön, S., ra, E., Martin, G., & l, M. (2019). Makerspaces als Kreativ- und Lernräume. Werkstätten mit digitalen Werkzeugen aus Perspektive der Erwachsenenbildung. *Magazin erwachsenenbildung.at. Das Fachmedium für Forschung, Praxis und Diskurs*, 15.

Scott, K. C. (2021). A Review of Faculty Self-Assessment TPACK Instruments. *International Journal of Information and Communication Technology Education*, *17*(2), 118–137. https://doi.org/10.4018/IJICTE.2021040108

Seidel, T. (Hrsg.). (2003). *Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht"*. Kiel: IPN.

Seidl, T. (2017). Kreativität als (Aus-) Bildungsziel in Makerspaces. *Synergie. Digitalisierung in der Lehre.*, *4*. https://www.synergie.uni-hamburg.de/de/media/ausgabe04/synergie04-beitrag03-seidl.pdf

Sekretariat der Kultusministerkonferenz (2019). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften.https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16- Standards-Lehrerbildung-Bildungswissenschaften.pdf

Seufert, S., Guggemos, J., & Sailer, M. (2021). Technology-related knowledge, skills, and attitudes of pre- and in-service teachers: The current situation and emerging trends. *Computers in Human Behavior*, *115*, 106552. https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106552

Shinas, V. H., Yilmaz-Ozden, S., Mouza, C., Karchmer-Klein, R., & Glutting, J. J. (2013). Examining Domains of Technological Pedagogical Content Knowledge Using Factor Analysis. *Journal of Research on Technology in Education*, *45*(4), 339–360. https://doi.org/10.1080/15391523.2013.10782609

Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, *15*(2), 4–14. doi:10.3102/0013189X015002004

Siebert, H. (2001). *Selbstgesteuertes Lernen und Lernberatung: Neue Lernkulturen in Zeiten der Postmoderne*. Luchterhand.

Silva, J. B. D., Bilessimo, S. M. S., & Machado, L. R. (2021). Integração de tecnologia na educação: Proposta de modelo para capacitação docente inspirada no TPACK. *Educação Em Revista*, *37*, e232757. https://doi.org/10.1590/0102-4698232757

Sitzmann, T., & Yeo, G. (2013). A Meta-Analytic Investigation of the Within-Person Self-Efficacy Domain: Is Self-Efficacy a Product of Past Performance or a Driver of Future Performance?. *Personnel Psychology*, *66*(3), 531–568. https://doi.org/10.1111/peps.12035

Sojanah, J., Suwatno, S., Kodri, K., & Machmud, A. (2021). Factors affecting teachers´ teachnological pedagogical and content knowledge (a survey on eonomics teacher knowledge). *Jurnal Cakrawala Pendidikan*, *40*(1), 1–16. https://doi.org/10.21831/cp.v40i1.31035

Song, L. (2018). Improving pre-service teachers' self-efficay on technology integration through service learning. 11.

Steffensky, M., & Neuhaus, B. J. (2018). Unterrichtsqualität im naturwissenschaftlichen Unterricht. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 299–313). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_18

Steier, L., & Young, A. W. (2016). *Growth Mindset and the Makerspace Educational Environment* [Masters of Arts in Education Action Research Papers]. Sophia, the St. Cahterine University repository website. https://sophia.stkate.edu/maed/196

Stürmer, K., & Lachner, A. (2017). Unterrichten mit digitalen Medien. In K. Scheiter & T. Riecke-Baulecke (Hrsg.), *Lehren und Lernen mit digitalen Medien. Strategien, internationale Trends und pädagogische Orientierungen* (S. 82–95). Oldenbourg.

Sutherland, J. J. (2019). *The scrum fieldbook: A master class on accelerating performance, getting results, and defining the future*. Currency.

SWK. (2021). *Stellungnahme zur Weiterentwicklung der KMK-Strategie „Bildung in der digitalen Welt“*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/KMK/SWK/2021/2021_10_07-SWK_Weiterentwicklung_Digital-Strategie.pdf

Taheri, P., Robbins, P., & Maalej, S. (2019). Makerspaces in First-Year Engineering Education. *Education Sciences*, *10*(1), 8. https://doi.org/10.3390/educsci10010008

Tan, M. (2019). When Makerspaces Meet School: Negotiating Tensions Between Instruction and Construction. *Journal of Science Education and Technology*, *28*(2), 75–89. https://doi.org/10.1007/s10956-018-9749-x

Teo, T. (2012). Examining the intention to use technology among pre-service teachers: An integration of the Technology Acceptance Model and Theory of Planned Behavior. *Interactive Learning Environments*, *20*(1), 3–18. https://doi.org/10.1080/10494821003714632

Teo, T., & van Schaik, P. (2012). Understanding the Intention to Use Technology by Preservice Teachers: An Empirical Test of Competing Theoretical Models. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *28*(3), 178–188. https://doi.org/10.1080/10447318.2011.581892

Teo, T., & Zhou, M. (2014). Explaining the intention to use technology among university students: A structural equation modeling approach. *Journal of Computing in Higher Education*, *26*(2), 124–142. https://doi.org/10.1007/s12528-014-9080-3

Thun, H. (2014). Unternehmenskultur – Projektmanagement-Methode muss zur Firma passen. *Computer-Woche*. https://www.computerwoche.de/a/projektmanagementmethode-muss-zur-firma-passen,3064183

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

Tondeur, J., Scherer, R., Siddiq, F., & Baran, E. (2020). Enhancing pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): A mixed-method study.

Educational Technology Research and Development, *68*(1), 319–343. https://doi.org/10.1007/s11423-019-09692-1

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. doi:10.1016/j.compedu.2011.10.009

Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. Jossey-Bass, a Wiley Imprint.

Valtonen, T., Kukkonen, J., Kontkanen, S., Mäkitalo-Siegl, K., & Sointu, E. (2018). Differences in pre-service teachers' knowledge and readiness to use ICT in education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(2), 174–182. https://doi.org/10.1111/jcal.12225

Valtonen, T., Leppänen, U., Hyypiä, M., Sointu, E., Smits, A., & Tondeur, J. (2020). Fresh perspectives on TPACK: Pre-service teachers' own appraisal of their challenging and confident TPACK areas. *Education and Information Technologies*, *25*(4), 2823–2842. https://doi.org/10.1007/s10639-019-10092-4

van Ackeren, I., Aufenanger, S., Eickelmann, B., Friedrich, S., Kammerl, R., Knopf, J., Mayrberger, K., Scheika, H., Scheiter, K., & Schiefner-Rohs, M. (2019). Digitalisierung in der Lehrerbildung. Herausforderungen, Entwicklungsfelder und Förderung von Gesamtkonzepten. *DDS – Die Deutsche Schule*, *111*(1), 103–119. https://doi.org/10.31244/dds.2019.01.10

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

van Laar, E., van Deursen, A. J. A. M., van Dijk, J. A. G. M., & de Haan, J. (2017). The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. Computers in Human Behavior, 72, 577–588. https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.010

van Loon, M. H., de Bruin, A. B. H., van Gog, T., & van Merriënboer, J. J. G. (2013). Activation of inaccurate prior knowledge affects primary-school students' metacognitive judgments and calibration. *Learning and Instruction,* 24, 15–25. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.08.005

Vansteenkiste, M., Simons, J., Lens, W., Sheldon, K. M., & Deci, E. L. (2004). Motivating learning, performance, and persistence: the synergistic effects of intrinsic goal contents and autonomy-supportive contexts. *Journal of personality and social psychology*, *87*(2), 246-260.

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*, *114*(3), 57. https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6

Vongkulluksn, V. W., Matewos, A. M., Sinatra, G. M., & Marsh, J. A. (2018). Motivational factors in makerspaces: A mixed methods study of elementary school students' situational interest, self-efficacy, and achievement emotions. *International Journal of STEM Education*, *5*(1), 43. https://doi.org/10.1186/s40594-018-0129-0

Voogt, J., Fisser, P., Pareja Roblin, N., Tondeur, J., & van Braak, J. (2013). Technological pedagogical content knowledge - a review of the literature: Technological pedagogical content. *Journal of Computer Assisted Learning*, *29*(2), 109–121. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2012.00487.x

Voogt, J. M., Pieters, J. M., & Handelzalts, A. (2016). Teacher collaboration in curriculum design teams: Effects, mechanisms, and conditions. *Educational Research and Evaluation*, *22*(3–4), 121–140. https://doi.org/10.1080/13803611.2016.1247725

Vuorikari, R., Punie, Y., Carretero, S., Brande, L. V. den, European Commission, & Joint Research Centre. (2016). *DigComp 2.0: The digital competence framework for citizens.* Publications Office. http://dx.publications.europa.eu/10.2791/11517

Wang, W., Schmidt-Crawford, D., & Jin, Y. (2018). Preservice Teachers' TPACK Development: A Review of Literature. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *34*(4), 234–258. https://doi.org/10.1080/21532974.2018.1498039

Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A., & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *15*, 15.

Willermark, S. (2017). Technological Pedagogical and Content Knowledge: A Review of Empirical Studies Published From 2011 to 2016. *Journal of Educational Computing Research*, *56*(3), 315–343. https://doi.org/10.1177/0735633117713114

Wollenschläger, M., Hattie, J., Machts, N., Möller, J., & Harms, U. (2016). What makes rubrics effective in teacher-feedback? Transparency of learning goals is not enough. *Contemporary Educational Psychology*, *44–45*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2015.11.003

Yamamoto, J. (2021). Pre-service Teachers' Adoption of a Makerspace. In D. Ifenthaler, D. G. Sampson, & P. Isaías (Hrsg.), *Balancing the Tension between Digital Technologies and Learning Sciences* (S. 95–110). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65657-7_6

Yeh, Y.-F., Hsu, Y.-S., Wu, H.-K., Hwang, F.-K., & Lin, T.-C. (2014). Developing and validating technological pedagogical content knowledge-practical (TPACK-practical) through the Delphi survey technique: Development and validation of TPACK-practical. *British Journal of Educational Technology*, *45*(4), 707–722. https://doi.org/10.1111/bjet.12078

Zahwa, I., Saptono, S., & Dewi, P. (2021). The Interrelation Among Course Mastery, Technology Integration Self Efficacy, and Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) of Prospective Science Teachers. *Journal of Innovative Science Education*, *9*(3). https://doi.org/10.15294/jise.v9i2.40177

Zhan, Q., Chen, X., & Retnawati, E. (2021). Exploring a construct model for university makerspaces beyond curriculum. *Education and Information Technologies*. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10761-3

Zhang, W., & Tang, J. (2021). Teachers' TPACK Development: A Review of Literature. *Open Journal of Social Sciences*, *09*(07), 367–380. https://doi.org/10.4236/jss.2021.97027

Zimmermann, F., Melle, I., & Huwer, J. (2021). Developing prospective chemistry teachers' TPACK – A comparison between students of two different universities and expertise levels regarding their TPACK self-efficacy, attitude, and lesson planning competence. *Journal of Chemical Education, 98*, 1863-1874. https://doi.org/10.1021/ACS.JCHEMED.0C01296

13. Anhang

13.1 Publikationsliste

Lukas, S., Max, A.-L., & Weitzel, H. (2020). Integrating media didactic competences in psychology courses of teacher education, In: D. G. Sampson, D. Ifenthaler & P. Isaías (Hrsg.), *CELDA 2020 Proceedings* (S.326-330). Lissabon: iadis.

Max, A. L., Schmoll, I., Uhl, P., Huwer, J., Lukas, S., Mueller, W., & Weitzel, H. (2020). Integration of a teaching-learning lab and a pedagogical makerspace into a module for media education for STEAM teacher students. *Proceedings of the INTED*, 2050–2059. https://doi.org/10.21125/inted.2020.0645

Max, A.-L., Lukas, S., & Weitzel, H. (2020). Entwicklung von Aufgaben zur Bewertung des TPACK von Lehramtsstudierenden der Biologie. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 19, 15. https://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2020/Max_Lukas_Weitzel.pdf

Max, A.-L., Lukas, S., & Weitzel, H. (*submitted for publication*). The pedagogical makerspace: Learning opportunity and challenge for prospective teachers' growth of TPACK. British Journal of Educational Technology.

Max, A.-L., Lukas, S., & Weitzel, H. (2021). How to successfully organize a media project in a pedagogical makerspace for student teachers. *Proceedings of the INTED*, 6511–6517. https://doi.org/10.21125/inted.2021.1301

Max, A.-L., Lukas, S., & Weitzel, H. (2022). The relationship between self-assessment and performance in learning TPACK: Are self-assessments a good way to support preservice teachers' learning? Journal of Computer Assisted Learning, 1–13. https://doi.org/10.1111/jcal.12674

Max, A.-L., Weitzel, H., & Lukas, S. (*draft*). Factors influencing the development of pre-service science teachers' technological pedagogical content knowledge in a pedagogical makerspace

13.2 Prä-Post-Fragebogen zur Selbsteinschätzung von TPACK

Der Fragebogen wurden online über das Programm SoSciSurvey erstellt und über ein URL-Link den angehenden Lehrkräften (Interventions- und Kontrollgruppe) zur Verfügung gestellt. Die Post-Version des Fragebogens weicht in der verwendeten Zeitform von der Prä-Version ab, die Formulierung der erhobenen Konstrukte bleibt dabei gleich.

Pädagogische
Hochschule Weingarten

FRAGEBOGEN – UMGANG MIT UND EINSTELLUNG ÜBER DIGITALE MEDIEN

Liebe Studierende,

bereits zu Beginn des Semesters haben Sie an der ersten TPACK Evaluation teilgenommen. Das Projekt TPACK 4.0 beschäftigt sich damit, wie die medien- und fachdidaktischen Kompetenzen von Lehramtsstudierenden weiter gefördert und ausgebaut werden können. Solche Fähigkeiten und Fertigkeiten sind für zukünftige Lehrkräfte ungemein wichtig, was sich vor allem in der aktuellen Corona-Pandemie gezeigt hat.

Durch Ihre erneute Teilhabe an unserer Umfrage tragen Sie einen wichtigen Teil zur Veränderung und Anpassung der Hochschullehre bei!

Vielen Dank für Ihre erneute Teilnahme am Fragebogen!

Das Projektteam des Projekts TPACK 4.0

Weiter

Anna-Lisa Max, Pädagogische Hochschule Weingarten – 2020 | 0% ausgefüllt

Bitte geben Sie Ihren persönlichen Code sorgfältig ein. Der Code sollte bei allen Evaluationsteilen derselbe sein, schließen Sie deshalb Verwechslungen der Buchstaben und Zahlen aus und merken Sie sich den Code bis zum Ende des Semesters.

Der Code setzt sich wie folgt zusammen:

1. Erster Buchstabe des Vornamens Ihrer Mutter (z.B. „**M**aria" --> M)
2. Erster Buchstabe des Vornamens Ihres Vaters (z.B. „**P**eter" --> P)
3. Erster Buchstabe Ihres Geburtsortes (z.B. „**B**erlin" --> B)
4. Der **zweistellige** Tag Ihres Geburtsdatums (z.B. **4.**September --> 04)

Ihr persönlicher Code (in diesem Fall z.B. MPB04)

2. In welchem Fachseminar haben Sie diese Evaluation/ Ihr Medienprojekt durchgeführt?

[Bitte auswählen]

Bitte geben Sie an, welches Angebot des TPACK-Projektes Sie genutzt haben.

[Bitte auswählen]

Für welchen Zweck haben Sie digitale Medien in Ihrem Unterricht eingeplant?
(Mehrfachantworten möglich)

- ☐ Bedienen & Anwenden (z.B. Apps, Software)
- ☐ Informieren & Recherchieren (z.B. Suchmaschinen, Plattformen, Erklärvideos, Animationen)
- ☐ Kommunizieren & Kooperieren (z.B. Zoom, Online-Mind-Mapping-Tools)
- ☐ Problemlösen & Modellieren (z.B. 3D Modellierung, Online-Spiele, Simulationen)
- ☐ Analysieren & Reflektieren (z.B. Evaluation, Messwerterfassungssysteme)
- ☐ Produzieren & Präsentieren (z.B. Erklärvideos, Simulationen, PPT/ Keynote, 3D Modelle, AR Anwendungen)

Haben Sie in diesem Semester den „Mediendidaktischen Input" im Moopaed-Kurs „Virtual Workspace CoLiLab" durchgearbeitet?

Bitte wählen Sie aus:

[Bitte auswählen]

Bitte sagen Sie uns, wie Ihnen die aktuelle Version des „Mediendidaktischen Inputs" insgesamt gefallen hat. Wir freuen uns über Anregungen, Kritik oder Verbesserungsvorschläge! Vielen Dank!

Haben Sie Ihr integriertes Semesterpraktikum (ISP) bereits absolviert?

- ○ Ja, ISP bereits in einem vorherigen Semester absolviert
- ○ Ich absolviere das ISP im aktuellen Semester
- ○ Nein, ISP noch nicht absolviert (in späterem Semester geplant)
- ○ Nein, ISP ist in meinem Studiengang nicht vorgesehen

Intentionen zur Nutzung digitaler Medien

Wie schätzen Sie Ihre Absichten zum Einsatz von digitalen Medien im Unterricht ein?

	stimmt gar nicht 1	stimmt eher nicht 2	stimmt eher 3	stimmt genau 4
Ich beabsichtige, mich im Bereich digitale Medien im Unterricht in Zukunft fortzubilden.	○	○	○	○
Ich werde in Zukunft in meinem Fachunterricht Lernsoftware einsetzen.	○	○	○	○
Ich werde in Zukunft in meinem Fachunterricht ein Projekt mit digitalen Medien durchführen.	○	○	○	○
Ich werde zukünftig für meinen Unterricht sinnvolle Einsatzmöglichkeiten für digitale Medien suchen.	○	○	○	○
Ich werde in Zukunft nach Möglichkeiten suchen, die Anteile des Einsatzes digitaler Medin in meinem Unterricht zu erhöhen.	○	○	○	○

Medienfachdidaktisches Wissen (TPACK)

Wie schätzen Sie Ihr Können in Bezug auf verschiedene Aspekte der Nutzung digitaler Medien im fachspezifischen Unterricht und bei der Unterrichtsgestaltung ein?

	stimmt gar nicht 1	stimmt eher nicht 2	stimmt eher 3	stimmt genau 4
Ich kann in meinem Unterricht so unterrichten, dass dabei Fachinhalte, digitale Medien und Lehransätze angemessen miteinander kombiniert werden.	○	○	○	○
Ich habe im Rahmen meines Studiums Strategien erworben, mit denen ich Fachinhalte, digitale Medien und Lehransätze kombinieren kann.	○	○	○	○
Ich kann digitale Medien ausfindig machen, mit denen ich den Fachinhalt einer Unterrichtsstunde verbessern kann.	○	○	○	○
Ich kann zukünftig eine führende Rolle bezüglich des Einsatzes von digitale Medien an meiner Schule (in meinem Fachbereich) übernehmen.	○	○	○	○

Ich kann digitale Medien dazu verwenden, ...

	stimmt gar nicht 1	stimmt eher nicht 2	stimmt eher 3	stimmt genau 4
... um fachspezifische Probleme mit Hilfe von Worten, Zahlen oder Bildern (z.B. Modellen) darzustellen.	○	○	○	○
... um fachspezifische Modelle oder Konzepte mit Hilfe von Animationen, Simulationen oder Online-Anwendungen darzustellen.	○	○	○	○
... um fachspezifische Themen auf verschiedenen Wegen zu erkunden oder zu präsentieren.	○	○	○	○
... um Daten zu sammeln, zu analysieren und aufzubereiten und dadurch z.B. Versuchsergebnisse auszuwerten.	○	○	○	○
... um lebensnahe Aufgaben in den Fachunterricht einzubeziehen.	○	○	○	○
... um die Kommunikation zwischen Schülern innerhalb der Unterrichtsstunden zu fördern (z.B. Klassendiskussionen über die verschiedenen Methoden, wie Probleme gelöst werden können).	○	○	○	○
... um fachspezifische Inhalte interdisziplinär mit Themenschwerpunkte anderer Fächer zu verknüpfen (z.B. Englisch, Kunst, Naturwissenschaft, Geschichte).	○	○	○	○
... um die fachspezifischen Untersuchungen der SuS mit Hilfe von digitalen Tools wie Audio- & Videoaufnahmen, digitalen Messmethoden usw. zu unterstützen.	○	○	○	○
... um SuS darin zu unterstützen, ihre Problemlösefähigkeiten in meinem Unterrichtsfach zu entwickeln.	○	○	○	○

Wahrgenommene Nützlichkeit von digitalen Medien für den Unterricht

Wie schätzen Sie folgende Aussagen zu Ihrem Umgang mit digitalen Medien im Unterricht ein?

	stimmt gar nicht 1	stimmt eher nicht 2	stimmt eher 3	stimmt genau 4
Ich glaube, dass eine zunehmende Einführung von digitalen Medien in die Bildung passend zu den Bedürfnissen unserer gesellschaftlichen Veränderungen ist.	○	○	○	○
Ich glaube, dass es notwendig ist, digitale Medien im Unterricht zu integrieren.	○	○	○	○
Ich finde, dass digitale Medien nützlich für den Unterricht sind.	○	○	○	○
Ich schätze sehr den Mehrwert, der durch die Einführung von digitalen Medien in den Unterricht entsteht.	○	○	○	○
Ich vertraue selten auf neue Ideen, bis ich sehe, dass die Mehrheit der Personen um mich herum diese akzeptieren.	○	○	○	○
Ich bin mir bewusst, dass ich normalerweise neue Ideen erst später annehme als die Personen um mich herum.	○	○	○	○
Ich bin misstrauisch gegenüber dem Einsatz neuer Lehr- und Lernmethoden, bis ich merke, dass andere Lehrpersonen oder meine KommilitonInnen erfolgreich damit sind.	○	○	○	○
Ich suche nicht nach Möglichkeiten, um meine Lehrpraxis zu verändern.	○	○	○	○
Ich bin generell sehr zurückhaltend, wenn es darum geht, neue Ideen zu akzeptieren.	○	○	○	○

Technologieakzeptanz (TAM2)

Wie schätzen Sie ihren eigenen, alltäglichen Umgang mit digitalen Medien ein?

	stimmt gar nicht 1	stimmt eher nicht 2	stimmt eher 3	stimmt genau 4
Ich habe ein klares Verständnis für den Umgang mit digitalen Medien.	○	○	○	○
Die Interaktion mit digitalen Medien erfordert von mir eine geringe mentale Anstrengung.	○	○	○	○
Ich finde digitale Medien in ihrer Nutzung einfach.	○	○	○	○
Ich finde es einfach, digitale Medien so zu bedienen, dass sie genau das ausführen, was ich möchte.	○	○	○	○
Digitale Medien lassen sich sehr flexibel einsetzen.	○	○	○	○
Mir zu erarbeiten, wie man Aufgaben mit digitalen Medien erledigt, fällt mir einfach.	○	○	○	○
Digitale Medien bringen eine gute Funktionalität (Features) mit sich.	○	○	○	○
Ich habe das Gefühl, dass ich ein intuitives Gespür für die Bedienung von digitalen Medien habe.	○	○	○	○
Ich kann mich leicht daran erinnern, wie Aufgaben am Computer durchgeführt werden.	○	○	○	○

Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM) zur Arbeit mit digitalen Medien

Wie ist Ihre Einstellung zu digitalen Medien?

	stimmt gar nicht 1	stimmt wenig 2	stimmt teils-teils 3	stimmt ziemlich 4	stimmt völlig 5
Mich mit digitalen Medien zu beschäftigten, macht mir Spaß.	○	○	○	○	○
Ich finde es sehr interessant, mich mit digitalen Medien zu beschäftigen.	○	○	○	○	○
Ich finde es unterhaltsam, mich mit digitalen Medien zu beschäftigen.	○	○	○	○	○
Mit meinen Fähigkeiten im Umgang mit digitalen Medien bin ich zufrieden.	○	○	○	○	○
Im Umgang mit digitalen Medien stelle ich mich geschickt an.	○	○	○	○	○
Ich glaube, ich bin ziemlich gut im Umgang mit digitalen Medien.	○	○	○	○	○
Ich kann den Umgang mit digitalen Medien selbst steuern.	○	○	○	○	○
Im Umgang mit digitalen Medien kann ich wählen, wie ich etwas mache.	○	○	○	○	○
Im Umgang mit digitalen Medien kann ich so vorgehen, wie ich es will.	○	○	○	○	○
Im Umgang mit digitalen Medien fühle ich mich unter Druck.	○	○	○	○	○
Im Umgang mit digitalen Medien fühle ich mich angespannt.	○	○	○	○	○
Ich habe Bedenken, ob ich meine Tätigkeit mit Einbezug von digitalen Medien gut hinbekomme.	○	○	○	○	○

Konstruktivistisches Lehr-Lernverständnis

Welches Lernverständnis haben Sie als angehende Lehrkraft im Hinblick auf ihren eigenen, zukünftigen Unterricht?

Schülerinnen und Schüler(n)...

	stimmt gar nicht 1	stimmt eher nicht 2	stimmt eher 3	stimmt genau 4
... sollten häufig Gelegenheit gegeben werden, in Paaren oder Kleingruppen Probleme gemeinsam zu lösen.	○	○	○	○
... lernen am besten, indem sie selbst Wege zur Lösung von Problemen entdecken.	○	○	○	○
... sollten häufig Gelegenheit gegeben werden, Experimente in Paaren oder Kleingruppen durchzuführen.	○	○	○	○
... sollten bereits Anwendungsaufgaben erhalten, bevor sie alle dazu relevanten Konzepte und Prozeduren gut beherrschen.	○	○	○	○
... benötigen ausführliche Anleitung dazu, wie Experimente durchzuführen sind.	○	○	○	○
... können bei vielen Aufgaben auch ohne die Hilfe von Erwachsenen Lösungswege finden.	○	○	○	○
... sollten Operationen und Prozeduren zuerst verstehen, bevor man viel Zeit auf deren Einübung verwendet.	○	○	○	○
... können (natur)wissenschaftliche Zusammenhänge in der Regel nicht selbst entdecken.	○	○	○	○
...sollten häufig Gelegenheit haben, den Musterlösungen ihrer Lehrpersonen folgen zu können.	○	○	○	○
... sollten bereits Experimente durchführen, bevor sie alle dazu relevanten Prozeduren gut beherrschen.	○	○	○	○
... sollten Anwendungsaufgaben nicht vermischt, sondern nacheinander behandeln.	○	○	○	○
... benötigen ausführliche Anleitung dazu, wie Anwendungsprobleme zu lösen sind.	○	○	○	○

Selbstwirksamkeit im Umgang mit digitalen Medien

Welche Unterstützung brauchen Sie ihrer Einschätzung nach, um Aufgaben mit digitalen Medien zu lösen?

Generell kann ich jede gewünschte Aufgabe mit einem digitalen Medium erledigen, ...

	stimmt gar nicht 1	stimmt eher nicht 2	stimmt eher 3	stimmt genau 4
... auch wenn niemand da ist, der mir sagt, was ich tun soll,	○	○	○	○
... auch wenn ich diese digitalen Medien zuvor noch nie benutzt habe.	○	○	○	○
... wenn ich die Bedienungsanleitungen zur Verfügung habe.	○	○	○	○
... wenn ich bereits jemand Anderen bei der Nutzung des digitalen Mediums beobachtet habe, bevor ich es selbst ausprobiere.	○	○	○	○
... solange ich jemanden um Hilfe bitten kann, wenn ich feststecke.	○	○	○	○
... sobald mir jemand anderes geholfen hat, anzufangen.	○	○	○	○
... solange ich ausreichend Zeit für die Bearbeitung der gestellten Aufgabe habe.	○	○	○	○
... solange ich eine im digitalen Medium integrierte Hilfefunktion zur Unterstützung habe.	○	○	○	○
... solange es mir jemand zuerst vormacht.	○	○	○	○
... wenn ich bereits davor ähnliche digitale Medien für die Bearbeitung der Aufgabe verwendet habe.	○	○	○	○

In diesem Feld können Sie weitere Anmerkungen, Kritik oder Verbesserungsvorschläge zu Ihrer Arbeit im CoLiLab/ iChemLab oder diesem Fragebogen hinterlassen.

13.3 Aufgabenvignetten zur Fremdeinschätzung von TPACK

Die Aufgabenvignetten wurden online über das Programm SoSciSurvey erstellt und über ein URL-Link den angehenden Lehrkräften (Interventionsgruppe) zur Verfügung gestellt. Im Folgenden sind die Aufgabenvignetten des Fachs Biologie dargestellt.

Seite 01

TPACK POST-EVALUATION – TEIL I

Liebe Studierende,

in diesem Teil der Post-Evaluation sollen Sie nun drei Aufgaben [A, B & C] mit jeweils drei Teilaufgaben [1, 2 & 3] bearbeiten.

Nehmen Sie sich für die Bearbeitung der Aufgaben ca. 30 - 45 Minuten Zeit. Die Teilnahme und Abgabe dieser Aufgabendaten ist zwar Bestandteil der Seminarleistung, allerdings vollständig anonym, d.h. sie dient lediglich Forschungszwecken.

Grundlage dafür sind u.a. die Erfahrungen, die Sie in Ihren Medienprojekten gesammelt haben sowie Ihr Wissen aus dem mediendidaktischen Input. Sollten Sie zur Bearbeitung der Aufgaben nochmal gezielt einen Blick auf Abbildungen oder Tabellen in den Unterlagen des "Mediendidaktischen Inputs" werfen wollen, können Sie das bei Bedarf machen (bitte wenn dann punktuell nachschlagen, nicht aber den Input nochmal komplett durcharbeiten!).

Vielen Dank für Ihre Kooperation & Teilnahme!

Das Projektteam des Projekts TPACK 4.0

Seite 02

Bitte geben Sie Ihren persönlichen Code mit Großbuchstaben sorgfältig ein. Der Code sollte bei allen Evaluationsteilen derselbe sein, schließen Sie deshalb Verwechslungen der Buchstaben und Zahlen aus.

Der Code setzt sich wie folgt zusammen:

1. Erster Buchstabe des Vornamens Ihrer Mutter (z.B. „**M**aria" --> M)

2. Erster Buchstabe des Vornamens Ihres Vaters (z.B. „**P**eter" --> P)

3. Erster Buchstabe Ihres Geburtsortes (z.B. „**B**erlin" --> B)

4. Der **zweistellige** Tag Ihres Geburtsdatums (z.B. **4.**September --> 04)

Ihr persönlicher Code (in diesem Fall z.B. MPB04)

Geben Sie hier bitte Ihre Matrikelnummer an.

Diese dient lediglich dem Nachweis Ihrer Studienleistung. Die Anonymität ist hierbei dennoch gewährleistet.

Ihre Matrikelnummer:

Wählen Sie bitte Ihr Fach aus, in welchem Sie diese Evaluation bearbeiten.

✓ [Bitte auswählen]
Biologie
Chemie
Physik
Mathematik
Informatik
Psychologie
Technik

Seite 03

[A] Eine Biologielehrkraft möchte als nächstes das Thema „Immunbiologie" (Klasse 7/8/9) unterrichten. Sie überlegt, ob sie die Schülerinnen und Schüler Erklärvideos zum Zusammenspiel zwischen Antigenen und Antikörpern erstellen lassen soll.

Welche Tipps und Empfehlungen geben Sie der Lehrkraft zum Thema Einsatz von Erklärvideos im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht?

1. Erklären Sie zunächst allgemein, was Erklärvideos sind und welche Formen des Einsatzes im Unterricht dabei unterschieden werden können.	
2. Entwickeln Sie eine begründete Empfehlung für die Lehrkraft zum Einsatz von Erklärvideos für die zu Beginn genannte Zielsetzung. Gehen Sie in Ihrer Begründung auf die für Sie relevanten Bewertungskriterien ein.	
3. Wo sehen Sie allgemein weitere Potentiale, aber auch Nachteile, des Einsatzes von Erklärvideos im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht?	

Seite 04

[B] Zwei Ihrer Kolleginnen unterhalten sich darüber, dass sie gerne das neu angeschaffte digitale Messwerterfassungssystem zusammen mit den Tablets nutzen möchten, um im Rahmen der Unterrichtseinheit zum Herz-Kreislauf-System (Klasse 7/8/9) die Herzfrequenz von Schülerinnen und Schülern in Abhängigkeit von der körperlichen Belastung und vielleicht auch dem Blutdruck messen zu können.

Welche Tipps und Empfehlungen können Sie den Kolleginnen zum Einsatz von digitalen Messwerterfassungssystemen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachunterricht geben?

1. Erklären Sie zunächst allgemein, was digitale Messwerterfassungs-systeme sind und benennen sie mindestens ein Beispiel dafür.	
2. Entwickeln Sie eine begründete Empfehlung für die Lehrkraft zum Einsatz eines Messwerterfassungs-systems für die zu Beginn genannte Zielsetzung. Gehen Sie in Ihrer Begründung auf die für Sie relevanten Bewertungskriterien ein.	
3. Wo sehen Sie allgemein weitere Potentiale, aber auch Nachteile, des Einsatzes von Messwerterfassungs-systemen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht?	

Seite 05

[C] Sie sind Lehrkraft einer 8. Klasse und möchten im Rahmen des Ökologieunterrichts die Dynamik von einfachen Räuber-Beute-Verhältnissen mit Hilfe geeigneter digitaler Medien vermitteln und haben dazu den Tipp erhalten, Animationen oder Simulationen einzusetzen.

Über diese Möglichkeit tauschen Sie sich nun mit Ihrem Kollegen im Lehrerzimmer aus.

1. Erklären Sie ihm zunächst allgemein, was Animationen und Simulationen sind und benennen Sie den wesentlichen Unterschied zwischen beiden. Führen Sie anschließend jeweils ein Beispiel für eine Ihnen bekannte Animation und Simulation für den Biologieunterricht auf.	
2. Entwickeln Sie eine begründete Empfehlung, wie zum oben genannten Thema eine Animation oder Simulation genutzt werden könnte. Erläutern Sie, für welches digitale Medium Sie sich entscheiden würden. Gehen Sie in Ihrer Begründung auf die für Sie relevanten Bewertungskriterien ein.	
3. Wo sehen Sie allgemein weitere Potentiale, aber auch Nachteile, des Einsatzes von Animationen und Simulationen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht?	

13.4 Kodierleitfaden der TPACK-Aufgabenvignetten

Fachbereich Biologie			
Aufgaben-bestandteil	**Rating**	**Beschreibung**	**Beispiele aus den Antworten**
A1			
Definition	0 = Definition falsch	Keine Definition oder falsche Definition	
	1 = Definition weitgehend richtig	1. Länge: **kurzes** Video/ etwa 3-5 Minuten lang 2. Verfügbarkeit: asynchron über Webdienste 3. Ziel: Transport von Lehr-und Lerninhalt 4. Didaktische Aufbereitung: didaktisch geeigneter Weise aufbereitet oder in einem didaktisch aufbereiteten Kontext eingebettet/ kommt dort zur Anwendung 5. Vermittlungsform: asynchron 1 Punkt= mindestens 1 aus dem Bereich 1-5 2 Punkte = Mindestens 3 aus den Bereichen 1-5, davon in jedem Fall 4 und 5	**z.B.:** Inhalte werden in **kurzer Form** und **Übersichtlichkeit** mit einem **digitalen Medium** vermittelt. Es gibt drei Stile: Vlog, Legevideo und Abfilmen. **Z.B.** welche einen **Sachverhalt erklären/ erläutern**
	2 = Definition richtig		**z.B.:** Lehrfilme: sind **didaktisch** sehr **hochwertig** Erklärvideos/Lehr-Lern-Videos: können komplexe Fachinhalte erklären, kann man als kostenlose **Nachhilfe** oder als **Vertiefung** nutzen
Format	0 = Kein Format genannt	Kein Format oder falsches Format	**z.B.:** Falsch wäre hier "Es wird unterschieden zwischen Performanzvideos, Tutorials, Lehrfilme und Erklärvideos/Lehr-Lern-Videos."

	1 = Ein Format genannt	I. **Lehrende für Lernende** (1. Auswahl geeigneter Erklärvideos, 2. Produktion eines passenden Erklärvideos)II. **Lernende für Lernende** (1. nutzen & bewerten, 2. erweitern & ergänzen, 3. Produktion von Lehr-Lern-Videos)	**z.B.:** Im Unterricht können Erklärvideos in unterschiedlichen Phasen eingesetzt werden z.B. als Einstieg in ein neues Thema oder zur Festigung des neuerlernten Wissens.**Z:B:** können Lehrerinput ersetzen -können Lehrerinput ergänzen -zusätzliche im Video gestellte Fragen -SuS drehen selbstständig ein Erklärvideo und setzen sich intensiver mit dem Thema auseinander
	2 = Beide Formate wurden genannt		**z.B.:** Im Unterricht **können fremde Erklärvideos**, zum Beispiel von der Plattform YouTube rezipiert und analysiert werden. SuS setzten sich mit den Videos und ihrem Inhalt auseinander. SuS **können auch selbst Erklärvideos erstellen, produzieren und präsentieren**. Hier setzen sich die SuS intensiv mit der gesamten Erstellung und Konzeption eines Videos auseinander (...)
A2			
Nennung Qualitätskriterien	0 = kein relevantes Qualitätskriterium benannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = teilweise vollständig (1 relevantes Qualitätskriterium benannt)	Mögliche Nennungen (Umschreibungen gelten auch) relevanter Kriterien z.B.: **Bereich Kognitive Aktivierung**(1) Erhebung von Schülervorstellungen(2) Einfordern von Begründungen (3) Anregung zur Interpretation und Argumentation über Daten (z.B. Konfrontieren der Schüler mit unterschiedlichen Positionen, Ideen und Interpretationen) (4.1) Anbahnung neuer Vorstellungen z.B. über kognitive Konflikte ODER "neue Vorstellungen	
	2 = teilweise vollständig (2 relevante Qualitätskriterium benannt)		

	3 = Relevante Qualitätskriterien vollständig benannt (3 und mehr)	bekommen" (4.2) Anregung zur Herstellen von Zusammenhängen(5) Anregung zum Transfer des Gelernten**Bereich Inhaltliche Strukturierung**(6) Arbeitsauftragt benötigt klare Ziele(7) Schüleräußerungen zueinander in Bezug setzen (z.B. nachträglich auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufmerksam machen durch Ermöglichen des Diskurses zwischen SuS)(8) Klare Hervorhebungen und Zusammenfassungen (z.B. Visualisierung für UG)(9) Fokussierung der SuS auf das ThemaEs wird alles gezählt, was genannt wird, unabhängig des Bereichs	
Begründung Qualitätskriterien	0 = Korrekte Begründung wurde für kein relevantes Qualitätskriterium korrekt genannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = Korrekte Begründung für <u>ein</u> korrekt genanntes Qualitätskriterium	<u>Mögliche Begründungen</u> **Bereich Kognitive Aktivierung** Durch das Methodenformat "Erklärvideos erstellen lassen“ müssen sich die SuS während der Konzeption und Produktion des Videos (s.o.: II) intensiv mit komplexen biologischen Fachinhalten sowie deren Funktionsweisen und Zusammenhängen (hier z.B. Bildung von Antikörpern in den Plasmazellen, Entstehung & Funktion eines Antigen-Antikörper-Komplexes, Schlüssel-Schloss-Prinzip etc.) und zentralen Fachbegriffen (z.B. erworbenes Immunsystem, weiße Blutkörperchen, Lymphknoten, Antigene & Antikörper etc.) auseinandersetzen (3). Die Produktion eines Erklärvideos wird hierbei sowohl von den Schülervorstellungen (1) sowie der Recherche geprägt. Eine Videoproduktion zum Thema Immunbiologie erfordert in diesem Fall z.B.: > eine <u>Recherche</u> über die Wirkungsweise des Immunsystems in	
	2 = Korrekte Begründung für <u>zwei</u> korrekt genannte Qualitätskriterien		

	3 = Korrekte Begründung für drei und mehr korrekt genannte Qualitätskriterien	Buch/ Internet (3) > Herstellung eines Zusammenhangs zwischen Verklumpung von Antikörper & Erreger und deren Konsequenzen für das Immunsystem bzw. den Körper (4) > Eine Begründung warum Antikörper nur wirken können, wenn Antigene und Antikörper nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip binden (2) > Der Transfer des Wissens auf naheliegende Themenbereiche wie die „Immunisierung des Körpers“ (5) **Bereich Inhaltliche Strukturierung** Für die Produktion eines kurzen aber lehrreichen Erklärvideos ist ein klares Ziel notwendig (6), womit die SuS ihren Fokus auf das Wesentliche des Themas richten müssen (9). Die Erklärvideos stellen eine Ergebnissicherungen und damit „konservierte Schüleräußerungen“ (8) dar. Diese können im Unterricht nach der gegenseitigen Präsentation im Plenum bezogen auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede zueinander in Bezug gesetzt werden (7).	
Nennung mediendidaktische Bewertungskriterien	0 = keine Nennung medien-didaktischer Bewertungskriterien	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = Nennung eines medien-didaktischen Bewertungskriteriums	**I. Multimediakriterien:** Relevant ((1) Multimediaprinzip, (2) Kontiguitätsprinzip, (3) Modalitätsprinzip, (4) Redundanzprinzip, (5) Kohärenzprinzip, (6) Personalisierungsprinzip) **II. Kognitive Belastung:** Hoch **III. SAMR-Modell:** R ((7) Substitution/ (8) Augmentation/ (9) Modification/ (10) Redefinition)	
	2 = Nennung von zwei medien-didaktischen Bewertungskriterien		
	3 = Nennung von drei medien-didaktischen Bewertungskriterien		
Begründung medien-didaktische Bewertungskriterien	0 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus einem oder allen Bereichen falsch	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus einem Bereichen korrekt	**Multimediakriterien: Relevant** Bei der Erstellung von Erklärvideos müssen auch SuS Gestaltungskriterien beachten: Abbildungen für Antikörper und Antigene finden/ erstellen und mit einem passenden Sprechertext &	

	2 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus zwei Bereichen korrekt	Beschreibungen (1), nicht aber mit einer geschriebener Erläuterung (3; 4), verknüpfen; Zusammenhänge, wie die Wirkung von Antigenen & Antikörpern in einer Szene, ohne unnötige Zusatzinformationen mit Bild oder Text (5), gebündelt darstellen (2); Hierbei müssen die SuS auf eine ordentliche und langsame Aussprache sowie einen fachgerechten Sprachstil (notwendige Fachwörter verwenden) acht geben (6) (es reicht aus, wenn nur ein Prinzip genannt und erläutert wird; zählt auch ohne Bezug auf das Beispiel) **Kognitive Belastung: Hoch** Je nach Komplexität des Themas (Struktur vs. Zusammenhang) führen das selbstorganisierte und kreative Arbeiten in der Produktion eines Erklärvideos sowie weitere daran beteiligte Elemente wie die individuelle oder gemeinschaftliche Auseinandersetzung, der Fachwortschatz, sinnvolle Konzeption & Komposition von Bildmaterial & Worte, Zusatzmaterial, Fähigkeiten zur Kommunikation etc. zu einer hohen kognitiven Belastung. Gibt es bereits Vorerfahrungen in der Produktion von Videos, dann ist die kognitive Belastung niedriger und der Fokus kann verstärkt auf dem Inhalt statt auf der Arbeitsweise liegen. **SAMR-Modell: R** Die Aufgabenstellung „Erstellung eines Erklärvideos“ ist ohne Kamera, iPad oder Smartphone & entsprechende Filmschnittsoftware nicht umsetzbar, dabei spricht man von Redefinition (10) einer Aufgabe. In einem Erklärvideo können verschiedene Darstellungsformate (Bild, Audio, Text, Animation usw.) und Techniken (Zeitraffer, StopMotion etc.) kombiniert werden.	
	3 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus drei/ allen Bereichen korrekt		
Allgemeine Qualität der Begründungen (in Anlehnung an Eysel, 2006)	0 = Keine Beantwortung	Aufgabe wurde nicht beantwortet	
	1 = Sachbezogene, einfache Begründung	In diesem Niveau werden Aussagen eingeordnet, die aus **einfachen Wiedergaben und Beschreibungen der Inhalte bestehen**. Da es sich dabei um eine reine Beschreibung von Wissen handelt, ohne dieses zu hinterfragen, zu begründen oder zusätzlich zu kommentieren, ist dies noch nicht als Reflexion bzw. theoretisch fundierte Begründung zu werten.	
	2 = Handlungsbzogene Begründung (ohne theoriebezug)	Begründungen werden **inhaltsbezogen genannt und reflektiert (ohne Theoriebezug)**. Argumentation erfolgt meist aus der "Ich-Perspektive": Ich denke es muss darauf geachtet werden,	

		dass Videos inhaltlich nicht zu voll sind, weil…. (Relevanz erkennbar)	
	3 = Analytische theoriebezogene Begründung	Begründungen werden **inhaltsbezogen genannt und reflektiert (mit Theoriebezug)**. Argumentation erfolgt meist aus der "Ich-Perspektive": Die Multimedikriterien besagen, dass der Inhalt eines Videos von den SuS elementarisiert werden müssen, da der Fokus und rote Faden sonst nicht erkennbar ist./ Die Erstellung von Erklärvideos ermöglichen es, SuS Zusammenhänge zwischen XY herstellen zu lassen, weil damiteine kognitive Aktiierung stattfinden kann, die ...auslöst.	
A3			
Potentiale	0 = Keine Potenziale genannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = Ein Potenzial genannt	**Rolle im fachlichen, prozessbezogenen und medialen Lernprozess** > Multicodale & - mediale Repräsentation von Inhalten unterstützen Informationstransport und unterschiedliche Ansprache von Wissenskanälen > Anwendung verschiedener Videotechniken und Darstellungsarten (Perspektivwechsel, B-Roll/ Überblendung, Schnitte) begünstigt & unterstützt sinnvolle Fokussierung > Einbindung von Beispielen und Live-Aufnahmen fördert Alltagsbezug, Ortsbezug & Sinnhaftigkeit > Stellt eine Form der Ergebnissicherung dar > Kooperation bei der Erstellung von Erklärvideos fördert und erfordert prozessbezogene Kompetenzen: Fördert z.B. selbstbestimmtes und selbstorganisiertes Lernen (PräProduktion & Konzepterstellung)	
	2 = Zwei Potenziale genannt		z.B.: sehr zeitaufwändig - Ausstattung der Schule/SuS mit Kameras, PCs/Laptops/Tablets mit Schnittprogramm notwendig +anderes herangehen der SuS +macht SuS Spaß

	3 = Drei und mehr Potenziale genannt	> Fördert den Umgang mit digitalen Medien (Medienkompetenz) & damit den Abbau von Hürden > Motivation **Diagnostik & Förderung** > Individualisierungs- & Differenzierungsmöglichkeiten durch die vielfältigen Umsetzungsmöglichkeiten (Rollenverteilung im Produktionsteam - Antikörper basteln vs. Film schneiden) > Niveau der Aufgabe bemisst sich an der Kompetenz bzw. dem Niveau der SuS (kann individuell angepasst werden) > In der Art der Darstellung/ Begründung erkennt die Lehrkraft, ob Inhalte verstanden wurden **Unterrichtsorganisation** > Orts- und zeitunabhängige Wiedergabe: Informationen zum Antigen-Antikörper Zusammenspiel werden konserviert und können beliebig oft zur Verfügung gestellt werden; Videos sind über Webdienste auch außerhalb der Schule verfügbar > Intensive Beschäftigung mit den Inhalten wird durch die Sache und nicht durch die LP initiiert	z.B.: Weitere Potentiale sind die **Flexibilität von Lernen die durch existierende Erklärvideos** geboten wird. Freizugänglich im Internet kann zu jeder Zeit "gelernt" werden. Die **kreative Beschäftigung** mit dem Inhalt der erklärt werden soll (bei der eigenen Gestaltung) bewirkt eine deutlich **intensivere Beschäftigung** mit dem Inhalt, als beispielsweise das reine Lesen eines Textes mit dem Inhalt.
Nachteile	0 = Keine Nachteile genannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = Ein Nachteile genannt	> Voraussetzung ist neben der entsprechenden Hardware (Tablet, PC o. Smartphone) meist Internet, um auf entsprechende Plattformen wie YouTube zugreifen zu können. Für eigene lokale Videos ist kein Internet erforderlich. > Kognitive Belastung kann bei Einführung der Methode sehr hoch sein > SuS können mit dem Umgang des digitalen Mediums überfordert sein > Hoher Zeitaufwand > Hoher Technikaufwand (Software; Hardware & Co.) > Braucht Fachexpertise der LPs > Mediendidaktische Kompetenz muss gefördert werden > Datenschutzprobleme	
	2 = Zwei Nachteile genannt		
	3 = Drei und mehr Nachteile genannt		**z.B.:** Jedoch sind sie nicht für alle Themen anwendbar, da zu Komplexe Abläufe sich nur schwer von den SuS mit den gegebenen Mitteln in Erklärvideos wiedergeben lassen. (je 2 Punkte)
B1			
Definition	0 = Definition falsch	Keine Definition oder falsche Definition	
	1 = Definition weitgehend richtig	Geräte, über die mit Hhilfe von **Sensoren** > Umweltdaten erfasst/ Messungen durchgeführt werden ODER > digital verarbeitet/ ausgewertet ODER > in einer graphischen Form aufbereitet werden ODER(Sensor oder ein weiteres Instrument zur Datenerfassung wie z.B. ID-Logics ODER 1 Punkt muss genannt werden)	**z.B.:** Systeme oder Geräte mit denen man **Messungen durchführen** und **auswerten** kann *(Hier fehlt die Nennung des "Sensors")*

	2 = Definition richtig	Geräte, über die mit Hhilfe von **Sensoren** > Umweltdaten erfasst/ Messungen durchgeführt werden UND/ ODER > digital verarbeitet/ ausgewertet UND/ ODER > in einer graphischen Form aufbereitet werden (Sensor + mind. 1 Nennung oder mehr Punkte müssen genannt werden)	**z.B.:** Gerät mit dem aus Umwelt über **Sensor Daten erfasst** werden und **grafisch abbilden**
Beispiel	0 = Kein Beispiel genannt	Keine oder falsche Beispiele	
	1 = Ein Beispiel nennen ODER Beispiel nur umschreiben	**Beispiele digitaler Messwerterfassungssysteme** > Sensoren von Lehrmittelherstellern (Phywe, Vernier, u.a.), z.T. mit Bluetooth-Anbindung an App auf mobilen Rechnern > In mobile Rechner eingebaute Sensoren wie GPS-, Licht- oder Beschleunigungssensoren > Spezialisierte App wie ID-Logics zur visuellen Datenaufnahme (z.B. zur Bestimmung von Lebewesen)	**z.B.:** Ein Beispiel ist die Erfassung der Helligkeit beim Auto fahren. Das **System misst die Helligkeit** und wenn diese einen gewissen Punkt unterschreitet **schaltet sich das Licht automatisch** an. *(Hier fehlt die Nennung des Lichtsensors)*
	2 = Beispiel nennen und näher ausführen/ erläutern ODER zwei Beispiele nennen		**z.B.:** Lichtsensor & Blutdruckmessgerät
B2			
Nennung Qualitätskriterien	0 = kein relevantes Qualitätskriterium benannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = teilweise vollständig (1 relevantes Qualitätskriterium benannt)	**Bereich Kognitive Aktivierung** (1) Anregung zur (Erhebung und) Interpretation von Daten (z.B. Konfrontieren der Schüler mit unterschiedlichen Positionen, Ideen und Interpretationen) (2) Anbahnung neuer Vorstellung z.B. über kognitive Konflikte (3) Anregung zum Herstellen von Zusammenhängen (4) Anregung zum Transfer des Gelernten bzw. **Bereich Inhaltliche Strukturierung** (5) Inhaltliche Kohärenz des Ablaufs (6) Klare Hervorhebungen und Zusammenfassungen (z.B. Visualisierung für UG) (7) In-Bezug setzen von Schüleräußerungen (Hervorheben von Gemeinsamkeiten/ Unterschieden) (8) Klares Feedback Es wird alles gezählt, was genannt wird, unabhängig des Bereichs	z.B. "praktischer Zugang" gemeint als Anregung zum Transfer
	2 = teilweise vollständig (2 relevante Qualitätskriterium benannt)		**z.B.:** Durch das Messen der Herzfrequenz in Abhängigkeit zur körperlichen Belastung lernen die Schülerinnen und Schüler das **Interpretieren von Daten** und können den **Zusammenhang der beiden Variablen besser verstehen**.
	3 = Relevante Qualitätskriterien vollständig benannt (3 und mehr)		
Begründung Qualitätskriterien	0 = Korrekte Begründung wurde für kein relevantes Qualitätskriterium korrekt genannt	Keine Begründung oder falsche Begründung	

	1 = Korrekte Begründung für ein korrekt genanntes Qualitätskriterium	Mögliche Begründungen **Bereich Kognitive Aktivierung & Bereich Inhaltliche Strukturierung** > Messung der Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Belastung: Über einen Sensor / eine App kann die Herzfrequenz gemessen und festgehalten werden (1). Die Zusammenarbeit mit dem Tablet ermöglicht die simultane Protokollierung und grafische Auswertung der erhobenen Daten. Dabei bekommen SuS eine direkte Rückmeldung (8), ob die Vorstellung über die Zusammenwirkung der Parameter richtig war (2). Der Fokus des Unterrichts könnte daher sowohl auf der Planung von Experimenten (5), der quantitativen Erhebung von Daten wie der Auswertung der Versuchsergebnisse liegen, da das Messwerterfassungssystem bereits eine grafische Auswertung vorlegt und nur Daten gemäß des Systems erfasst (6). > Dadurch wird es möglich, dass SuS die Messwerte rasch erheben und miteinander vergleichen können (7) > Daraus können sowohl Zusammenhänge hergestellt werden (3), potentielle Fehler bei der Datenerfassung diskutiert werden… > …wie allgemeine Aussagen etwa über den Zusammenhang von Herzfrequenz und körperlicher Aktivität abgeleitet werden (3), die einen Transfer des Gelernten erlauben (4). Bei Vorhandensein eines dafür geeigneten Sensors ist auch die Herstellung von Zusammenhängen zwischen Herzfrequenz und Blutdruck möglich.	
	2 = Korrekte Begründung für zwei korrekt genannte Qualitätskriterien		
	3 = Korrekte Begründung für drei und mehr korrekt genannte Qualitätskriterien		
Nennung mediendidaktische Bewertungskriterien	0 = keine Nennung medien-didaktischer Bewertungskriterien	Keine Nennung oder falsche Nennung	z.B.: cognitiv load: gering -SAMR: eher nicht verwenden **--> gibt keinen Punkt, da falsch genannt**!
	1 = richtige Nennung eines medien-didaktischen Bewertungskriteriums	**I. Multimediakriterien:** Irrelevant ((1) Multimediaprinzip, (2) Kontiguitätsprinzip, (3) Modalitätsprinzip, (4) Redundanzprinzip, (5) Kohärenzprinzip, (6) Personalisierungsprinzip) **II. Kognitive Belastung:** Mittel bis sehr hoch **III. SAMR-Modell:** R ((7) Substitution/ (8) Augmentation/ (9) Modification/ **(10)** Redefinition)	
	2 = richtige Nennung von zwei medien-didaktischen Bewertungskriterien		
	3 = richtige Nennung von drei medien-didaktischen Bewertungskriterien		

Begründung mediendidaktische Bewertungskriterien	0 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus einem oder allen Bereichen falsch	Keine Begründung oder falsche Begründung	**z.B.: cognitiv load:** gering -**SAMR:** eher nicht verwenden
	1 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus einem Bereichen korrekt	**Multimediakriterien:** IrrelevantBei der Nutzung von Messwerterfassungssystemen spielt die Beachtung von Multimediakriterien eine sehr untergeordnete Rolle (nur, wenn man die App und Software der Systeme bewerten oder selbst erstellen möchte). **Kognitive Belastung:** Mittel bis sehr hochJe nach Aufgabenstellung sehr unterschiedlich. Entscheidend ist die Vorerfahrung der SuS im Umgang mit Messwerterfassungsystemen und der grafischen Auswertungen (Repräsentationskompetenz) sowie die Zielsetzung des Einsatzes.Mittel: SuS kennen bereits den Umgang mit dem Tablet, haben mit Sensoren gearbeitet und kennen zweidimensionale Diagramme. Sie sollen auf der Basis einer vorgegebenen Hypothese (z.B. „Die Herzfrequenz nimmt bei körperlicher Belastung aufgrund des höheren Sauerstoffbedarfs zu.“) geeignete Experimente planen und durchführen. Sehr hoch: SuS arbeiten zum ersten Mal mit einem digitalen Messwerterfassungsystem, sind unerfahren in der Analyse von Prozessdiagrammen und sollen die gleiche Aufgabe erfüllen.**SAMR-Modell:** RBeurteilung hängt sehr stark von der Aufgabenstellung ab. Wenn die digitale Messung lediglich die analoge Messung ersetzt (Pulsmessung am Hals, Handgelenk), dann S. Wenn jedoch das System genutzt wird, um kontinuierliche Aufzeichnung während Ruhe und Belastung zu machen, dann R, da ohne digitales Messwerterfassungsystsem nicht möglch.	
	2 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus zwei Bereichen korrekt		
	3 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus drei/ allen Bereichen korrekt		
Allgemeine Qualität der Begründungen (in Anlehnung an Eysel, 2006)	0 = Keine Beantwortung	Aufgabe wurde nicht beantwortet	
	1 = Sachbezogene, einfache Begründung	In diesem Niveau werden Aussagen eingeordnet, die aus **einfachen Wiedergaben und Beschreibungen der Inhalte bestehen**. Da es sich dabei um eine reine Beschreibung von Wissen handelt, ohne dieses zu hinterfragen, zu begründen oder zusätzlich zu kommentieren, ist dies noch nicht als Reflexion bzw. theoretisch fundierte Begründung zu werten.	
	2 = Handlungsbzogene Begründung (ohne theoriebezug)	Begründungen werden **inhaltsbezogen genannt und reflektiert (ohne Theoriebezug)**. Argumentation erfolgt meist aus der "Ich-Perspektive": Ich denke es muss darauf geachtet werden,	

		dass Videos inhaltlich nicht zu voll sind, weil…. (Relevanz erkennbar)	
	3 = Analytische theoriebezogene Begründung	Begründungen werden **inhaltsbezogen genannt und reflektiert (mit Theoriebezug)**. Argumentation erfolgt meist aus der "Ich-Perspektive": Die Multimedikriterien besagen, dass der Inhalt eines Videos von den SuS elementarisiert werden müssen, da der Fokus und rote Faden sonst nicht erkennbar ist./ Die Erstellung von Erklärvideos ermöglichen es, SuS Zusammenhänge zwischen XY herstellen zu lassen, weil damiteine kognitive Aktiierung stattfinden kann, die ...auslöst.	
B3			
Potentiale	0 = Keine Potenziale genannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = <u>Ein</u> Potenzial genannt	**Rolle im fachlichen, prozessbezogenen und medialen Lernprozess** > Erlaubt Quantifizierung, wo zuvor höchstens qualitative Zusammenhänge hergestellt werden konnten, z.B. Zusammenhang Blutdruck/Herzfrequenz > Vermittlung prozessbezogener Kompetenzen neben inhaltsbezogenen Kompetenzen. <u>Beispiel 1:</u> Entwicklung von Kompetenzen zum Einsatz und zur Bedienung von analogen Messwerterfassungssystemen (z.B. Thermometer, z.B. chemische Nachweisverfahren wie Stärke- oder Zuckernachweis). <u>Beispiel 2:</u> Entwicklung von Repräsentationskompetenz, also von Techniken zur Übertragung von Daten in eine Tabelle, in ein Diagramm > Reduktion der Fehlerwahrscheinlichkeit, z.B. bei der Datenaufnahme (durch Ablesefehler) > Kognitive Entlastung der Datenauswertung, z.B. Anfertigung einer Tabelle, eines Diagramms **Unterrichtsorganisation** > Ortsungebundenheit > Orts- und zeitunabhängige Protokollierung des Versuchs ist möglich. > Orts- und zeitunabhängige Weiterverarbeitung der Ergebnisse z.B. für weitergehende Zielsetzungen ist möglich, z.B. können Daten später ausgewertet werden. Sie können für die Erzeugung kognitiver Konflikte genutzt werden usw. > Beschleunigt die Arbeit im Unterricht in verschiedenen Teilschritten, z.B. der Datenaufnahme	
	2 = <u>Zwei</u> Potenziale genannt		**z.B.** Neuer Zugang zu Erfahrungen werden möglich
	3 = <u>Drei und mehr</u> Potenziale genannt		**Z.B.:** Durch digitale Messungen können in kurzer Zeit eine hohe Datenmenge gebildet und aufgezeichnet werden. Die Messdaten können einfach gespeichert und geteilt werden **Z.B.:** Dieses Vorgehen ist in der naturwissenschaftlichen Forschung Standart und so authentisch, **Z.B.** die Verwendung von [Messwerterfassungssystemen] sind Verknüpfungspunkte des Unterrichts mit der Lebenswelt der SuS. **Z.B.** - die **Motivation** der SuS kann geweckt werden - das **Interesse** am Thema wird evtl gesteigert, wenn **SuS selbst mehr machen dürfen**

Nachteile	0 = Keine Nachteile genannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = Ein Nachteile genannt	> Voraussetzung sind entsprechende Hardware (Tablet, PC o. Smartphone sowie Messsensoren) und die Software, um im Vorhinein entsprechende APPs runterladen zu können, die dann ohne Internet benutzt werden können. > Behindert möglicherweise die Entwicklung von Diagrammkompetenzen> Teilkompetenzen prozessbezogener Kompetenzen können durch hohen Automatisierungsgrad der Datenaufnahme und -auswertung erschwert werden	
	2 = Zwei Nachteile genannt		
	3 = Drei und mehr Nachteile genannt		
C1			
Definition	0 = Definition falsch	Keine Definition oder falsche Definition	
	1 = Definition von Animation ODER Simulationen richtig	**Animationen** > Sequenzen von Einzelbildern, die schnell nacheinander gezeigt werden > Beim Betrachter entsteht die Illusion einer flüssigen Bewegung geeignet für die Darstellung von Prozessen **Simulationen** > Unter eine gezielten Fragestellung erstellte möglichst realitätsnahe Nachbildungen von dynamischen und komplexen Prozessen der Wirklichkeit > Im naturwissenschaftlichen Unterricht können Simulationen genutzt werden, um bekannte Modelle anzuwenden > Eignung für gefahrlose und kostengünstige Durchführung von Experimenten (Whitworth, 2018) und zur Modllierung von Prozessen auf allen biologischen Organisationsebenen) **Wesentlicher Unterschied:** Simulation ermöglicht zumindest Variablensteuerung **Wesentliche Gemeinsamkeit:** Beliebige Wiederholbarkeit (Definition ist dann richtig, wenn jeweils mind. 1 Punkt genannt wird)	**z.B.:** Animationen sind animierte Bilder (zählt nicht als Definition) **Simulationen sind Experimente, die in einer virtuellen Umgebung durchgeführt** werden können
	2 = Definition von Animation UND Simulationen richtig		**z.B.:** Animation ist ein **Verfahren, das unbelebten Objekten Bewegung verleiht**. Eine **Illusion von Bewegungen**. Simulation ist das möglichst **realitätsnahe Nachbilden eines Geschehen der Wirklichkeit**. Eine Nachahmung oder Replikation aus der Realität. Animation ist eine Darstellung eines bestimmten Objekts oder Szenarios, es kann auf Fakt oder Fiktion basieren. Simulation ist ein mathematisches Modell, welches nicht unbedingt Bilder benötigt. In **Simulationen sind Bewegungen genau berechnet, während sie das in Animationen nicht sein müssen**.
Beispiel	0 = Kein Beispiel genannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	

	1 = Ein Beispiel genannt	**Beispiele von Animationen und Simulationen** > z.B. Animationen zu Transportprozessen über eine Zellmembran, biochemischen Reaktionsprozessen, Darstellungen jahreszeitlichen Wandels (Blattaufbau und -seneszenz) usw > z.B. Simulationen für den Zusammenhang von Räuber-Beute-Verhältnissen (Modellanwendende Simulation) oder Neubildung von Modellen, z.B. Zellmodelle (Modellbildende Simulation) (Jeweils eine Definition oder zwei aus einem Bereich)	
	2 = Zwei oder mehr Beispiele wurden genannt		**z.B.:** Animation: **Lebenszyklus einer einjährigen krautigen Pflanze** (von Samen über Wachstum, Blüte zum Absterben) -Simulation: **Veränderung Beutepopulation und damit verbundenen Räuberpopulation**
C2			
Nennung Qualitätskriterien	0 = kein relevantes Qualitätskriterium benannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = teilweise vollständig (1 relevantes Qualitätskriterium benannt)	**Bereich Kognitive Aktivierung:** (1) Einfordern von Begründungen (2) Anregung zur Interpretation von Daten (3) Anbahnung neuer Vorstellungen z.B. über kognitive Konflikte (4) Anregung zum Herstellen von Zusammenhängen (5) Anregung zum Transfer des Gelernten **Bereich Inhaltliche Strukturierung:** (6) Inhaltliche Koheränz des Ablaufs (7) Beide Formen ermölgichen prinzipiell das Inbezug-Setzen von Schüleräußerungen. Hierzu sind weitergehende Aufgabenstellungen notwendig. (8) Fokussierung der SuS auf das Thema (9) Feedback (10) Klare Hervorhebungen und Zusammenfassungen (z.B. Visualisierung für UG)	
	2 = teilweise vollständig (2 relevante Qualitätskriterium benannt)		
	3 = Relevante Qualitätskriterien vollständig benannt (3 und mehr)		
Begründung Qualitätskriterien	0 = Korrekte Begründung wurde für kein relevantes Qualitätskriterium korrekt genannt	Keine Begründung oder falsche Begründung	**z.B.:** Grafik- welche sich durch verändern der einen Population, auf die andere auswirkt **-zeigt die Dynamik auf** ODER **z.B.:** In einer Simulation könnte man jeweils einen Graphen für die Räuber-Population und für die Beute-Population anzeigen lassen. **Der eine Graph bewegt sich dann in Abhängigkeit zum anderen Graphen**
	1 = Korrekte Begründung für ein korrekt genanntes Qualitätskriterium	**Bereich Kognitive Aktivierung:** Animation: Darstellung des zeitversetzten Populationsverlaufs von Räuber und	

	2 = Korrekte Begründung für zwei korrekt genannte Qualitätskriterien	Beute. Simulation: Darstellung des zeitversetzten Populationsverlaufs von Räuber und Beute (4), hier kann thematisiert werden, warum das so ist (1). Schülervorstellungen beeinflussen Vorhersagen, die mittels des interaktiven Modells überprüft werden können (3; 9). Es können also Eingriffe in das Modell vorgenommen werden (Modellanwendende Simulation). Zusätzlich ist über webbasierte Software eine Entwicklung des Modells möglich (Modellbildende Simulation). Eine Animation ermöglicht den Nachvollzug von Inhalten. Die Simulation ermöglicht darüberhinaus die Interpretation von Daten (Anzahl von Räuber vs. Anzahl von Beute) (2) und kann u.a. zum Transfer des Gelernten auf andere Räuber-Bäute Verhältnisse anregen (5). Hierzu sind geeignete Aufgabenstellungen erforderlich. Durch die zwar interaktive, aber dennoch starre thematische Struktur, bleibt eine inhaltliche Kohärenz vorhanden (6) und die SuS fokussieren sich dabei nur auf dieses Thema (8).Bei der Animation findet in viel geringerem Maße eine kognitive Aktivierung statt, da es eine „erweiterte“ Form der Informationsdarstellung ist und einem Erklärvideo gleicht. Unterschied Animation & Erklärvideo?**Bereich Inhaltliche Strukturierung:**Entscheidung abhängig von Zielsetzung: Erlernen von Faktenwissen (z.B. gegenseitiges beschreiben von Prozessen) - hierfür Animationen geeignet. Vertieftes Lernen unter Berücksichtigung von Qualitätskriterien wird eher durch Simulationen gefördert (z.B. gegenseitiges erklären von Prozessen) (7)	
	3 = Korrekte Begründung für drei und mehr korrekt genannte Qualitätskriterien		
Nennung mediendidaktische Bewertungskriterien	0 = keine Nennung medien-didaktischer Bewertungskriterien	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = richtige Nennung eines medien-didaktischen Bewertungskriteriums	**I. Multimediakriterien:** Irrelevant ((1) Multimediaprinzip, (2) Kontiguitätsprinzip, (3) Modalitätsprinzip, (4) Redundanzprinzip, (5) Kohärenzprinzip, (6) Personalisierungsprinzip) **II. Kognitive Belastung:** Je nach Fall abhängig **III. SAMR-Modell:** M --> R ((7) Substitution/ (8) Augmentation/ (9) Modification/ (10) Redefinition)	
	2 = richtige Nennung von zwei medien-didaktischen Bewertungskriterien		
	3 = richtige Nennung von drei medien-didaktischen Bewertungskriterien		

Begründung mediendidaktische Bewertungskriterien	0 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus einem oder allen Bereichen falsch	Keine Begründung oder falsche Begründung	
	1 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus einem Bereichen korrekt	**Multimediakriterien**: Irrelevant Bei der Nutzung von Animationen und Simulationen spielt die Beachtung von Multimediakriterien eine sehr untergeordnete Rolle (meist nur, wenn man diese auswählen und danach bewerten oder vor allem selbst erstellen möchte). **Kognitive Belastung:** Mittel bis sehr hoch > Animation: Enabling-/Facilitating-Effekt (Schnotz/Lowe 2008): Mentale Belastung durch die Informationsdarbietung wird reduziert und es **stehen mehr Ressourcen für Aufgabenbearbeitung zur Verfügung**…, efektiver als statische Bilder, z. B. bei biologischen Regelkreisen (Betrancourt/Realini, 2005) aber: je nach Inhalt kann eine Serie von Bildern besser sein, wenn Lernende daraus sozusagen eine mentale Animation selbst konstruieren (Clark/Mayer 2008) -> kognitive Aktivierung, dadurch steigt aber wiederum cognitive load. > Simulation: Cognitive load hängt von der **Modellkomplexität**, von der **Vielfalt der Steuerungsmöglichkeiten** und von der **multimedialen Qualität** der Simulation ab. Generell modellanwendende Simulation niedrigere kognitive Belastung als modellbildende Simulation. Begleitende instruktive Unterstützung fördert den Aufbau von Faktenwissen, konzeptuellem und prozeduralem Wissen (Eckhardt ua. 2013). (Bei der Begründung darf auch jeweils nur auf Animationen ODER Simulationen eingegangen werden) **SAMR-Modell:** R > Animation: S -> R Je nach dem Thema sind Bildfolgen nur digital zu erstellen (R), tw. können Zeichnungen angefertigt werden, dann S > Simulation: R Simulationen von naturwissenschaftlichen Prozessen erfordern dynamische Berechnungen und sind nur mit digitalen Medien möglich. (Bei der Begründung darf auch jeweils nur auf Animationen ODER Simulationen eingegangen werden)	
	2 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus zwei Bereichen korrekt		
	3 = kriterienbasierte mediendidaktische Begründung war aus drei/ allen Bereichen korrekt		

Allgemeine Qualität der Begründungen (in Anlehnung an Eysel, 2006)	0 = Keine Beantwortung	Aufgabe wurde nicht beantwortet	
	1 = Sachbezogene, einfache Begründung	In diesem Niveau werden Aussagen eingeordnet, die aus **einfachen Wiedergaben undBeschreibungen der Inhalte bestehen**. Da es sich dabei um eine reine Beschreibung von Wissen handelt, ohne dieses zu hinterfragen, zu begründen oder zusätzlich zu kommentieren, ist dies noch nicht als Reflexion bzw. theoretisch fundierte Begründung zu werten.	
	2 = Handlungsbzogene Begründung (ohne theoriebezug)	Begründungen werden **inhaltsbezogen genannt und reflektiert (ohne Theoriebezug)**. Argumentation erfolgt meist aus der "Ich-Perspektive": Ich denke es muss darauf geachtet werden, dass Videos inhaltlich nicht zu voll sind, weil…. (Relevanz erkennbar)	
	3 = Analytische theoriebezogene Begründung	Begründungen werden **inhaltsbezogen genannt und reflektiert (mit Theoriebezug)**. Argumentation erfolgt meist aus der "Ich-Perspektive": Die Multimedikriterien besagen, dass der Inhalt eines Videos von den SuS elementarisiert werden müssen, da der Fokus und rote Faden sonst nicht erkennbar ist./ Die Erstellung von Erklärvideos ermöglichen es, SuS Zusammenhänge zwischen XY herstellen zu lassen, weil damiteine kognitive Aktiierung stattfinden kann, die ...auslöst.	
C3			
Potentiale	0 = Keine Potenziale genannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = <u>Ein</u> Potenzial genannt	**Rolle im fachlichen, prozessbezogenen und medialen Lernprozess** > Abbildung von dynamischen und komplexen Prozessen der Wirklichkeit > Gute Visualisierung (im Optimalfall) > Einblick in Dynamik von Prozessen > Spezifische Vorteile von Simulationen: > Simulation ermöglicht zumindest Variablensteuerung und damit einen experimentelles Arbeiten —> Direkte Feedbackfunktion	
	2 = <u>Zwei</u> Potenziale genannt	**Unterrichtsorganisation** > Beliebige Wiederholbarkeit > Ist für jeden mit mobilem Endgerät Zugänglich > Jeder SuS kann sich damit Auseinandersetzen, da nicht als Demonstrationsexperiment nötig > Es muss ggf. auch kein	

	3 = Drei und mehr Potenziale genannt	außerschulischer Lernort aufgesucht werden > Spezifische Vorteile von Simulationen: > Risikolose Umgebung zum Experimentieren > Spart Zeit und Geld > Erhöhte Genauigkeit > theoretischen Input > genaue Ergebnisse dokumentieren	
Nachteile	0 = Keine Nachteile genannt	Keine Nennung oder falsche Nennung	
	1 = Ein Nachteile genannt	> Lebensweltbezug geht etwas verloren > P rozessbezogene Arbeitsweisen werden weniger intensiv adressiert Spezifische Nachteile von Animationen: > Nicht dynamisch & interaktive einsetzbar Spezifische Nachteile von Simulationen: > Gewisse Kenntnisse werden vorausgesetzt und müssen in der interaktiven Bearbeitung angewendet werden, sonst vermehrt: Try and Error statt Nachdenken > „Furcht“ etwas kaputt zu machen sinkt (Die Argumente dürfen sich auch nur auf Animationen ODER Simulationen beziehen)	
	2 = Zwei Nachteile genannt		
	3 = Drei und mehr Nachteile genannt		

13.5 Interviewleitfaden

Phase: Projektabschluss *(es wurden nur in dieser Phase Interviews geführt)*
Seminar: Biologiedidaktische Zugänge zur Inklusion mit digitalen Medien

INTERVIEWLEITFADEN

für Studierende, die im Rahmen ihrer Projektarbeiten im CoLiLab arbeiten

A. Projektreflexion

(1) Jetzt sind wir am Ende des Seminars angekommen und Sie haben Ihr interaktives Video fast fertig.
   a. Mit was sind Sie zufrieden?
   b. Womit sind Sie noch nicht ganz zufrieden?
   c. Wo sehen Sie noch Optimierungspotential

(2) Welche medien- oder technikbezogene Vorerfahrungen haben Sie in der Arbeit mit digitalen Medien privat sowie in Schule und Studium gesammelt?

(3) Was glauben Sie, inwieweit haben Ihnen Ihre Vorerfahrungen für die Bearbeitung des Projekts geholfen?

(4) Das CoLiLab ist ja ziemlich neu an der PH und ebenfalls das damit verbundene Seminar, wie dieses hier. Hatten Sie am Anfang des Semesters spezifische Erwartungen an das Seminar? Haben diese sich erfüllt bzw. was hat sich nicht erfüllt?

B. Relevanz für den Lehrerberuf (Übertragbarkeit Projekt-Schule)

(5) Nun würde mich mal noch interessieren, wie Sie sich in Ihrer 2er-Gruppe organisiert haben?
   a. Können Sie mal beschreiben, wie Sie das Projekt organisatorisch geplant habt. Wie sind Sie bei der Planung der Inhalte vorgegangen? Haben Sie Aufgaben verteilt? Hat das Zeitmanagement bei Ihnen gut geklappt?
   b. Haben Sie Ihre Projektziele zu Beginn formuliert? Mussten Sie diese Ziele im Laufe der Projektarbeit anpassen? Konnten Sie alles wie geplant umsetzen?
   c. Wie haben Sie mit Ihren Kommilitonen kommuniziert und sich abgesprochen? (Taskwork/ Aufgabenbewältigung)
   d. Wie hat dabei die Zusammenarbeit funktioniert? (Teamwork)
      i. Was war gut gelungen, was war weniger gut gelungen?
      ii. Woran machen Sie es fest, dass manche Dinge (die aufgezählten) gut gelungen sind, andere weniger gut?
   e. Sehen Sie für den Schulkontext einen Mehrwert für Lernende oder Lehrpersonen?

C. Unterstützung CoLiLab

(6) Mit welchen Herausforderungen hatten Sie in dem ganzen Projektprozess zu kämpfen?
(7) Wie haben Sie diese Herausforderungen/ Schwierigkeiten gelöst bekommen?
(8) Hätten Sie sich über das Semester hinweg noch eine spezifische Unterstützung gewünscht? Verstehe ich Sie richtig, dass die Unterstützung noch stärker in die Richtung xy… gegangen wäre?

D. Einstellung

(9) Abschließend würde mich noch interessieren, welche Einstellung Sie gegenüber digitalen Medien haben?
   a. Privat
   b. Zur eigenen Qualifizierung während des Studiums
   c. Für den Unterricht (für Lehrende & Lernende)
   d. Würde Sie sich trauen die Arbeit mit Erklärvideos auch irgendwann in Ihrem Unterricht einzusetzen? Warum ja oder Nein?
   e. Denke Sie, durch diese Arbeit hat sich Ihre Einstellung ggü. digitalen Medien verändert?

(10) Und was glaubst du, inwieweit hat sich die Lernerfahrungen durch das Seminar sowohl auf dich als angehende Lehrperson als auch auf deinen Unterricht ausgewirkt?

E. Mediendidaktischer Input

(11) Sie mussten ja den mediendidaktischen Input durcharbeiten, hat dieser etwas für Ihre Projektarbeit gebracht?

13.6 Lebenslauf und wissenschaftlicher Werdegang

Wissenschaftlicher Werdegang

Seit 02/2022	Referendariat Realschule Tettnang
06/2019 – 07/2022	Promotionsstudium Fachbereich *Biologiedidaktik* mit Schwerpunkt *Digitalisierung* an der Pädagogischen Hochschule Weingarten Projektmitarbeiterin im Projekt TPACK 4.0 - interdisziplinäre, praxisorientierte und forschungsbasierte Förderung mediendidaktischer Kompetenzen von Lehrkräften inkl. Aufbau, Konzeption, Betreuung & Evaluation des pädagogischen Makerspace CoLiLab (colilab.ph-weingarten.de)
01/2020 - 12/2021	Junior-Fellow & Stipendiatin des Kolleg Didaktik:Digital der Joachim Herz Stiftung in Hamburg mit dem Projekt „Nachhaltigkeit: DIGITAL“
06/2019	1. Staatsexamen für das Lehramt an Werkrealschulen, Hauptschulen sowie Realschulen
10/2014 – 05/2019	Studium Realschullehramt Sekundarstufe I (Staatsexamen) an der Pädagogischen Hochschule Weingarten auf die Fächer Musik, Biologie und Physik

Berufserfahrung

06/2019 – 01/2022	Akademische Mitarbeiterin im Fachbereich Biologie der Pädagogischen Hochschule Weingarten Folgende Seminare wurden während dieser Tätigkeit (mehrfach) ausgebracht und/ oder unterstützt: Zoologie (BA) Biologiedidaktische Zugänge zur Inklusion mit digitalen Medien (BA) Forschend biologisches Lernen analysieren I (BA) Biologisches Projekt (projektbasiertes Seminar) (MA) Betreuung von Master-, Bachelor & Hausarbeiten