

NICO LINK (Technische Universität Dresden)

HANNES HELMUT NEPPER (Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd)

**Über das TPACK-Professionswissen angehender Lehrkräfte zum  
Einsatz digitaler Medien im Technikunterricht**

**Herausgeber**

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

**Journal of Technical Education (JOTED)**

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>



NICO LINK / HANNES HELMUT NEPPER

## **Über das TPACK-Professionswissen angehender Lehrkräfte zum Einsatz digitaler Medien im Technikunterricht**

**ZUSAMMENFASSUNG:** Arbeiten zum Professionswissen angehender Techniklehrkräfte beschränken sich bislang aus Umfangsgründen auf die zentrale Erfassung fachdidaktischer Kompetenzfacetten, die über die professionelle Unterrichtswahrnehmung operationalisiert werden (vgl. Goreth, Geißel & Rehm 2016; Straub 2020). Eine Berücksichtigung des Professionswissens angehender Lehrkräfte über die lernförderliche Einbindung digitaler Medien in den Technikunterricht ist mangels geeigneter Messinstrumente aktuell nicht möglich. Mit dem vorliegenden Beitrag wird angestrebt, diese Lücke partiell zu schließen und einen Test zur Erfassung von TPACK bei angehenden Techniklehrkräften zu präsentieren ( $n = 165$ ). Zudem werden geschlechtsspezifische Unterschiede und weitere Erkenntnisse aus einer Interventionsstudie zur Veränderung des Professionswissens aufgeführt.

*Schlüsselwörter:* TPACK, Technische Bildung, Technikstudierende, CAD, CNC

### **Prospective Teachers Professional Knowledge (TPACK) on the Integration of Digital Media in Technical Courses**

**ABSTRACT:** Studies on the professional knowledge of prospective technology teachers have so far been limited to the central recording of PCK, operationalized via professional teaching perception (e.g. Goreth, Geißel & Rehm 2016; Straub 2020). Due to a lack of proper measuring instruments, it is currently not possible to take the professional knowledge of prospective teachers into account regarding the integration of digital media into technical courses in a way that is supportive of learning. This paper aims at partially filling this gap by presenting a test that assesses the TPACK of prospective technical teachers ( $n = 165$ ). In addition, gender differences and further findings from an intervention study on the change of professional knowledge are presented.

*Keywords:* TPACK, technical education, technology teachers, CAD, CNC

## 1 Ausgangslage und theoretische Einbettung

Nicht nur bedingt durch die Covid-19-Pandemie und der damit einhergehenden zeitweiligen Aussetzung der Präsenzlehre in Schulen und Hochschulen erfährt der Einsatz digitaler Medien zurzeit eine massive Beschleunigung und mediale Präsenz. Wenngleich deutschlandweit oftmals noch eine mangelhafte technische Infrastruktur zu verzeichnen ist und die jeweiligen didaktisch-methodischen Konzepte für entsprechende Lehr- und Lernkonzepte nur sehr langsam Eingang in die gegenwärtige Unterrichtspraxis finden (vgl. Girwidz & Hoyer 2018, S. 6; Schmechtig, Puderbach, Schellhammer & Gehrman 2020, S. 2). Mit Verweis auf Tenberg (2020, S. 17-19) bleibt die Lehrkräfteausbildung insbesondere im (gewerblich-)technischen Bereich hinter ihren eigentlichen curricularen Erfordernissen zurück. Der vielbeachtete Aufsatz van Ackeren et al. (2019) konstatiert in Bezug auf den instrumentellen Charakter digitaler Medien:

„Alle Einrichtungen der Lehrerbildung müssen die Entwicklung digitalisierungsbezogener Kompetenzen fördern, indem sie medienpädagogische Kompetenz (im Sinne von Wissen, Können, Reflexivität und berufsethischer Haltung, nicht nur im Hinblick auf Unterricht, sondern auch mit Blick auf Schule als Organisation), fachdidaktische Kompetenz (Veränderung/Erweiterung von Lerngegenständen und fachspezifisch zu fördernden Kompetenzen unter den Bedingungen von Digitalisierung und Digitalität) und informatische Kompetenz (im Sinne von algorithmischem Denken, Data Literacy, Computational Thinking und Datensicherheit) in Hinblick auf Fachgegenstände sowie die Schule als Organisation im gesellschaftlichen Kontext integrieren und aufeinander beziehen“ (van Ackeren et al. 2019, S. 108).

Im technikdidaktischen Diskurs wird dem Einsatz von (digitalen) Medien die Aufgabe zugesprochen, „[...] den geistigen Inhalt [von Unterricht] in sinnlich erfahrbarer Weise, in konkreter materieller Gestalt vor die Schüler zu bringen“ (Schmayl 2013, S. 227). Das jeweilige Medium verbindet damit aktuelles Unterrichtsgeschehen mit der (geistig) kulturellen Wirklichkeit (ebd.). Als digitales Hilfsmittel dienen sie neben der Anschauungsbildung auch der Komplexitätsreduktion sowie dem Denken in Modellen (vgl. Goreth & Schray 2016, S. 38). So zeigt Borgenheimer (2014) im Rahmen seines Dissertationsprojektes auf, wie digitale Medien im Technikunterricht exemplarisch mithilfe eines virtuellen Experimentierbaukastens integriert werden können und prüfte die Wirksamkeit bei 121 Hauptschülerinnen und Hauptschülern. Weitere Studien zum Einsatz digitaler Medien im Technikunterricht sind gegenwärtig nicht vorzufinden.

Im Lehrrepertoire von Techniklehrkräften kann der Einsatz digitaler Medien als Teilbereich ihres Professionswissens angesehen werden (vgl. Baumert & Kunter 2006; Lindmeier, Heinze & Reiss 2013; Shulman 1986). Bisherige Forschungsarbeiten über das Professionswissen angehender Techniklehrkräfte blieben allerdings eher auf die zentrale Erfassung fachdidaktischer Kompetenzfacetten, operationalisiert über die professionelle Unterrichtswahrnehmung, beschränkt (vgl. Goreth 2017; Goreth, Rehm & Geißel 2016; Straub, Geißel & Rehm 2018; Straub 2020). Der vorliegende Beitrag versucht, diese Arbeiten mit Blick auf den Einsatz digitaler Medien im allgemeinbildenden Technikunterricht zu erweitern und die dazugehörigen Wissensbereiche empirisch zu fassen.

Theoretische Anknüpfungspunkte bietet hierzu das Rahmenmodell zum *Technological Pedagogical And Content Knowledge (TPACK)* von Mishra und Koehler (2006).<sup>1</sup> Anwendung findet

1 Alternative Modelle, die digitale Medien im Schulunterricht berücksichtigen, sind bspw. das SAMR-Modell (vgl. Puentedura 2006) oder DigCompEdu (vgl. Redecker 2017). Bei SAMR fehlt allerdings eine umfassende Berücksichtigung des Professionswissens, DigCompEdu versucht hingegen „wissenschaftliche Strömungen sowie politische und wirtschaftliche Interessen zu bündeln und in ein kompetenzorientiertes Raster zu überführen“ (Weich, Koch & Othmer 2020, S.52). D.h. im Vergleich zu TPACK wird bei DigCompEdu das Professionswissen nicht eingegrenzt dargestellt, sondern „vielmehr soll es mit 22 Kompetenzen und jeweils sechs Kompetenzstufen eine detaillierte Erweiterung des Professionswissens darstellen“ (Ghomi, Dictus, Pinkwart & Tiemann 2020, S. 5).

dieses Modell u. a. in der Hochschulausbildung von Lehrkräften der MINT-verwandten Fachdidaktiken Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften (vgl. Kotzebue et al. 2020; Mayer & Girwitz 2019; Scherer, Tondeur, Siddiq & Baran 2018) sowie der gewerblich-technisch orientierten beruflichen Bildung (vgl. Schäfer, Link & Walker 2020). Aus analytischer Sicht scheint es daher vielversprechend, dieses Rahmenmodell auch zur Beschreibung des Professionswissens angehender Lehrkräfte unter Berücksichtigung des Einsatzes digitaler Medien im Fach Technik heranzuziehen.

Im TPACK-Modell (siehe folgende Abbildung 1) wird, aufbauend auf den grundlegenden Arbeiten Shulmans (1986) und dessen Ausdifferenzierung in *fachwissenschaftliches*, *fachdidaktisches* und *pädagogisches Wissen*, eine weitere Komponente, das *technologische Wissen*, eingeführt. Dieses weist Interferenzen zu den anderen Wissensbereichen auf (vgl. Mishra & Koehler 2006).

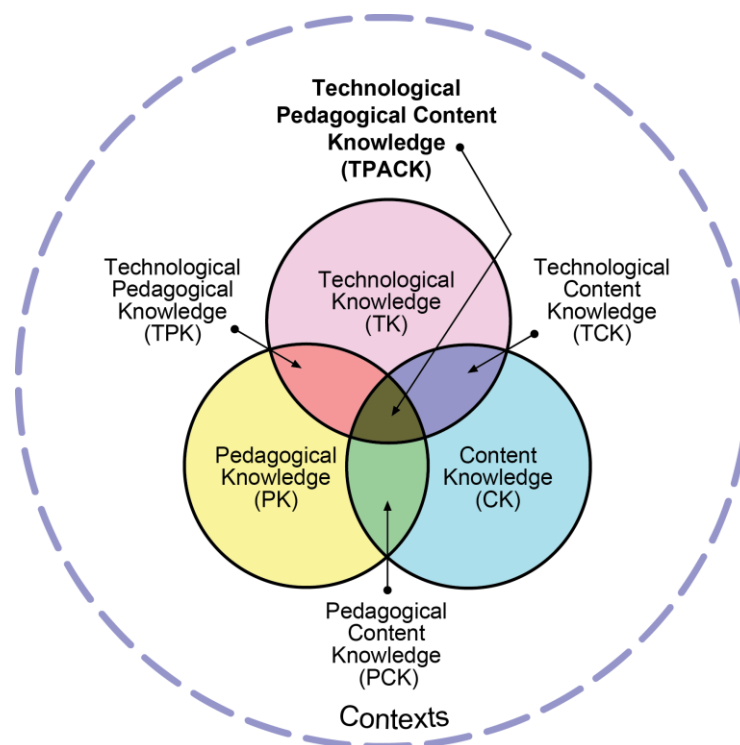


Abb. 1: TPACK-Ordnungsrahmen. Reproduced by permission of the publisher, © 2012 by tpack.org.

Die folgende Tabelle 1 orientiert sich am Beitrag von Chai, Koh und Tsai (2013, S. 33), die die bisherigen Beschreibungen zusammenfügten, und führt zu jeder TPACK-Dimension eine Definition an bzw. erläutert diese durch mögliche Beispiele aus dem allgemeinbildenden Technikunterricht.

Tab. 1: Definitionen und Beispiele der TPACK Dimensionen (verändert nach Chai et. al 2019, übersetzt durch die Autoren).

	<b>Definition</b>	<b>Beispiel</b>
TK	Kenntnisse darüber, wie Hardware, Software, zugehörige Peripheriegeräte sowie digitale Medien zu nutzen sind.	Erstellen eines Online-Wikis, Nutzung einer Videoplattform.
PK	Kenntnisse über das Lernverhalten der Schülerschaft, Unterrichtsmanagement, verschiedene Lerntheorien und die Bewertung von Schülerleistungen, losgelöst von einem inhaltlichen Bezug.	Berücksichtigung allgemeiner Gestaltungskriterien für einen handlungs-/problemorientierten Unterricht.
CK	Kenntnisse über den thematischen Gegenstand, ohne die Vermittlung des Inhalts zu berücksichtigen.	Einsatzmöglichkeiten von CAD Systemen.
PCK	Kenntnisse über die Darstellung inhaltlichen Wissens im Lehr- und Lernprozess, mit dem Ziel, das Thema für die Lernenden verständlich zu machen.	Durchführung einer Unterrichtseinheit zur Erstellung einer CAD-Zeichnung im Rückgriff auf die Konstruktionsaufgabe.
TPK	Kenntnisse über die Verfügbarkeit und die Besonderheiten verschiedener Technologien und Lehr- und Lernansätze ohne Bezug zum konkreten Inhalt zu ermöglichen.	Gestütztes Lernen im Rückgriff auf E-learning Plattformen (moodle, Stud.IP) und Partnerarbeit über Videokonferenzsysteme.
TCK	Kenntnisse darüber, wie Technologien und digitale Unterstützungsangebote zur Darstellung von Inhalten auf unterschiedliche Weise eingesetzt werden können.	Simulation des CNC-Fräsprozesses an der KOSY-Fräsmaschine; 3D-Modellierung von Baugruppen.
TPACK	Kenntnisse über den Einsatz verschiedener digitaler Medien zum Lehren und Lernen spezifischer Fachinhalte.	Erstellung eines Online-Wikis für die Konstruktion eines CAD-Modells für den (möglichen) Einsatz im Technikunterricht.

Eingebettet sind die einzelnen TPACK-Dimensionen in einen situativen Kontext, der für die Entfaltung von TPACK eine große Bedeutung besitzt (vgl. Koehler & Mishra 2009, S. 62; Rosenberg & Koehler 2015, S. 186–187). Porras-Hernández und Salinas-Amescua (2013) konstatieren, dass die Bedeutung des Kontexts stark variiert und dabei auch von epistemologischen Überzeugungen der Lehrkräfte bis hin zu den verfügbaren Ressourcen im Klassenzimmer bzw. institutionellen Rahmenbedingungen reichen kann. Sie beschreiben bei ihren Ausführungen eine Mikro-, Meso-, Makroebene und führen sowohl eine Schüler- als auch Lehrerperspektive ein (vgl. Porras-Hernández & Salinas-Amescua 2013, S. 228). Enger am TPACK-Rahmenmodell orientieren sich Harris und Hofer (2011, S. 213), die in ihren Überlegungen anführen, dass alle Arten des Professionswissens, einschließlich TPACK, von kontextuellen Faktoren wie der Kultur, dem sozioökonomischen Status und den schulischen Rahmenbedingungen beeinflusst werden.

## 2 Stand der Forschung

Einen Überblick über bisherige Forschungsarbeiten zur Berücksichtigung und Erfassung des Kontexts in TPACK geben Rosenberg und Koehler (2015). Bei ihrer Auswertung von 193 Zeitschriftenartikeln (mit Peer-Review), die im Zeitraum 2005 bis 2013 publiziert wurden, stellen sie fest,

dass nur 36 Prozent der Beiträge den Kontext mit Beschreibungen, Erklärungen und Operationalisierungen im TPACK-Rahmenmodell berücksichtigten. Bei diesen 70 detaillierter betrachteten Zeitschriftenartikeln wurde festgestellt, dass 84 Prozent die Rahmenbedingungen Klassenstufe und Fachdisziplin, 61 Prozent die schulischen Rahmenbedingungen, 57 Prozent die Lehrer- und 44 Prozent die Schülerfaktoren berücksichtigten. Gesellschaftliche Faktoren auf der Makroebene werden nur von 14 Prozent der Beiträge aufgegriffen (vgl. Rosenberg & Koehler 2015, S. 194 f.).

Die Erfassung von TPACK erfolgt überwiegend, d. h. bei 29 von 31 zugrundeliegenden Studien, durch Messinstrumente zur Selbsteinschätzung bei angehenden oder bereits aktiven Lehrkräften (vgl. Koehler, Shin & Mishra 2012, S. 20). Wang, Schmidt-Crawford und Jin (2018) zeigen mit ihrer umfangreichen Literaturrecherche bei 88 TPACK-Studien auf, dass 47,7 Prozent Selbsteinschätzungen zur Erfassung des TPACK-Professionswissens angehender Lehrkräfte nutzen. Alternativen wie Leistungsbeurteilungen, offene Fragebögen, Interviews und Beobachtungen werden weniger häufig eingesetzt (vgl. Wang et al. 2018, S. 241).

Auch die nun im Folgenden aufgeführten Studien greifen ausschließlich auf Selbsteinschätzungen zur Erfassung von TPACK zurück. Beim Vergleich der aufgeführten Befunde ist aber zu beachten, dass immer unterschiedliche Messinstrumente eingesetzt wurden. Dies erschwert eine vergleichende Einordnung.

Der weitere Stand der Forschung ist in drei Teile aufgegliedert. Es werden zunächst Befunde über Zusammenhänge bei TPACK aufgeführt, danach folgen Studienergebnisse zu geschlechtsspezifischen Unterschieden bei TPACK und schließlich werden Ergebnisse zu Effekten von Interventionen zum TPACK-Professionswissen präsentiert.

## 2.1 Zusammenhänge bzw. Strukturen bei TPACK

Grundsätzlich lassen sich zwei Zugänge bei der Entwicklung von TPACK unterscheiden: der integrative gegenüber dem transformativen Ansatz. Erstgenannte Perspektive wird bei Gess-Newsome (1999) am Beispiel von PCK als Kombination verschiedener Wissenstypen aufgefasst und als ein Venn-Diagramm aus der Mengenlehre (eine Darstellung für drei Mengen mit drei sich schneidenden Kreisen) abgebildet. Bei der transformativen Perspektive hingegen wird PCK als eine neu verknüpfte Form von Wissen, die nicht durch die Summe ihrer Teile erklärt werden kann, visuell mit Hilfe eines Blockdiagramms mit Pfeilen dargestellt (vgl. Gess-Newsome 1999, S. 14). Ungünstigerweise nutzen Mishra und Koehler (2006) für die Darstellungen des TPACK-Rahmenmodells ein Venn-Diagramm (siehe Abbildung 1), was einen integrativen Ansatz suggeriert. In ihren schriftlichen Erläuterungen legen sie aber ein transformatives Verständnis der Konstrukte zu Grunde (vgl. Graham 2011, S. 1956 f.).

Zur Erfassung und Analyse der TPACK-Dimensionen wird bei Archambault und Crippen (2009) bei 596 Primar- und Sekundarstufenlehrkräften in den Vereinigten Staaten ein Selbsteinschätzungsfragebogen eingesetzt. Die Autoren führen eine starke Korrelation zwischen TPACK, TCK, und TPK mit  $r = .74^{**}$  bis  $.79^{**}$  an. PCK korreliert dabei mit  $.78^{**}$  zu PK, mit  $.71^{**}$  zu CK und mit  $.61^{**}$  zu TPACK, wobei auch zwischen PK und CK ein großer Zusammenhang mit  $.69^{**}$  zu bestehen scheint. Deutlich geringere Beträge ergeben sich hingegen bei TK und PK mit  $.29^{**}$  bzw. zwischen TK und CK mit  $.32^{**}$  (vgl. Archambault & Crippen 2009, S. 80).

Schmidt et al. (2009) fanden jedoch eine mittlere Korrelation zwischen TPACK und TCK mit  $r_{\text{TPACK-TCK}} = .49^{**}$ , während sie höhere Zusammenhänge vor allem bei Wissensdimensionen mit pädagogischen Bestandteilen aufführen. So zeigen sich signifikante Korrelationen von  $r_{\text{TPACK-TPK}} = .71^{**}$ ,  $r_{\text{TPACK-PK}} = .53^{**}$ ,  $r_{\text{TPACK-PCK}} = .49^{**}$ ,  $r_{\text{PK-PCK}} = .56^{**}$  und  $r_{\text{PK-PCK}} = .51^{**}$ . Befragt

wurden angehende Grundschullehrkräfte ( $n = 124$ ) in den Vereinigten Staaten, die in unterschiedlichen Fachbereichen wie Mathematik, Sozialkunde, Naturwissenschaften und Lesen/Schreiben („literacy“) ausgebildet werden (vgl. Schmidt et al. 2009, S. 136).

Sahin (2011) berichtet bei seiner Befragung angehender Englischlehrkräfte in der Türkei ( $n = 348$ ) von signifikanten Korrelationen im Bereich  $r = .72^{**}$  bis  $.79^{**}$  zwischen TPACK und den Dimensionen TCK, TPK, PCK. Es zeigt sich aber auch eine große Korrelation von  $r = .80^{**}$  zwischen PCK und PK (vgl. Sahin 2011, S. 101).

Mit der Entwicklung und Modellierung eines TPACK-Fragebogens für angehende Lehrkräfte der Naturwissenschaften in der Türkei beschäftigten sich Bilici, Yamak, Kavak und Guzey (2013). Anknüpfend an eine explorative ( $n = 420$ ) und konfirmatorische Faktorenanalyse ( $n = 380$ ) werden hohe latente Korrelationen mit  $.70^{**}$  bis  $.90^{**}$  zwischen den technologienahen Dimensionen (TPACK, TK, TCK, TPK) und PCK angegeben, geringere Zusammenhänge lassen sich zwischen TK und PK mit  $.49^{**}$  und TK mit CK  $.46^{**}$  erkennen. Zusätzlich haben die Autoren als achte Dimension den Kontext CxK über fünf Items erfasst. Sie führen hohe latente Korrelationen zu TPACK mit  $.72^{**}$ , TPK  $.69^{**}$ , TCK  $.66^{**}$  und PCK  $.65^{**}$  an (vgl. Bilici et al. 2013, S. 49).

Koh, Chai und Tsai (2013) befragten in Singapur Lehrkräfte im Dienst ( $n = 455$ ) zu TPACK im Rahmen einer Fortbildung (digitale Medien, ICT). Es ergaben sich hohe Korrelationen zwischen den technologienahen Dimensionen mit  $r_{\text{TPACK-TPK}} = .74^{**}$ ,  $r_{\text{TPK-TK}} = .72^{**}$ ,  $r_{\text{TPACK-TCK}} = .72^{**}$ ,  $r_{\text{TPACK-TK}} = .69^{**}$ ,  $r_{\text{TPK-TCK}} = .65^{**}$ . Die Korrelation zwischen PCK und TPACK war hingegen mit  $.23^{**}$  geringer. TK hatte eine moderate Korrelationen mit PK und CK, wohingegen PK und CK mit  $.61^{**}$  zusammenhängen (vgl. Koh et al. 2013, S. 802).

Scherer, Tondeur und Siddiq (2017) analysierten die empirische Trennbarkeit insbesondere der technologienahen Dimensionen (TCK, TPK, TPACK, TK) bei  $n = 665$  angehenden Lehrkräften in Belgien. Die Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalyse ergaben, dass die technologienahen Dimensionen nicht klar getrennt werden können und sehr hoch mit  $> .80^{**}$  (latent) korrelieren. Daher schlagen sie eine alternative Modellstruktur mit einer generellen TPACK-Dimension und einer spezifischen TK-Dimension vor (vgl. Scherer et al. 2017, S. 10).

Bei der Evaluation zweier Lehrerfortbildungen in Deutschland zu Smartphone-Experimenten bei der Feinstaub- bzw. Schwermetallmessung ( $n = 21-25$ ) führen Walker et al. (2017) Korrelationen in einem fortbildungsübergreifenden Teil mit  $r_{\text{TPK-TK}} = .49^{*}/.58^{**}$  (Pre-/Posttest),  $r_{\text{TPK-PK}} = .45^{*}/.11$  und  $r_{\text{TK-PK}} = .10/.03$  an. Bezogen auf diese Bereiche stützen die Ergebnisse die Annahme, dass Zusammenhänge zwischen angrenzenden TPACK-Dimensionen ausgeprägter sind, wohingegen die Korrelationen zwischen den fortbildungsspezifischen Selbsteinschätzungen im Bereich TCK, TK und CK nicht erwartungskonform ausfallen und teilweise geringer bzw. sogar negativ sind (vgl. Walker et al. 2017, S. 14 f.).

Bei eigenen Arbeiten von Schäfer et al. (2020) wurde bei zwei Lehrerfortbildungen (Automatisierungstechnik,  $n = 54$  sowie Industrie 4.0,  $n = 40$ ) auf das TPACK-Rahmenmodell zurückgegriffen. Die Ergebnisse der Evaluation stützen partiell die Annahme, dass Korrelationen zwischen TPK/PK und TPK/TK betragsmäßig größer sind als bei PK/TK, wenngleich dies bei Automatisierungstechnik (AT) mit  $r_{\text{TPK-PK}} = .45^{**}/.71^{*}$  (Pre-/Posttest) und  $r_{\text{TPK-TK}} = .39^{**}/.33^{*}$  größer als  $r_{\text{TK-PK}} = .18/.15$  deutlicher ausgeprägt ist als bei Industrie 4.0 (I4.0). Allerdings sind die Korrelationen zwischen TCK und CK in beiden Fortbildungen deutlich höher (AT:  $r = .79^{**}/.89^{**}$  bzw. I4.0:  $r = .78^{**}/.87^{**}$ ) als zwischen TCK und TK (AT:  $r = .16/.16$  bzw. I4.0:  $r = .10/.42^{**}$ ). Beim Vergleich zwischen PCK/PK und PCK/CK mit PK/CK ergeben sich bei AT erwartungskonforme Korrelationen zwischen  $r_{\text{PCK/PK}} = .56^{**}/.61^{**}$  und  $r_{\text{PCK/CK}} = .43^{**}/.56^{**}$  größer als  $r_{\text{PK/CK}} = .20/.29^{*}$ , bei der Fortbildung in Industrie 4.0 werden allerdings hohe Korrelationen mit  $.71^{**}/.68^{**}$  zwischen PCK und CK beschrieben (vgl. Schäfer et al. 2020, S. 146).



Zusammenfassend lässt sich anhand der zuvor aufgeführten Studien erkennen, dass die betragsmäßig höchsten Korrelationen zwischen TPACK und den technologienahen Dimensionen berichtet werden (vgl. Archambault & Crippen 2009; Bilici et al. 2013; Koh et al. 2013; Sahin 2011; Scherer et al. 2017). Eine uneinheitliche Befundlage zeigt sich bei Zusammenhängen zwischen PCK zu TPACK. So wird einerseits eine größere Korrelation mit  $.60^{**}$  berichtet (vgl. Archambault & Crippen 2009; Bilici et al. 2013; Sahin 2011), wohingegen Koh et al. (2013) und Schmidt et al. (2009) z.T. deutlich geringere Zusammenhänge anführen.

## 2.2 Befunde zu geschlechtsspezifischen Unterschieden bei TPACK

Neben dem TPACK-Professionswissen können auch die mit TPACK verbundenen weiteren Wissensdimensionen (TK, PK, CK, PCK, TPK, TCK) signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede aufweisen. Die Studienlage hierzu ist allerdings recht uneinheitlich (vgl. Scherer et al. 2017, S. 4). Außerdem ist anzumerken, dass bei Selbsteinschätzungen immer auch das Selbstkonzept der Befragten eine Rolle spielt (vgl. Shavelson & Bolus 1982, S. 4). Für ein technikbezogenes Selbstkonzept (aus analytischer Sicht betrifft dies u.a. die technologienahen Dimensionen TK, TPK, TCK und TPACK sowie den jeweiligen situativen Kontext CxK) zeigt der aktuelle Forschungsdiskurs in der Regel ein eher geringes technikbezogenes Selbstkonzept bei Frauen im Vergleich zu Männern auf (vgl. Vincent & Janneck 2012, S. 62).

Die Forschungsgruppe Ergen, Yanpar Yelken und Kanadli (2019) untersuchte bspw. mithilfe einer Metanalyse 29 TPACK-Studien, die im Zeitraum der Jahre 2007-2017 publiziert wurden. Zur Quantifizierung des Heterogenitätsmaßes zwischen den in der Analyse eingeschlossenen Primärstudien wurde das Maß Cochran's Q (vgl. Cochran 1954) berechnet. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Selbsteinschätzungen der männlichen Lehrkräfte auf der TPACK-Skala signifikant höher ist als die der weiblichen. Bezogen auf die weiteren Wissensdimensionen sind die berechneten Gesamteffektgrößen in den Bereichen TCK, TPK und TK ebenfalls signifikant zugunsten der Lehrer ( $Q_b(6) = 44.25$ ,  $p < .001$  mit  $Q_b > \chi^2$ ;  $p < .05$ ; TPACK:  $p = .010$ ; TCK:  $p = .006$ ; TPK:  $p = .001$ ; TK:  $p < .001$ ). Nicht signifikant, aber deskriptiv mit höheren Werten für die männlichen Probanden, sind die Bereiche CK ( $p = .276$ ) und PCK ( $p = .815$ ). Auch insignifikant, allerdings mit deskriptiv höheren Werten zugunsten der Lehrerinnen, ist der Bereich PK mit  $p = .338$  (vgl. Ergen et al. 2019, S. 367).

Dieser Trend findet sich ebenso bereits in der Studie von Lin, Tsai, Chai und Lee (2013):

„Die Ergebnisse [von  $n = 222$  Lehramtsanwärtern in MINT-Fächern aus Singapur zu ihrem TPACK-Professionswissen] deuten darauf hin, dass Lehrerinnen der MINT-Fächer ein höheres Selbstvertrauen in pädagogisches Wissen, aber ein geringeres Selbstvertrauen in technologisches Wissen als Männer wahrnehmen“ (Lin et al. 2013, S. 325); übersetzt durch die Autoren).

Den angeführten Ergebnissen gegenüber steht bspw. die Arbeit von Tuncer und Dikmen (2018), eine Metaanalyse aus sechs türkischen TPACK-Studien, die keinen Einfluss des Geschlechtes auf das TPACK-Professionswissen nachweist (vgl. Tuncer & Dikmen 2018, S. 88 f.). Ähnliche Aussagen machen Jang und Tsai (2012). Die Autoren befragten  $n = 614$  Grundschullehrkräfte zu TPACK beim Einsatz interaktiver Whiteboards im MINT-bezogenen Unterricht. Die empirische Prüfung auf Geschlechtsunterschiede mittels  $t$ -Test für unabhängige Stichproben liefert zu allen TPACK-Wissensdimensionen keine signifikanten Unterschiede (vgl. Jang & Tsai 2012, S. 336). Durch die angeführten Befunde lässt sich festhalten, dass, sofern es zu geschlechtsspezifischen Unterschieden bei TPACK kommt, dies meist die technologienahen Dimensionen TPACK, TCK, TPK und TK betrifft.

### 2.3 Studien zur Förderung von TPACK mit unterschiedlichen Lehr- und Lernformaten

Befunde zu Veränderungen von TPACK mit Prä-Post-Testdesigns liegen von Shin et al. (2009) vor. Diese haben Lehrkräften ( $n = 17$ ) in den Vereinigten Staaten im Rahmen eines hybriden Workshopformats den Einsatz digitaler Medien im Unterricht aufgezeigt. Die einzelnen Veranstaltungen wurden als integriertes Seminar über einen Zeitraum von sechs Wochen durchgeführt und waren aufgeteilt in zwei Wochen Präsenzseminar und vier Wochen Online-Seminar. Die Teilnehmenden arbeiteten an einer Reihe von Aufgaben, bei denen sie unterschiedliche Technologien in verschiedenen pädagogischen Kontexten erlernen und einsetzen mussten, z.B. die Erstellung von Videos, die Entwicklung eines Wikis, das Erforschen von Web 2.0-Technologien und die Gestaltung eines persönlichen Onlineportfolios. Die betragsmäßig größte signifikante Veränderung gab es bei PCK ( $t(16) = 4.42, p < .001, d = 1.18$ ), und den technologienahen Dimensionen TK ( $t(16) = 3.73, p < .01, d = .85$ ), TPACK ( $t(16) = 2.98, p < .01, d = .81$ ), TCK ( $t(16) = 2.16, p < .05, d = .63$ ) und TPK ( $t(16) = 2.16, p < .05, d = .66$ ) (vgl. Shin et al. 2009, S. 4155 f.).

Baya'a und Daher (2015) führten in Israel mit Hochschullehrpersonal ( $n = 17$ ), das zukünftige Lehrkräfte ausbildet, eine Fortbildungsreihe zur Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT) in den Lehr- und Lernprozess durch. Die zweijährige Fortbildung begann mit der allgemeinen Vorstellung und Einführung von ICT, im Anschluss folgte die Umsetzungsphase mit der eigenen Erstellung digitaler Lehr-/Lernformate. Die Autoren berichten von signifikanten Veränderungen bei TPACK ( $t(16) = 3.82, p < .01, d = .90$ ), TPK ( $t(16) = 3.05, p < .01, d = .85$ ) und PK ( $t(16) = 2.34, p < .05, d = .65$ ) (vgl. Baya'a & Daher 2015, S. 1172).

Lehtinen, Nieminen und Viiri (2016) untersuchten den Effekt auf den Einsatz von Simulationen bei angehenden Grundschullehrkräften ( $n = 36$ ). Die Intervention wurde acht Wochen lang an der Universität von Jyväskylä in Finnland durchgeführt und bestand aus Gruppentreffen, der Erstellung einer Unterrichtsplanung und der konkreten Durchführung des Unterrichts. Während und zwischen diesen Gruppentreffen planten die angehenden Lehrkräfte eine Physikstunde für die Primarstufe, in der sie Simulationen verwendeten. Die Ergebnisse zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Pre- und Posttests in den Bereichen TPACK ( $t(35) = 7.28, p < .001, d = 1.37$ ), PK ( $t(35) = 5.21, p < .001, d = .77$ ), und CK ( $t(35) = 3.52, p < .001, d = .45$ ). TK war die einzige Komponente, für die der Unterschied auf dem .05-Niveau nicht signifikant war. Aufgrund der Annahme höherer Zusammenhänge der technologienahen Dimensionen erfolgte in dieser Studie keine detaillierte Erfassung von TCK, PCK, TPK (vgl. Lehtinen et al. 2016, S. 151–161).

Die Befragung von Lehrkräften durch Alrwaished, Alkandari und Alhashem (2017) in Kuwait ergab, dass das Lehrpersonal für Naturwissenschaften und Mathematik bei der Umsetzung einzelner TPACK Bereiche unterstützt werden muss. Dahingehend wurde ein Workshop mit dem Ziel entwickelt, die teilnehmenden Lehrkräfte ( $n = 57$ ) in TPACK einzuführen, Auswirkungen von Lehr-/Lernmethoden auf die Lernenden zu erläutern und den Einsatz digitaler Werkzeuge/digitaler Medien bei der Unterrichtsplanung zu berücksichtigen. Jede Gruppe wählte ein konkretes Thema und gestaltete eine Unterrichtsstunde auf der Grundlage des TPACK-Modells. Die Ergebnisse der Lehrkräfte waren bei TK ( $t(56) = 3.39, p < .001$ ), TCK ( $t(56) = 2.16, p < .05$ ). und TPACK ( $t(56) = 2.10, p < .05$ ) im Posttest signifikant positiver als im Pretest, Effektstärken werden keine berichtet (vgl. Alrwaished et al. 2017, S. 6122-6124).

Zwei eigene Studien bei Fortbildungen von Lehrkräften an berufsbildenden Schulen in Deutschland ergaben unterschiedliche Veränderungen der TPACK-Dimensionen. Bei der eintägigen Fortbildung zu Industrie 4.0 ( $n = 40$ ) ergaben sich die größten signifikanten Veränderungen bei TPACK, CK, PCK, und TCK (TPACK ( $t(38) = 6.76, p < .001, d = 1.08$ ), CK ( $t(37) = 6.28, p < .001, d = 1.02$ ), PCK ( $t(37) = 6.02, p < .001, d = .98$ ), TCK ( $t(39) = 5.70, p < .001, d = .90$ ).

Anzumerken ist, dass bei dieser Fortbildungsreihe Technologien und Änderungen durch Industrie 4.0 im Vordergrund standen (vgl. Walker & Link 2021, S. 189). Beim eintägigen Strategietraining zur Fehlerdiagnose ( $n = 54$ ) ergaben sich in allen Bereichen signifikante Veränderungen (PCK  $t(47) = 12.09$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.75$ ), TPACK ( $t(43) = 5.90$ ,  $p < .001$ ,  $d = .89$ ), TCK ( $t(53) = 7.11$ ,  $p < .001$ ,  $d = .69$ ), TPK ( $t(53) = 5.09$ ,  $p < .001$ ,  $d = .97$ ), CK ( $t(48) = 5.80$ ,  $p < .001$ ,  $d = .83$ ), PK ( $t(46) = 5.41$ ,  $p < .001$ ,  $d = .79$ ), TK ( $t(50) = 2.80$ ,  $p < .01$ ,  $d = .39$ ). Die betragsmäßig höchste Veränderung bei PCK kann vermutlich dadurch erklärt werden, dass im Rahmen dieser Fortbildung insbesondere der Cognitive Apprenticeship Ansatz beim Strategietraining zur Fehlerdiagnose im Mittelpunkt stand (vgl. Schäfer et al. 2020, S. 147 f.).

Die Befundlage deutet drauf hin, dass je nach Akzentuierung der Lehrveranstaltung einzelne Dimensionen stärker verändert werden als andere. Beim Vergleich der Ergebnisse in Kapitel 2 ist jedoch zu beachten, dass immer eigens entwickelte Messinstrumente zur Erfassung von TPACK eingesetzt wurden und dabei oftmals nur Angaben zur internen Konsistenz (Cronbachsches  $\alpha$ ), aber sehr selten faktorenanalytische Auswertungen berichtet werden.

### 3 Forschungsziele und -fragen

Wie aus dem vorangegangenen Kapitel ersichtlich wird, ist gegenwärtig eine gezielte Berücksichtigung des Professionswissens angehender Lehrkräfte über die lernförderliche Einbindung digitaler Medien in den allgemeinbildenden Technikunterricht mangels geeigneter Messinstrumente nicht möglich. Mit dem vorliegenden Beitrag wird angestrebt, diese Lücke partiell zu schließen und eine Erweiterung der zuvor genannten Studien, die (Video-)Vignetten<sup>2</sup> zur Erfassung professioneller Unterrichtswahrnehmung für Techniklehrende untersuchten (vgl. Goreth et al. 2016; Straub et al. 2018; Straub 2020), zu liefern. Es soll außerdem ein Messinstrument entwickelt werden, das erlaubt, TPACK bei Technikstudierenden zeitökonomisch zu erfassen.

Des Weiteren sollen im Rahmen einer online-basierten Lehrveranstaltung Möglichkeiten aufgezeigt und evaluiert werden, wie digitale Medien im allgemeinbildenden Technikunterricht eingesetzt werden können, sodass eine positive Veränderung der einzelnen TPACK-Dimensionen, insbesondere bei den technologienahen Wissensbereichen, erreicht werden kann. Die Auswahl der digitalen Medien erfolgt im Rückgriff auf die im Bildungsplan zu vermittelnden Kompetenzen (vgl. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2016). Im Fokus der Untersuchung stehen dabei folgende drei Forschungsfragen:

1. Forschungsfrage: Welche Zusammenhänge ergeben sich zwischen den einzelnen TPACK-Dimensionen bei Technikstudierenden?
2. Forschungsfrage: Lassen sich geschlechtsspezifische Unterschiede bei Technikstudierenden in den TPACK-Dimensionen erkennen?
3. Forschungsfrage: Kann eine positive Veränderung, insbesondere bei den technologienahen TPACK-Dimensionen, bei Technikstudierenden im Rahmen der Lehrveranstaltung erreicht werden?

2 Unter (Video-)Vignetten versteht man mit Verweis auf Jeffries und Maeder (2011): „Unvollständig gescriptete [Unterrichtssituationen], die auf wenig komplexe Weise reale Situationen widerspiegeln, um Diskussionen und mögliche Lösungen für Probleme anzuregen, bei denen mehrere Lösungen existieren“ (Jeffries & Maeder 2011, S. 163, übersetzt durch die Autoren). Bei den angeführten Studien wurden Studierende sowie Lehrkräfte im Refereariat mit solchen Unterrichtssituationen konfrontiert und dabei deren Professionswissen für den Technikunterricht erfasst. Im Rahmen dieser Arbeiten beschränkte man sich allerdings auf das Konstrukt PCK-T (vgl. Straub 2020, S. 133f.). Nicht analysiert wurden hierbei Facetten des Professionswissens zum Einbezug digitaler Medien im Technikunterricht.

Im Rückgriff auf den Stand der Forschung wird erwartet, dass sich bei der Klärung der ersten Forschungsfrage ähnliche Zusammenhänge (vgl. Kapitel 2.1) zwischen TPACK und den technologienahen Dimensionen ergeben. Aufgrund der heterogenen Befundlage zu geschlechtsspezifischen Unterschieden bei TPACK (vgl. Kapitel 2.2) kann aus dem bisherigen Kenntnisstand keine eindeutige Erwartung zu den Ergebnissen abgeleitet werden. Anknüpfend an die bisherigen Studien zur Förderung von TPACK (vgl. Kapitel 2.3) werden in erster Linie positive Veränderungen bei den technologienahen Dimensionen TCK, TPK, TK, CK und TPACK vermutet.

## 4 Forschungsdesign

Im Folgenden wird zunächst die Vorgehensweise bei der Entwicklung des Messinstruments erläutert und daran anknüpfend der Aufbau der Lehrveranstaltung zum Einsatz digitaler Medien im Technikunterricht beschrieben.

### 4.1 Vorstellung des Messinstruments zur Erfassung des Professionswissens bei angehenden Techniklehrkräften

Die Erfassung des Professionswissens erfolgt auf Basis eines Selbsteinschätzungsfragebogens von Bilici et al. (2013), der bereits an 17 Universitäten in der Türkei eingesetzt wurde. Bei der Entwicklung des Fragebogens wurde die ursprünglich englischsprachige Version von den Autoren ins Deutsche übersetzt. Danach wurden die 52 Items, die sich fachlich an der naturwissenschaftlichen Domäne orientieren, an den allgemeinbildenden Technikunterricht angepasst. Der Vorteil dieses TPACK-Messinstruments (TPACK-SeS) ist, im Gegensatz bspw. zu Schmidt et al. (2009), dass die Datenauswertung auf einer größeren Stichprobe ( $n = 808$ ) und auf einer explorativen und konfirmatorischen Faktorenanalyse basiert. Die Fit-Werte des Modells fallen dabei zufriedenstellend aus ( $\chi^2 = 3781.07$ ;  $p = .000$ ,  $df = 1242$ ,  $RMSEA = .073$ ;  $SRMR = .055$ ;  $CFI = .97$ ;  $NFI = .96$ ) und stützen die theoretische Modellannahme in Abbildung 1. Zudem präsentieren Bilici et al. (2013) Items, die den im TPACK-Modell explizit berücksichtigten „situativen Kontext“ erfassen. Nach Koehler und Mishra (2009) werden TPACK und dessen Komponenten stark von diesem Kontext (CxK) beeinflusst. Diese beiden vorhergenannten Punkte sind bspw. beim Messinstrument von Schmidt et al. (2009) nicht gegeben.

Die folgende Tabelle 2 führt jeweils ein angepasstes Beispielitem, die Itemanzahl und den Cronbachs Alphakoeffizient zu jeder Dimension des TPACK Rahmenmodells an. So umfasst TCK „Kenntnisse darüber, wie Technologien und digitale Unterstützungsangebote zur Darstellung von Inhalten auf unterschiedliche Weise eingesetzt werden können“ und wird über vier Items operationalisiert. Die Subskalen der TPACK-Dimensionen erreichen den angestrebten Wert von  $\alpha \geq .80$  (vgl. Bortz & Döring 2006, S. 725).

Tab. 2: Ausgewählte Items des TPACK-Fragebogens. Die weiteren Items sind dem Anhang zu entnehmen.

	<b>Beispielitem</b>	<b>Item- anzahl</b>	<b>Cron- bachs <math>\alpha</math></b>
TK	Ich kann mich eigenständig in neue Technologien einarbeiten.	5	.84
PK	Ich erkenne individuelle Unterschiede bei Schülerinnen und Schülern.	8	.88
CK	Ich kann verschiedene technische Phänomene und Prozesse erklären.	5	.92
PCK	Ich kann eine Vielzahl technikspezifischer Unterrichtsmethoden anwenden.	10	.95
TPK	Ich kann erklären, wie ich digitale Medien in meinem geplanten Technikunterricht einsetzen kann.	6	.90
TCK	Ich kann technologische Werkzeuge (z.B. CAD-Software, Steuerungssoftware) einsetzen, um technische Prozesse zu vermitteln.	4	.89
TPACK	Ich kann digitale Medien einsetzen, um die Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler im Technikunterricht zu diagnostizieren.	6	.93
CxK	Ich berücksichtige in meinem Technikunterricht das häusliche Umfeld der Schülerinnen und Schüler.	5	.87

Die interne Konsistenz des gesamten Messinstruments kann mit  $\alpha = .89$  als hoch interpretiert werden und basiert auf der eigenen Datenerhebung bei  $n = 165$  Technikstudierenden (zur detaillierten Beschreibung der Stichprobe siehe Kapitel 5.1). Zur Datenanalyse wurde die Software IBM SPSS Statistics 27 eingesetzt.

Um die Eignung der Daten zur Umsetzung einer ergänzenden explorativen Faktorenanalyse (EFA) zu prüfen, erfolgte die Berechnung des Kaiser-Meyer-Olkin-Kriteriums (KMO-Kriterium) und die Durchführung des Bartlett-Tests auf Sphärizität (vgl. Bühner 2011, S. 342). Der KMO-Index gibt einen Wert von .88 an, der damit über .60 (vgl. Tabachnick & Fidell 2007, S. 614) liegt und als gut interpretiert werden kann. Der Bartlett-Test ist signifikant ( $\chi^2 = 3525.163$ ,  $df = 1176$ ,  $p < .001$ ).

Um Erkenntnisse darüber zu erhalten, ob die Stichprobengröße für die EFA ausreichend ist, wurde die Kommunalität  $h^2$  bestimmt (siehe Tabelle 3). Bühner (2011, S. 344) empfiehlt, dass bei  $h^2 \approx .50$  die Stichprobengröße mindestens 100 bis 200 Personen umfassen sollte. Die Anti-Image-Matrizen bzw. der MSA-Index auf der Diagonalen gibt an, ob einzelne Variablen in die Faktorenanalyse miteinbezogen werden sollen (Ausschlusskriterium  $MSA < .50$ , Bühner 2011, S. 348).

Tab. 3: Spannweite der Kommunalität und des MSA-Index je Item-Cluster pro TPACK Dimension ( $n = 165$ ).

	<b>PK.1-8</b>	<b>CK.1-4</b>	<b>PCK.1-10</b>	<b>TK.1-5</b>	<b>TCK.1.4</b>	<b>TPK.1-6</b>	<b>TPACK.1-6</b>	<b>CxK.1-5</b>
$h^2$	.51 - .74	.62 - .80	.60 - .78	.63 - .76	.63 - .72	.57 - .74	.56 - .80	.54 - .84
MSA	.74 - .85	.88 - .92	.87 - .94	.79 - .89	.91 - .95	.85 - .91	.88 - .93	.76 - .85

Die durchgeführte Hauptkomponentenanalyse wurde durch ein orthogonales Berechnungsverfahren durchgeführt (Varimax-Rotation mit Kaiser-Normalisierung). Die Hauptkomponentenanalyse wurde ausgewählt um „eine möglichst sparsame Beschreibung der Items“ (Bühner 2011, S. 367) vorzunehmen. Dieses Verfahren wird eingesetzt, wenn „nur eine Beschreibung erfolgen soll, welche Items deskriptiv zu einer Komponente zusammengefasst werden können“ (Bühner 2011,

S. 349). Dadurch wird die notwendige Zusammenfassung der Items bzw. die Berechnung des Summenscores für die folgenden Analysen (vgl. Kapitel 5.2 bis 5.4) legitimiert.

Mit acht Komponenten werden 68,5 Prozent der Gesamtvarianz erklärt. Die rotierte Komponentenmatrix mit den Faktorladungen ist in Tabelle 4 aufgeführt. Als Cut-Off Kriterium für Querschnitte werden in der Literatur Werte mit .30 genannt (vgl. Gorsuch 1983; Wolff & Bacher 2010, S. 346), andere Autoren empfehlen .32 (vgl. Tabachnick & Fidell 2007, S. 649) oder .40 und höher (vgl. Costello & Osborne 2005, S. 4). Es wurde daher ein mittlerer Wert von .32 gewählt.

In der folgenden Tabelle 4 lässt sich erkennen, dass bspw. die zehn Items von PCK auf die Komponente 1 laden, ein Ausreißer ist Item PCK2, das zusätzlich schwächer mit .47 auf Komponente 5 lädt. Die Items von CK laden insgesamt stärker auf Komponente 6, partiell aber auch auf Komponente 1. PK-Items haben die betragsmäßig größten Ladungen bei Komponente 5, die Items PK4 bzw. PK5 laden jedoch mit .64 und .65 deutlich auf Komponente 8. Diese beiden Items wurden daher von den weiteren Analysen ausgeschlossen und sind nicht in Tabelle 4 dargestellt. Vermutlich sollte die Formulierung dieser Items (siehe Anhang) perspektivisch überarbeitet werden. Bei Item TK5 und TCK4 gibt es Überschneidungen mit anderen Komponenten. Aus theoretisch-inhaltlichen Überlegungen (vgl. Bühner 2011) wurden diese Items aber dennoch im Rahmen der Datenanalyse berücksichtigt.

Tab. 4: Rotierte Komponentenmatrix mit Faktorladungen (Cut-Off von .32 bei Querladungen).

	Komp1	Komp2	Komp3	Komp4	Komp5	Komp6	Komp7	Komp8
PK1/2/3					.67/.67/.57			
PK6/7/8					.76/.78/.77			
CK1/2	.38/.			.34/.		.72/.79		
CK3/4/5	.35/./42					.76/.62/.66		
PCK1/2/3	.74/.54/.78				./.47/.			
PCK4/5/6	.79/.70/.74							
PCK7/8/9/10	.62/.61/.66/.72							./34/./.
TK1/2/3				.74/.82/.78				
TK4/5			./63	.73/.41				
TCK1/2		.38/.35	.39/.	.45/.54				.33/.
TCK3/4	./41	.39/.	./43	.51/.45				
TPK1/2/3	./43/.	././35	.75/.64/.51					
TPK4/5/6			.68/.79/.59					-.36/./.
TPACK1/2/3		.78/.82/.61						
TPACK4/5/6	.44/./.	.53/.77/.82						
CxK1/2/3						.56/.85/.86		.43/./.
CxK4/5		.42/.				.48/.67		./45

Anmerkung: Um die Tabelle kompakter zu gestalten wurden die Items nicht vollständig vertikal, sondern auch horizontal dargestellt und durch einen Schrägstrich / getrennt.

#### 4.2 Aufbau der Lehrveranstaltungen zur Förderung des Professionswissens angehender Techniklehrkräfte zum Einsatz digitaler Medien

Der entwickelte Selbsteinschätzungsfragebogen wurde bei  $n = 25$  Technikstudierenden in einem Eingruppen-Pretest-Posttest-Plan (vgl. Campbell & Stanley 1963, S. 7) im Rahmen der Lehrveranstaltung bei der ersten und letzten Sitzung eingesetzt. Die Erfassung erfolgte online (browserbasiert) über SoSci Survey. Die Lehrveranstaltung hat als Ziel, Studierenden Möglichkeiten für den Einsatz digitaler Medien im Technikunterricht aufzuzeigen und zur Verbesserung des TPACK-Professionswissens beizutragen. Eine Beschreibung der Lehrveranstaltung erfolgt im folgenden Unterkapitel.

Zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte schlagen Chai, Koh und Tsai (2010, S. 70) ein stufenweises Vorgehen zur Vermittlung von TPACK vor. Die Lehrveranstaltung ist daher in einen ersten Block mit nicht-technologieaffinen Dimensionen (wie PC, CK und PCK) und in einen

zweiten Block mit den technologienahen Dimensionen TK, TPK, TCK und TPACK aufgeteilt, worin allgemeine Eigenschaften und Stärken digitaler Medien erarbeitet werden.

Es erfolgte in Block 1 im Bereich von CK zunächst eine Begriffsklärung zum technischen Zeichnen. Hierbei wurden u.a. die Unterscheidungen zwischen CAD und CAM herausgearbeitet (vgl. Fritz & Hoischen 2018, S. 434-453). Daran anschließend folgte eine Einführung in das Geometrische Konstruieren, d.h. die Arbeit mit Konstruktionswerkzeugen in Verbindung mit mentalen Operationen (vgl. Weigand et al. 2014, S. 55-58). Bei den Grundlagen des technischen Zeichnens lag der Fokus u.a. auf den unterschiedlichen Ansichten, z.B. der Umsetzung einer Dreitafelprojektion (vgl. Helling 2008, S. 69), die für die spätere CAD-Modellierung von großer Bedeutung sind.

Methodisch eingebettet wurde die Thematik in die Konstruktionsaufgabe (auch in Abgrenzung zur Fertigungsaufgabe, vgl. Sachs 2001, S. 11) mit Beschreibungen und entsprechenden Ergebnissen auf Schülerebenen (vgl. Hüttner 2009, S. 177-185; Straub 2017, S. 11) und im Rückgriff auf die curricular verankerten Bildungsinhalte. Als ausformuliertes Lernziel kann die Schülerschaft beispielsweise „in einer Konstruktionsaufgabe, ausgehend von einer konkreten Problemstellung, einen technischen Gegenstand mit Unterstützung ressourcenschonend planen, entwickeln, fertigen, beurteilen und optimieren“ sowie „computerunterstützt Produkte entwickeln und fertigen (CAD, CAM)“ (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2016, S. 17).

In Block 2 wurde eine Einführung in das rechnergestützte Konstruieren über unterschiedliche Modellierungsvarianten (Kanten-, Flächen-, Volumenmodelle) und über industrielle Umsetzungsbeispiele vorgenommen. Zur Installation der CAD-Software FreeCAD (*Open Source*) und einer ersten Einarbeitung konnten die Studierenden auf ein Tutorial bei einem Online-Videoportal zurückgreifen. Die Heranführung an die Interaktion mit dem CAD-Programm, z.B. Zoomfunktionen, verschieben des Bildausschnitts oder dynamisches Drehen, um das Modell von verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten, erfolgte über das FreeCAD Online-Wiki.

Das Vorgehen bei der Modellierung mit einem CAD-System wurde im Rückgriff auf Schabacker (2011) aufgezeigt: Grundlage ist eine Idee des zu entwickelnden Produkts, davon werden Einzelteile und Baugruppen (ggf. weitere Einzelteile) abgeleitet (*Top-Down Modelling*). Beim *Solid Modelling* wird basierend auf der 2D-Skizze (bei FreeCAD als Sketcher bezeichnet) mittels Extrusion oder Rotation ein Volumenkörper erstellt. An diesen Grundkörper werden geometrische Formelemente wie Bohrungen, Verrundungen usw. angebracht. Beim *Bottom-Up Modelling* erfolgt dann ein Zusammenbau der Einzelteile zu Baugruppen. Relevante Arbeitstechniken sind hierbei insbesondere, dass bspw. Skizzen so einfach wie möglich gehalten werden und keine Verzweigungen der Konturen erfolgen. Zudem ist darauf zu achten, Skizzen geschlossen zu halten, diese vollständig zu bemaßen und vollständig zu bestimmen (wenig bis keine Freiheitsgrade). Es wird beim Konstruieren mittels CAD empfohlen, geometrische Randbedingungen (z.B. Parallelität, Konzentrität) oder vorgegebene Features (für Bohrungen, Ausschnitte, etc.) zu nutzen (vgl. Schabacker 2011, S. 20-27). Die im Technikunterricht wichtige Produktorientierung wurde durch die konkrete Konstruktion eines Solitaire-Spielbrettes mit Spielfiguren in FreeCAD 0.18 vollzogen und ist in der folgenden Abbildung 2 dargestellt.



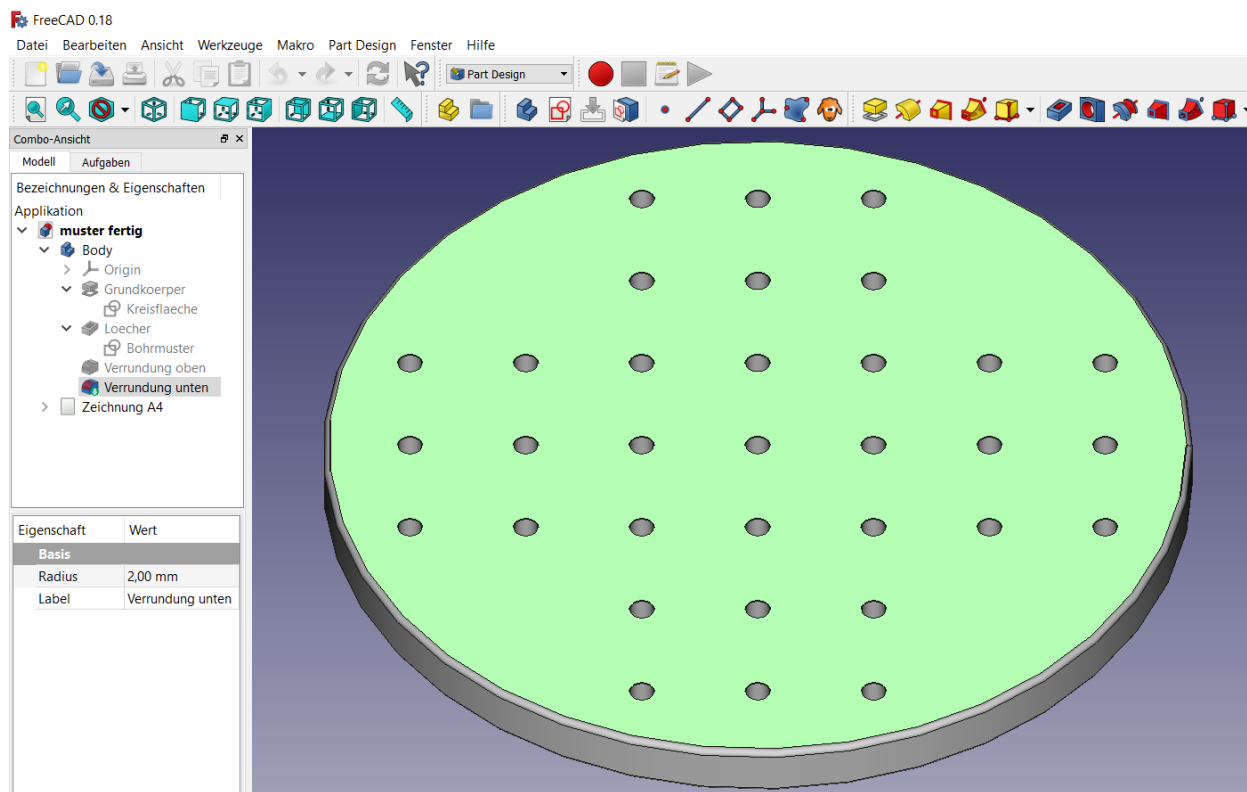


Abb. 2: Konstruktion des Solitaire-Spielbrettes in FreeCAD0.18 (eigene Abbildung).

Zusätzlich wurde die NC-Programmierung von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen behandelt. Dazu wurde insbesondere der Aufbau von Fräsmaschinen in einem Technikfachraum und deren Bezugspunkte an Werkstück und Werkzeug thematisiert.

Da eine Werkzeugmaschine drei Bewegungen (Schnittbewegung, Vorschubbewegung und Zustellbewegungen) ausführt, müssen an der Fräsmaschine, auch in Abhängigkeit von Werkstoff, Oberflächenqualität sowie der Fertigungs- und Standzeit, die Parameter für Drehzahl und Vorschub eingestellt werden (vgl. Haffer 2012, S. 31-32). Die Einführung in das NC-Programmieren beschränkte sich aus Umfangsgründen auf Kenntnisse über Wegbedingungen, z.B. das Ausführen einer Bewegung im Eilgang oder mittels Linear- bzw. Kreisinterpolation (vgl. Bartenschlager & Dillinger 2013, S. 573-575; Haffer 2012, S. 31-32).

Das Erstellen des NC-Programms erfolgte im Rückgriff auf die Software nccad 9, die sehr häufig in der schulischen Praxis im Technikunterricht eingesetzt wird. Auf der Website des Herstellers sind Tutorials aufgeführt, zudem beinhaltet nccad 9 auch eine ausführliche Hilfe im Programm. Dadurch war es möglich, dass die Studierenden erste Übungsaufgaben selbstständig bearbeiten und das entwickelte NC-Programm auf ihre Richtigkeit hin in der Simulation überprüfen konnten. Dieser zweite Block schloss mit einer Eigenleistung der Studierenden ab. Im Rückgriff auf den im Seminar eingeführten Cognitive Apprenticeship Ansatz (vgl. Brown, Collins & Duguid 1989; Nepper 2019, S. 19) erhielten die Studierenden folgenden Arbeitsauftrag: Für den allgemeinbildenden Technikunterricht in der 10. Klassenstufe sollten sie eine (didaktisch gestützte) Anleitung zum NC-Programmieren mittels nccad 9 erstellen. Als komplexes Ausgangsproblem diente die Fertigung der Solitaire-Platte (siehe folgende Abbildung 3). Den Abschluss der Einheit *CAD, NC und CAD/CAM* bildete eine Umsetzung einer Fertigungsaufgabe (vgl. Sachs 2001, S. 11) durch Einarbeitung in die CAD-CAM Prozesskette.

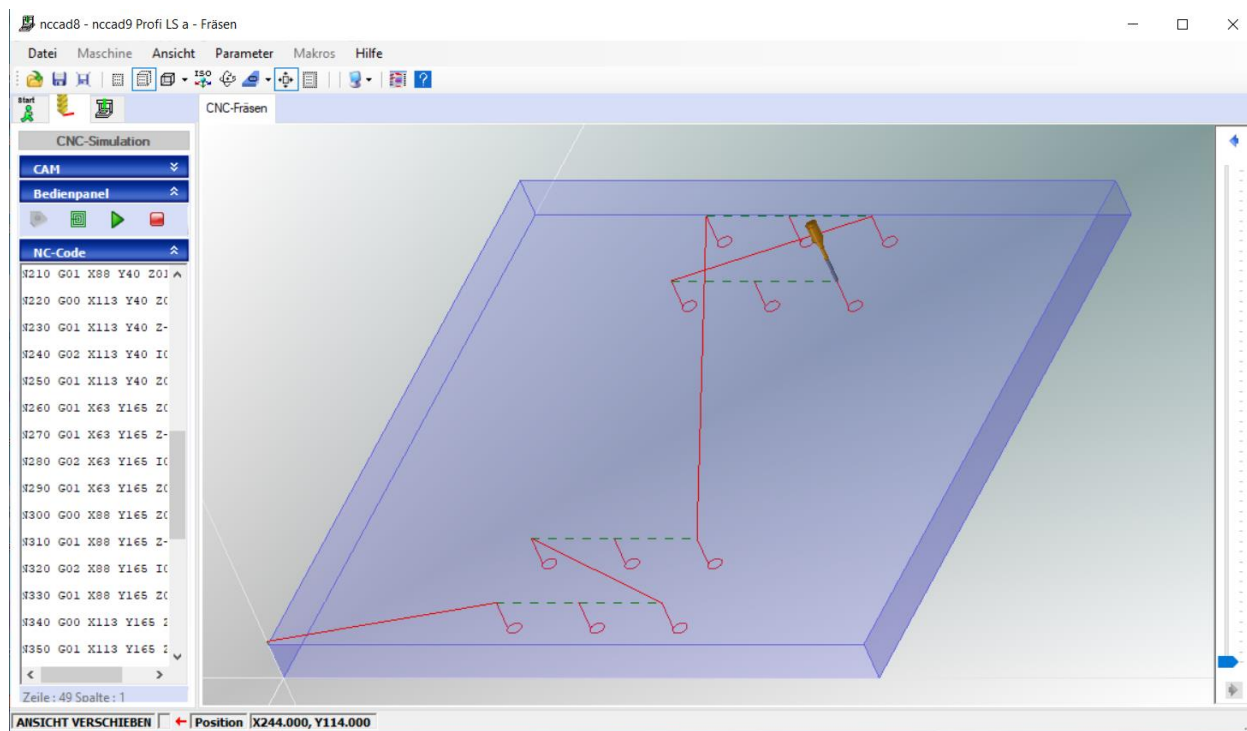


Abb. 3: Erstellung und Simulation des NC-Codes zur Fertigung des Solitaire-Spielbrettes (eigene Abbildung).

## 5 Ergebnisse

Im Rahmen der folgenden Auswertung werden neben der deskriptiven Beschreibung der Stichprobe die Ergebnisse zu den Korrelationen zwischen den TPACK-Dimensionen (1. Forschungsfrage), geschlechtsspezifische Unterschiede (2. Forschungsfrage) sowie Veränderungen des Professionswissens durch die digitale Lehrveranstaltung berichtet (3. Forschungsfrage).

### 5.1 Deskriptive Beschreibung der Stichprobe

Die folgende Auswertung basiert auf einer Querschnittstudie mit 165 angehenden Techniklehrkräften der Primar- und Sekundarstufe von drei Hochschulstandorten in Baden-Württemberg ( $n = 25$  im Längsschnitt). Die Befragten sind überwiegend männlich (60 Prozent), weibliche Studierende (39,4 Prozent) sind im Fach Technik in der Unterzahl, eine Person identifiziert sich als divers. Das Alter beträgt im Mittel 24,5 Jahre ( $SD = 5,3$ ), wobei sich ein geschlechtsspezifischer Unterschied zeigt; durchschnittlich sind die befragten Lehrerinnen im Mittel jünger ( $w: 23,7$  Jahre,  $m: 25,2$  Jahre). Die Mehrheit der Studierenden (73 Prozent) strebt eine Tätigkeit als Lehrkraft der Sekundarstufe an, gefolgt von der Primarstufe mit 25,2 Prozent und der Sonderpädagogik (1,8 Prozent). Die Verteilung an absolvierten Studiensemestern ist in der Stichprobe wie folgt gegeben:  $n = 49$  Studierende befinden sich im 1. oder 2. Semester,  $n = 34$  in Semester 3-4;  $n = 32$  in Semester 5-6;  $n = 19$  in Semester 7-8 und  $n = 31$  in Semester 9-10 (und höher). Daraus ergibt sich weiter, dass die meisten Studierenden über eine gewisse Schulpraxis verfügen: 130 Studierende besuchten bereits das Orientierungspraktikum (OEP), 40 Studierende konnten das darauf aufbauende integrierte Semesterpraktikum (ISP) erfolgreich bewältigen.

## 5.2 Korrelationen zwischen TPACK-Dimensionen

Zur Berechnung der Pearson-Korrelationen wurde der Summenscore der einzelnen Wissensbereiche gebildet. Folgende Tabelle 5 führt die Zusammenhänge zwischen den einzelnen TPACK-Dimensionen bei Technikstudierenden auf. Korrelationskoeffizienten mit  $|r| > .50$  werden hierbei große Effekte zugesprochen (vgl. Cohen 1988, S. 77-81).

Es zeigt sich die betragsmäßig größte Korrelation von .76 zwischen PCK und CK, weitere hohe Zusammenhänge mit  $r > .50$  ergeben sich bei den technologienahen Dimensionen TCK, TPK und TPACK. Es ist zu erkennen, dass die TPACK-Dimensionen, die sich im Zentrum in Abbildung 1 überschneidenden, eine große Korrelation aufweisen. Betrachtet man den Kontext CxK, so korreliert dieser sehr hoch mit allen Dimensionen mit pädagogischer Komponente, d.h. PK, PCK, TPK und TPACK.

Tab. 5: Pears on-Korrelationen der TPACK-Dimensionen bei angehenden Techniklehrkräften ( $n = 165$ ).

	<b>PK</b>	<b>CK</b>	<b>PCK</b>	<b>TK</b>	<b>TCK</b>	<b>TPK</b>	<b>TPACK</b>	<b>CxK</b>
PK	1/1	.16	.36**	.14	.18	.30**	.42**	.53**
CK		1/1	.76**	.43**	.51**	.37**	.44**	.19
PCK			1/1	.37**	.63**	.61**	.62**	.56**
TK				1/1	.66**	.42**	.38**	.07
TCK					1/1	.63**	.72**	.32**
TPK						1/1	.73**	.59**
TPACK							1/1	.63**
CxK								1/1

Anmerkung: \* = Korrelation ist auf dem Niveau von .05 (2-seitig) signifikant; \*\* Korrelation ist auf dem Niveau von .01 (2-seitig) signifikant.

Die Ergebnisse ordnen sich in die Befunde aus anderen Fächern ein, auch dort werden große Zusammenhänge zwischen den technologienahen Dimensionen berichtet (vgl. Archambault & Crippen 2009; Bilici et al. 2013; Koh et al. 2013; Sahin 2011; Scherer et al. 2017). Die hohen Korrelationen zwischen CK und PCK zeigen sich auch in anderen Studien (u.a. Schäfer et al. 2020), wobei dies auch mit der Frage zur empirischen Trennbarkeit einzelner Dimensionen einhergeht und durch die höheren Querladungen bei PCK und CK im Rahmen der explorativen Faktorenanalyse in Tabelle 3 gestützt wird.

Die hohe Korrelation des situativen Kontexts (CxK) mit TPACK weist darauf hin, dass Einschätzungen der angehenden Techniklehrkräfte zu Voraussetzungen der Lernenden, wie der sozioökonomische und kulturelle Hintergrund oder die Gegebenheiten des Lehr-/Lernraums für den allgemeinbildenden Technikunterricht, die Art und Weise beeinflussen, wie Technologien in den Lehr- und Lernprozess integriert werden können und ordnet sich damit in die Befunde von Bilici et al. (2013) bei angehenden Lehrkräften der Naturwissenschaften ein.

## 5.3 Geschlechtsspezifische Unterschiede

Unterschiede zwischen angehenden Lehrerinnen und Lehrern bei TPACK ergeben sich rein deskriptiv aus Tabelle 6. Es ist erkennbar, dass sich zukünftige Techniklehrerinnen bis auf die Dimension PK und dem Kontext CxK immer etwas schlechter einschätzen als ihre männlichen Kommilitonen. Der t-Test für unabhängige Stichproben gibt signifikante Unterschiede bei der Selbsteinschätzung angehender Techniklehrkräfte in den technologienahen Dimensionen TK ( $t(148) = 4.639, p < .001$ ), TPK ( $t(121) = 2.111, p < .05$ ) sowie in den fachwissenschaftsnahen Bereichen CK ( $t(139) = 3.793, p < .001$ ) und TCK ( $t(134) = 4.390, p < .001$ ) aus. In Anlehnung an Cohen (1988, S. 532) werden mit  $d = .39 - .77$  mittlere Effektstärken erreicht. Es ist zudem erkennbar, dass die Anzahl der gültigen Fälle variiert (vor allem bei jenen mit pädagogischen Bestandteilen) und Lehrerinnen wesentlich häufiger die Antwortkategorie „kann ich nicht beantworten“ wählen verglichen mit Lehrern, die entsprechende Items einfach nicht beantwortet und übersprungen haben. In beiden Fällen wurde dies als fehlender Wert für die Auswertung deklariert.

Tab. 6: Vergleich der Summenscores bei angehenden Techniklehrkräften ( $n = 165$ ).

	Geschlecht	Summenscore		T-Test		
		M	SD	T	p	d
PK	m (n = 75)	72.62	10.73	-3.097	.002	.54
	w (n = 59)	78.99	13.09			
CK	m (n = 88)	70.78	14.06	3.793	.000	.66
	w (n = 53)	59.09	22.55			
PCK	m (n = 68)	68.12	14.26	1.545	.125	.31
	w (n = 38)	62.33	24.29			
TK	m (n = 90)	78.31	17.80	4.639	.000	.77
	w (n = 60)	63.20	21.90			
TCK	m (n = 83)	69.78	18.74	4.390	.000	.77
	w (n = 53)	53.21	25.17			
TPK	m (n = 75)	73.60	11.95	2.111	.037	.39
	w (n = 48)	67.13	22.01			
TPACK	m (n = 65)	63.99	15.43	.895	.373	.18
	w (n = 39)	60.43	25.23			
CxK	m (n = 73)	76.63	14.57	-1.714	.089	.35
	w (n = 37)	82.21	18.85			

Anmerkung: Die Statistiksoftware IBM SPSS 27 gibt die zweiseitige Signifikanz an.

Bezogen auf die genderspezifischen Unterschiede, die im Forschungsdiskurs unterschiedlich angegeben werden (vgl. Scherer et al. 2017), zeigen unsere Ergebnisse für Technikstudierende ähnliche Ergebnisse wie die Metaanalyse von Ergen et al. (2019). Die signifikanten Unterschiede in den Dimensionen TK, TCK und TPK sind zudem vergleichbar mit Scherer et al. (2017).

#### 5.4 Veränderung des Professionswissens

Um die Veränderung des Professionswissens in den beiden digitalen Lehrveranstaltungen zu erfassen, wurden  $n = 25$  Technikstudierende (Lehramt Sekundarstufe) befragt und die Summenscores der einzelnen Wissensbereiche gebildet sowie anschließend der t-Test für abhängige Stichproben berechnet.

Tabelle 7 stellt neben Mittelwert, Standardabweichung im Pre- und Posttest, den  $t$ -Wert,  $p$ -Wert und die Effektstärke  $d$  für die einzelnen TPACK-Dimensionen dar. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass jene TPACK-Dimensionen, die technologisch-inhaltliche Wissensbereiche beinhalten, die signifikant größten positiven Veränderung erfahren, wie bei TPACK mit  $d = 1.006$ , TCK mit  $d = 1.049$  und CK mit  $d = .595$  zu erkennen ist. Dies waren auch insbesondere jene Bereiche, die integrativ in beiden Lehrveranstaltungen mit den Schwerpunkten auf die Themen CAD und CNC-Programmierung den größten Zeitumfang eingenommen haben (siehe Kapitel 4.2 dieses Beitrags). Aufgrund der hohen Zusammenhänge zwischen TPACK und dem Kontext zeigt sich bei CxK auch eine signifikante Veränderung mit  $d = .645$ . Knapp über der Signifikanzgrenze liegt TPK mit  $p = .055$ . Bei PK und PCK konnten vermutlich weniger Impulse in der Lehrveranstaltung geliefert werden, die zu einer positiven Veränderung geführt hätten. Möglicherweise ist eine Veränderung im pädagogischen Wissen bzw. jenen Items im Messinstrument, die zur Erfassung herangezogen werden, eher in anderen Seminaren mit einem rein pädagogischen bzw. didaktischen Bezug ausgeprägter vorhanden.

Tab. 7: Veränderung des TPACK-Professionswissens bei angehenden Techniklehrkräften ( $n = 25$ ).

	Pretest		Posttest		Zuwachs		t-Test		
	M	SD	M	SD	M	SD	T	p	d
PK	79.58	15.58	81.10	12.83	1.51	9.21	.614	.550	.16
CK	67.56	17.21	77.72	13.15	10.17	17.09	2.524	.022	.60
PCK	69.50	20.37	78.75	13.21	9.25	20.48	1.497	.165	.45
TK	77.24	16.68	82.00	12.61	4.76	12.30	1.597	.130	.39
TCK	61.30	17.48	77.80	13.29	16.50	15.73	4.195	.001	1.05
TPK	67.34	21.70	74.99	19.11	7.64	14.14	2.093	.055	.54
TPACK	60.00	22.87	74.56	19.85	14.56	14.47	3.336	.008	1.01
CxK	81.03	18.29	87.11	13.20	6.08	9.43	2.324	.039	.65

Die zuvor aufgeführten Ergebnisse lassen sich in die Befunde aus anderen Domänen einordnen, wobei sich erkennen lässt, dass je nach Schwerpunkt der Lehrveranstaltung unterschiedliche TPACK-Bereiche gefördert werden. So sind beim Vermitteln neuer fachlicher Inhalte (vgl.

Schäfer et al. 2020; Walker & Link 2021) oder bei der Einführung bzw. der Anwendung neuer Lehr- und Lerntechnologien (vgl. Alrwaished et al. 2017; Baya'a & Daher 2015; Lehtinen et al. 2016; Shin et al. 2009) die Selbsteinschätzungen der Lehrkräfte im Posttest höher als im Pretest. Bei einer vergleichenden Betrachtung der Effektstärken muss jedoch beachtet werden, dass in den zuvor aufgeführten Studien unterschiedliche Messinstrumente zur Selbsteinschätzung eingesetzt wurden, was eine gegenüberstellende Interpretation erschwert.

## 6 Diskussion

Mit der vorliegenden Arbeit konnte aufgezeigt werden, wie möglicherweise das TPACK-Professionswissen in den allgemeinbildenden Technikunterricht zur lernförderlichen Einbindung digitaler Medien bei Studierenden thematisiert werden kann. Im Folgenden werden einerseits Limitationen beim forschungsmethodischen Vorgehen aufgeführt und andererseits erfolgt ein theoretischer Diskurs zum TPACK-Rahmenmodell.

Die Ergebnisse zu den Zusammenhängen der TPACK-Dimensionen und die Veränderung des Professionswissens lassen sich wie in Kapitel 5.2. und 5.4 in andere Befunde einordnen. Bei den geschlechtsspezifischen Unterschieden liegt nach wie vor eine uneinheitliche Befundlage vor, wobei die untersuchte Stichprobe weitere Fragen aufgeworfen hat. Angehenden Techniklehrerinnen könnte man aus analytischer Sicht zumindest eine gewisse höhere Technologieaffinität unterstellen, insofern ist der signifikante Unterschied nicht erwartungskonform gewesen.

Die Stichprobengröße mit  $n = 165$  Personen ist zu gering für strukturprüfende Verfahren wie eine konfirmatorische Faktorenanalyse. Die Ergebnisse der explorativen Faktorenanalyse in Tabelle 3 zeigen zwar zufriedenstellende Faktorladungen auf, jedoch laden die Items von TK und TPACK auf dieselbe Komponente. Zum selben Befund kommen auch Scherer et al. (2017, S. 11). Perspektivisch müssen auch die PK-Items 4 und 5 umformuliert werden, denn diese laden auf eine andere Komponente. Die in dieser Studie eingesetzten Items können vollständig dem Anhang entnommen werden.

Um aussagekräftigere Effektstärken zu erhalten, wäre ein Experimental-Kontrollgruppendesign angebrachter, um die signifikanten Veränderungen der evaluierten Lehrveranstaltung zu erklären, denn das verwendete Eingruppen-Pretest-Posttest-Design ist mit Einschränkungen verbunden (vgl. Fraenkel, Wallen & Hyun 2018). Es wäre denkbar gewesen, bspw. mit der Kontrollgruppe die Werkstücke auch in der Realität mit Lernenden zu fertigen, dies war jedoch aufgrund der geltenden Corona-Verordnung nicht möglich.

Wünschenswert wäre perspektivisch eine Validierung des hier eingesetzten Selbsteinschätzungsfragebogens bspw. mit performanzorientierten Messinstrumenten wie Akyuz (2018) dies in der Mathematikdidaktik aufzeigt. Sie berichtet von einer Diskrepanz bei Items, die die P-Dimension enthalten (PK, TPK, TPACK - nicht aber bei PCK), d. h. in diesem Bereich sind die Werte der externen Leistungsbeurteilung durchweg niedriger als die der Selbsteinschätzung. In den anderen Bereichen war dies jedoch nicht so ausgeprägt vorzufinden.

Bei der Diskussion des TPACK-Rahmenmodells stellt sich uns die Frage, inwiefern die rein optisch suggerierte harmonische Ausprägung aller Dimensionen (siehe Abbildung 1) eine gleiche Relevanz für die spätere Tätigkeit als Lehrkraft aufweist und beispielweise TK oder TPK genauso bedeutsam sind wie PCK oder CK. So untersuchte Schmidt (2020) Einstellungen zu digitalen Medien (ICT-Beliefs) bei Lehrkräften in der Schweiz und stellte fest:

„98 % der untersuchten Lehrpersonen zeigen sich überzeugt, dass die digitale Transformation keine fundamentale Veränderung der Schule, des Unterrichts oder der Aufgaben von Lehrpersonen mit sich bringt.“ (Schmidt 2020, S. 3)

D. h. die Lehrkräfte, die zu spontanen Statements aufgefordert wurden, erwarten eher keine bzw. nur in kleinen Schritten voranschreitende Änderungen im schulischen Lernen, wobei diese Einstellungen und Überzeugungen äußerst veränderlich sind. Sobald vorbereitete Ausführungen verlangt werden, kommen „Inhalte und Strukturen von ICT-Beliefs hervor, die didaktische, fachdidaktische oder pädagogische Gesichtspunkte zur Geltung bringen und durchaus geeignete Ausgangspunkte für eine ICT-Professionalisierung bilden“ (Schmidt 2020, S. 3).

Obwohl in dieser Arbeit ein Zusammenhang zwischen TPACK und dem situativen Kontext aufgezeigt wurde, berücksichtigen die wenigsten Studien diesen explizit bei der Datenerhebung (vgl. Rosenberg & Koehler 2015). Die Ansätze der Operationalisierung sind z. T. sehr weitfassend und umfassen neben den enger am TPACK-Rahmenmodell liegenden kontextuellen Faktoren wie Kultur, sozioökonomischer Status und schulische Rahmenbedingungen (vgl. Harris & Hofer 2011) auch die Makroebene (vgl. Porras-Hernández & Salinas-Amescua 2013). Insbesondere bedarf es hier einer weiteren Konkretisierung des Kontexts an den allgemeinbildenden Technikunterricht wie bspw. auch die Berücksichtigung eines adäquat ausgestatteten Fachraumes (vgl. Bienhaus 2018). Im Sinne des mehrperspektivischen Ansatzes unter Berücksichtigung der vorberuflichen Orientierung sollten auch Kooperationen von Lernorten miteinbezogen werden (analog zur beruflichen Bildung, siehe Walker und Link (2021)).

Bei den Bezeichnungen und Übersetzungen der entsprechenden Dimensionen des TPACK-Rahmenmodells wird einheitlich der Begriff *Knowledge* verwendet, was bei der Übersetzung ins Deutsche dem Wissensbegriff gleichgesetzt wird. Vor dem Hintergrund des in der Lehrerbildung vorzufindenden Kompetenzbegriffs scheint dies ungünstig, denn so umfassen die ursprünglichen Ausführungen neben dem Wissensbegriff auch den Begriff des Könnens „Acquiring a new knowledgebase and skill [...]“ (Koehler & Mishra 2009, S. 62) und ließe sich damit verbinden.

Ebenfalls ist der Begriff *Technologie* für Akteure im allgemeinbildenden Technikunterricht als auch im Bereich der beruflichen Bildung anderweitig besetzt. So führte Ropohl (2009) eine Allgemeine Technologie im Sinne einer Systemtheorie der Technik ein oder Rauner (1986) definiert in seinen fünf Dimensionen einer erweiterten Elektrotechnik-Lehre Technologie als „Lehre vom Aufbau, Funktionieren und Konstruieren der E-Technik“ (Rauner 1986, S. 149). Aber auch im alltäglichen Sprachgebrauch der Technik sind eher Verfahren bspw. der Produktionstechnologie damit assoziiert. Insofern scheint die hier vorzufindende doppelte Besetzung des Begriffs hinderlich zu sein.

Eine größere Akzeptanz und weitere begriffliche Präzision beim Einsatz digitaler Medien könnte möglicherweise dadurch erreicht werden, wenn man beispielsweise Tenberg (2020) folgend die Begriffe Medienerziehung, Mediendidaktik/-methodik und Fachtechnologie explizit in die Modellstruktur für den Technikunterricht einarbeitet und die Begriffe für TPK, TK und TCK ersetzt sowie die eingangs in Tabelle 1 im Rahmen dieses Beitrags getroffenen Beschreibungen und Beispiele für den Technikunterricht weiter fortführt.

Eine Konsequenz für die Praxis in der Ausbildung von angehenden Technik-Lehrkräften in Bezug auf den Einsatz digitaler Medien wäre es, neben der ganzheitlichen Förderung des TPACK-Professionswissens, auch gezielt Lernsituationen für eine gender- bzw. diversitätsorientierte Didaktik (z.B. Goreth, Krebs & Windelband 2021) anzubieten.

## Anhang

PK1: Ich erkenne individuelle Unterschiede bei Schülerinnen und Schülern.

PK2: Ich kann Maßnahmen ergreifen, um ein mögliches störendes Verhalten von Schülerinnen und Schülern im Unterricht zu reduzieren.

PK3: Ich kann Lehr- und Lernumgebungen effektiv betreuen.

PK4: Ich kann Beurteilungsinstrumente für bestimmte Zwecke entwickeln.

PK5: Ich kann Beurteilungsinstrumente für bestimmte Zwecke bewerten.

PK6: Ich kann eine Vielzahl von Lehr- und Lernstrategien effektiv einsetzen.

PK7: Ich kann eine Reihe von Unterrichtsmethoden effektiv anwenden.

PK8: Ich kann Unterschiede der Schülerinnen und Schüler beim Lernen erkennen.

CK1: Ich kann verschiedene technische Phänomene und Prozesse erklären.

CK2: Ich kann verschiedene technisch-mathematische Konzepte erklären.

CK3: Ich kann verschiedene technisch-naturwissenschaftliche Konzepte erklären.

CK4: Ich kann verschiedene informationstechnische Konzepte erklären.

CK5: Wenn ich technische Phänomene und Prozesse unterrichte, kann ich entsprechende Verbindungen zu anderen Fachbereichen (wie Mathematik, Naturwissenschaften, Informatik) herstellen.

PCK1: Ich kann Technik gemäß Bildungsplan unterrichten.

PCK2: Ich kann Unterrichtsziele für jedes Thema im Bildungsplan und für jede Klassenstufe festlegen.

PCK3: Ich kann eine Vielzahl von Lehr- und Lernstrategien im Technikunterricht anwenden.

PCK4: Ich kann eine Vielzahl von technikspezifischen Unterrichtsmethoden anwenden.

PCK5: Ich kann in meinem Technikunterricht auf die Lernschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler eingehen.

PCK6: Ich kann in meinem Technikunterricht auf Fehlvorstellungen von Schülerinnen und Schülern eingehen.

PCK7: Ich kann Schülerinnen und Schülern Gelegenheiten bieten, technische Phänomene und Prozesse forschend wahrzunehmen.

PCK8: Ich kann geeignete Maßnahmen zur Leistungsbewertung im Technikunterricht auswählen.

PCK9: Ich kann ermitteln, welche Konzepte bestimmten Phänomenen und Prozessen zugrunde liegen.

PCK10: Ich kann ermitteln, welche Kompetenzen im Technikunterricht festzustellen sind.

TK1: Ich kann die Unterschiede zwischen Hardware und Software erklären.

TK2: Ich kann Hardwareprobleme beheben.

TK3: Ich kann Software installieren.

TK4: Ich kann mich eigenständig in neue Technologien einarbeiten.

TK5: Ich kann geeignete digitale Medien auswählen.

TCK1: Ich kann Konzepte, die technischen Phänomenen und Prozessen zugrunde liegen, mit digitalen Unterstützungsangeboten (u.a. mit Animations- und Grafiksoftware) veranschaulichen.

TCK2: Ich kann technologische Werkzeuge (z.B. CAD-Software, Steuerungssoftware) einsetzen um technische Prozesse zu vermitteln.

TCK3: Ich kann technologische Hilfsmittel (z.B. Computer) einsetzen um technische Prozesse zu analysieren.

TCK4: Ich kann die Vorteile des Einsatzes von digitalen Unterstützungsangeboten im Technikunterricht erklären.

TPK1: Ich kann digitale Medien auswählen, die für die aktuelle Klassenstufe der Schülerinnen und Schüler geeignet sind.

TPK2: Ich kann erklären, wie ich digitale Medien in meinem geplanten Technikunterricht einsetzen kann.

TPK3: Ich kann begründen, wie ein Klassenzimmer, das mit digitalen Medien ausgestattet ist, zu verwalten ist.

TPK4: Ich kann die Fragen der Schülerinnen und Schüler zum Einsatz digitaler Medien in meinem Technikunterricht beantworten.

TPK5: Ich kann digitale Medien einsetzen, um meinen Technikunterricht produktiver zu gestalten.

TPK6: Ich kann erläutern, wie digitale Medien das Lernen der Schülerinnen und Schüler beeinflussen.

TPACK1: Ich kann digitale Medien einsetzen, um die Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler im Technikunterricht zu diagnostizieren.

TPACK2: Ich kann digitale Medien einsetzen, um den Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler im Technikunterricht zu beurteilen.

TPACK3: Ich kann mein technologisches Wissen, mein inhaltliches Wissen und mein pädagogisches Wissen zusammen anwenden, um eine effektive Lernumgebung zu schaffen.

TPACK4: Ich kann qualitativ gute Verlaufspläne für meinen Technikunterricht entwickeln, indem ich mein technologisches Wissen, mein inhaltliches Wissen und mein pädagogisches Wissen miteinander kombiniere.

TPACK5: Ich kann digitale Medien einsetzen, um das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler über technische Phänomene und Prozesse einzuschätzen.

TPACK6: Ich kann digitale Medien einsetzen, um Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler über technischen Phänomene und Prozesse zu diagnostizieren.

CxK1: Ich berücksichtige in meinem Technikunterricht den sozioökonomischen und kulturellen Hintergrund der Schülerinnen und Schüler.

CxK2: Ich berücksichtige in meinem Technikunterricht die Gegebenheiten meines Lehr- und Lernraums.

CxK3: Ich berücksichtige in meinem Technikunterricht die Gegebenheiten meiner Schule.

CxK4: Ich unterstütze meine Kollegen dabei technologisches Wissen, pädagogisches- und inhaltliches Wissen miteinander zu verbinden.

CxK5: Ich berücksichtige in meinem Technikunterricht das häusliche Umfeld der Schülerinnen und Schüler.



## Literaturverzeichnis

- 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>
- Alrwaished, N., Alkandari, A. & Alhashem, F. (2017). Exploring In- and Pre-Service Science and Mathematics Teachers' Technology, Pedagogy, and Content Knowledge (TPACK): What Next? *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(9). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.01053a>
- Archambault, L. & Crippen, K. (2009). Examining TPACK among K-12 online distance educators in the United States. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 71–88.
- Bartenschlager, J. & Dillinger, J. (2013). *Fachkunde Metall* (Europa-Fachbuchreihe für metalltechnische Berufe, 57., neu bearb. Aufl.). Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer. Verfügbar unter: <http://www.europa-lehrmittel.de/leseprobe/1464/10129-57.pdf>
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.
- Baya'a, N. & Daher, W. (2015). The Development of College Instructors' Technological Pedagogical and Content Knowledge. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 1166–1175. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.733>
- Bienhaus, W. (2018). *Das Fachraumssystem des allgemein-bildenden Technikunterrichts. Hinweise zur Planung - Anlage - Einrichtung - Ausrüstung* (1. Auflage). Konstanz: Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH et Co. KG.
- Bilici, S. C., Yamak, H., Kavak, N. & Guzey, S. S. (2013). Technological Pedagogical Content Knowledge Self-Efficacy Scale (TPACK-SeS) for Pre-Service Science Teachers: Construction, Validation, and Reliability. *Eurasian Journal of Educational Research*, 52, 37–60.
- Borgenheimer, B. (2014). *Lernen mit Simulationen. Eine Untersuchung zur Steigerung der Lerneffektivität beim Lernen mit Simulationen durch den Einsatz von Lernstrategien* (Schriftenreihe computergestütztes Lernen, Bd. 13). Zugl.: Freiburg (Breisgau), Pädag. Hochsch., Diss., 2014. Hamburg: Kovač.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation*. New York: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32–42. <https://doi.org/10.3102/0013189X018001032>
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (Psychologie, 3., aktualisierte & erw. Aufl.). München, Boston [u.a.]: Pearson Studium. Verfügbar unter: <http://lib.mylibrary.com/detail.asp?id=404890>
- Campbell, D. T. & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Boston [u.a.]: Houghton Mifflin Company.
- Chai, C. S., Koh, J. H. L. & Tsai, C.-C. (2010). Facilitating Preservice Teachers' Development of Technological, Pedagogical, and Content Knowledge (TPACK). *Educational Technology & Society*, 13, 63–73.
- Chai, C. S., Koh, J. H. L. & Tsai, C.-C. (2013). A Review of Technological Pedagogical Content Knowledge. *Educational Technology & Society*, 16(2), 31–51.
- Cochran, W. G. (1954). The Combination of Estimates from Different Experiments. *Biometrics*, 10(1), 101. <https://doi.org/10.2307/3001666>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.
- Costello, A. B. & Osborne, J. (2005). Best Practices in Exploratory Factor Analysis: Four Recommendations for Getting the Most From Your Analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 10, 1–9.
- Ergen, B., Yanpar Yelken, T. & Kanadli, S. (2019). A Meta-Analysis of Research on Technological Pedagogical Content Knowledge by Gender. *Contemporary Educational Technology*, 10(4). <https://doi.org/10.30935/cet.634182>
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E. & Hyun, H. H. (2018). *How to design and evaluate research in education* (Tenth edition). New York: McGraw-Hill Education.
- Fritz, A. & Hoischen, H. (Hrsg.). (2018). *Hoischen/Technisches Zeichnen. Grundlagen, Normen, Beispiele, Darstellende Geometrie. Fachbuch* (Hoischen, 36., überarbeitete und aktualisierte Auflage). Berlin: Cornelsen Verlag.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical Content Knowledge: An Introduction and Orientation. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Hrsg.), *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education* (S. 3–17). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Ghomi, M., Dictus, C., Pinkwart, N. & Tiemann, R. (2020). DigCompEdu für MINT - Konkretisierung der digitalen Kompetenz von MINT-Lehrkräften. *k:ON - Kölner Online Journal für Lehrer\*innenbildung*, 1(1), 1–22. <https://doi.org/10.18716/ojs/kON/2020.1.1>
- Girwidz, R. & Hoyer, C. (2018). Didaktische Aspekte zum Einsatz digitaler Medien – Leitlinien zum Lehren mit Multimedia, veranschaulicht an Beispielen. In J. Meßinger-Koppelt & Maxton-Küchenmeister J. (Hrsg.), *Naturwissenschaften Digital. Toolbox für den Unterricht*. (S. 6–24). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Goreth, S. (2017). *Erfassung und Modellierung professioneller Unterrichtswahrnehmung angehender Lehrkräfte im technikbezogenen Unterricht* (Beiträge zur Technikdidaktik, Bd. 4). Berlin: Logos.
- Goreth, S., Krebs, A.-K. & Windelband, L. (2021). Diversitätskompetenz im technischen Unterricht der Sekundarstufe – Mixed Method Design innerhalb des Projektes Teaching MINTD. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 9(1), 54–73. Bd. 9 Nr. 1 (2021): <https://doi.org/10.48513/JOTED.V9I1.223>
- Goreth, S., Rehm, M. & Geißel, B. (2016). Richtig Handeln in Entscheidungssituationen des Technikunterrichts - Instrumentenkonstruktion und empirische Befunde professioneller Unterrichtswahrnehmung. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 4(2), 13–40.
- Goreth, S. & Schray, H. (2016). Ineraktive Whiteboards für den Technikunterricht – eine Orientierungshilfe über eine vielfältige Angebotslandschaft. *tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht*, 41(162), 38–47.
- Gorsuch, R. L. (1983). *Factor analysis* (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates. Retrieved from <http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1195756>
- Graham, C. R. (2011). Theoretical considerations for understanding technological pedagogical content knowledge (TPACK). *Computers & Education*, 57(3), 1953–1960. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.04.010>
- Haffer, R. (2012). *Grundkenntnisse Industrielle Metallberufe nach Lernfeldern* (5, durchges. Aufl.). Hamburg: Verlag Handwerk u. Technik.
- Harris, J. B. & Hofer, M. J. (2011). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in Action. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(3), 211–229. <https://doi.org/10.1080/15391523.2011.10782570>
- Helling, K. (2008). *Umwelt Technik kompakt* (1. Aufl., [Nachdr.]. Stuttgart, Leipzig: Klett.
- Hüttner, A. (2009). *Technik unterrichten. Methoden und Unterrichtsverfahren im Technikunterricht* (Bibliothek der Schulpraxis, 3. Aufl., 1. Dr). Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer.
- Jang, S.-J. & Tsai, M.-F. (2012). Exploring the TPACK of Taiwanese elementary mathematics and science teachers with respect to use of interactive whiteboards. *Computers & Education*, 59(2), 327–338. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.02.003>
- Jeffries, C. & Meader, D. W. (2011). Comparing vignette instruction and assessment task to classroom observation and reflections. *The Teacher Educator*, 46(2), 161–175.
- 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., Shin, T. S. & Mishra, P. (2012). How do we measure TPACK? Let me count the ways. In C. R. Rakes, M. Niess & R. N. Ronau (Eds.), *Educational technology, teacher knowledge, and classroom impact. A research handbook on frameworks and approaches* (S. 16–31). Hershey, Pa: IGI Global (701 E. Chocolate Avenue Hershey Pennsylvania 17033 USA).
- Koh, J. H. L., Chai, C. S. & Tsai, C.-C. (2013). Examining practicing teachers' perceptions of technological pedagogical content knowledge (TPACK) pathways: a structural equation modeling approach. *Instructional Science*, 41(4), 793–809. <https://doi.org/10.1007/s11251-012-9249-y>
- Kotzebue, L. von, Franke, U., Schultz-Pernice, F., Aufleger, M., Neuhaus, B. J. & Fischer, F. (2020). Kernkompetenzen von Lehrkräften für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt: Veranschaulichung des Rahmenmodells am Beispiel einer Unterrichtseinheit aus der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) - Biologie Lehren und Lernen*, (24), 29–47. <https://doi.org/10.4119/ZDB-1735>
- Lehtinen, A., Nieminen, P. & Viiri, J. (2016). Preservice teachers' TPACK beliefs and attitudes toward simulations. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 16(2), 151–171.
- Lin, T.-C., Tsai, C.-C., Chai, C. S. & Lee, M.-H. (2013). Identifying Science Teachers' Perceptions of Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK). *Journal of Science Education and Technology*, 22(3), 325–336. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9396-6>
- Lindmeier, A. M., Heinze, A. & Reiss, K. (2013). Eine Machbarkeitsstudie zur Operationalisierung aktionsbezogener Kompetenz von Mathematiklehrkräften mit videobasierten Maßen. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 34(1), 99–119. <https://doi.org/10.1007/s13138-012-0046-6>

- Mayer, P. & Girwidz, R. (2019). Physics Teachers' Acceptance of Multimedia Applications—Adaptation of the Technology Acceptance Model to Investigate the Influence of TPACK on Physics Teachers' Acceptance Behavior of Multimedia Applications. *Frontiers in Education*, 4. <https://doi.org/10.3389/educ.2019.00073>
- Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2016). *Bildungsplan 2016. Technik Wahlpflichtfach*. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag.
- 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>
- Nepper, H. H. (2019). *Die situierte Fehlersuche an elektronischen Schaltungen im Anschluss an den Cognitive Apprenticeship Ansatz* (Beiträge zur Technikdidaktik, Band 5). Berlin: Logos Verlag Berlin.
- Puentedura, R. (2006). Transformation, Technology, and Education. Zugriff am 03.05.2021. Verfügbar unter: <http://hippasus.com/resources/tte/>
- Porras-Hernández, L. H. & Salinas-Amescua, B. (2013). Strengthening Tpack: A Broader Notion of Context and the Use of Teacher's Narratives to Reveal Knowledge Construction. *Journal of Educational Computing Research*, 48(2), 223–244. <https://doi.org/10.2190/EC.48.2.f>
- Rauner, F. (1986). *Elektrotechnik-Grundbildung: Überlegungen zur Techniklehre im Schwerpunkt Elektrotechnik der Kollegschule*. Soest: Landesinst. für Schule und Weiterbildung.
- Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators. DigCompEdu (EUR, Scientific and technical research series, Bd. 28775). Luxembourg: Publications Office.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. Verfügbar unter: <http://www.doabooks.org/doab?func=fulltext&rid=15084>
- Rosenberg, J. M. & Koehler, M. J. (2015). Context and Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): A Systematic Review. *Journal of Research on Technology in Education*, 47(3), 186–210. <https://doi.org/10.1080/15391523.2015.1052663>
- Sachs, B. (2001). Technikunterricht - Bedingungen und Perspektiven. *tu - Zeitschrift für Technik im Unterricht*, 26(100), 5–12.
- Sahin, I. (2011). Development of Survey of Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK). *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 10(1), 97–105.
- Schabacker, M. (2011). *SolidWorks - kurz und bündig. Grundlagen für Einsteiger* (Studium, 2., aktualisierte Auflage). Wiesbaden: Vieweg+Teubner. <https://doi.org/10.1007/978-3-8348-8161-8>
- Schäfer, P., Link, N. & Walker, F. (2020). Assessing Professional Knowledge of Teachers at Vocational Schools - Using the Example of a Professional Development for Automation and Digitized Production. In E. Wuttke & J. Seifried (Hrsg.), *Vocational Education and Training in the Age of Digitization* (S. 131–154). Opladen, Berlin, Toronto: VERLAG BARBARA BUDRICH.
- 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>
- Schmayl, W. (2013). *Didaktik allgemeinbildenden Technikunterrichts* (2., durchges. Aufl.). Baltmannsweiler Schneider-Verl. Hohengehren.
- Schmechtig, N., Puderbach, R., Schellhammer, K. & Gehrman, A. (2020). *Einsatz von und Umgang mit digitalen Medien und Inhalten in Unterricht und Schule. Befunde einer Lehrkräftebefragung zu beruflichen Erfahrungen und Überzeugungen von Lehrerinnen und Lehrern in Sachsen 2019*. Dresden: ZLSB.
- Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J. & Shin, T. S. (2009). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). *Journal of Research on Technology in Education*, 42(2), 123–149.
- Schmidt, R. (2020). *ICT-Professionalisierung und ICT-Beliefs: Professionalisierung angehender Lehrpersonen in der digitalen Transformation und ihre berufsbezogenen Überzeugungen über digitale Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT)*. University of Basel. <https://doi.org/10.5451/UNIBAS-007196575>
- Shavelson, R. J. & Bolus, R. (1982). Self-concept: The interplay of theory and methods. *Journal of Educational Psychology*, 74(1), 3–17.
- Shin, T. S., Koehler, M. J., Mishra, P., Schmidt, D. A., Baran, E. & Thompson, A. D. (2009). Changing Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) through Course Experiences. *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, 4152–4159.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.

- Straub, F. (2017). Die Bedeutsamkeit der Konstruktionsaufgabe im Technikunterricht. *tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht*, 42(165), 10–17.
- Straub, F. (2020). *Erfassung fachdidaktischer Kompetenzfacetten angehender Lehrpersonen technikbezogenen Unterrichts. Empirische Untersuchungen zur Erweiterung und längsschnittlichen Erprobung des Vignettestinstrumentes PCK-T* (Beiträge zur Technikdidaktik, Bd. 7). Berlin: Logos.
- Straub, F., Geißel, B. & Rehm, M. (2018). Entwicklung technikedidaktischer Kompetenzfacetten im Verlauf schulpraktischer Studien. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 6(4), 106–132.
- Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2007). *Using multivariate statistics* (5th ed., International ed.). Boston: Pearson/Allyn & Bacon.
- Tenberg, R. (2020). Editorial: Grundständige digitale Lehrpersonenbildung – nicht in Sicht. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 8(1), 16–32.
- Tuncer, M. & Dikmen, M. (2018). Cinsiyetin tekno-pedagojik alan bilgis i uzerindeki etkisini in meta-analiz yontemiyle arastirilmesi. *Firat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 28(1), 85–92. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.387808>
- Van Ackeren, I., Aufenanger, S., Eickelmann, B., Friedrich, S., Kammerl, R., Knopf, J. et al. (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>
- Vincent, S. & Janneck, M. (2012). Das Technikbezogene Selbstkonzept von Frauen und Männern in technischen Berufsfeldern: Modell und empirische Anwendung. *Psychologie des Alltagshandelns*, 5(1), 53–67.
- Walker, F., Kuhn, J., Hauck, B., Ulber, R., Hirth, M., Molz, A. et al. (2017). Erfassung von technologisch-pädagogischem Inhaltswissen in Lehrerfortbildungen zum naturwissenschaftlich-technischen Experimentieren unter Entwicklung und Verwendung neuer Smartphone-Experimente: Erste Ergebnisse einer Pilotierung. *Lehrerbildung auf dem Prüfstand*, 10(1), 1–18.
- Walker, F. & Link, N. (2021). Entwicklung und Evaluierung eines Fortbildungskonzepts für Lehrkräfte an berufsbildenden Schulen im Bereich Industrie 4.0. In K. Wilbers & L. Windelband (Hrsg.), *Lernfabriken an beruflichen Schulen. Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven* (Blaue Reihe, Bd. 26, 4. Auflage, S. 175–195). Berlin: epubli.
- 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>
- Weich, A., Koch, K. & Othmer, J. (2020). Medienreflexion als Teil „digitaler Kompetenzen“ von Lehrkräften? Eine interdisziplinäre Analyse des DigCompEdu-Modells. *k:ON - Kölner Online Journal für Lehrer\*innenbildung*, 1(1), 43–64. <https://doi.org/10.18716/ojs/kON/2020.1.3>
- Weigand, H.-G., Filler, A., Hölzl, R., Kuntze, S., Ludwig, M., Roth, J. et al. (2014). *Didaktik der Geometrie für die Sekundarstufe I* (Mathematik Primarstufe und Sekundarstufe I + II, 2., verb. Aufl. 2014). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37968-0>
- Wolff, H.-G. & Bacher, J. (2010). Hauptkomponentenanalyse und explorative Faktorenanalyse. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 333–365). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-92038-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-531-92038-2_15)

JUN.-PROF. DR. NICO LINK

Technische Universität Dresden, Institut für Berufspädagogik und berufliche Didaktiken, Juniorprofessur für Mechatronik/berufliche Didaktik (TT)

Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

[nico.link@tu-dresden.de](mailto:nico.link@tu-dresden.de)

DR. HANNES HELMUT NEPPER

Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Institut für Bildung, Beruf und Technik, Abteilung Technik

Oberbettringer Straße 200, 73525 Schwäbisch Gmünd

[hannes.nepper@ph-gmuend.de](mailto:hannes.nepper@ph-gmuend.de)

---

Zitieren dieses Beitrags:

Link, N. & Nepper, H. M. (2021). TPACK-Professionswissen im Technikunterricht. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 9(2), 142–167.