Überzeugungen österreichischer Gymnasiallehrkräfte zum Zusammenspiel von Technologieeinsatz und prozeduralem Wissen

CHRISTOPH ABLEITINGER, WIEN; CHRISTIAN DORNER, GRAZ

Der vorliegende Artikel beschäftigt sich mit der Frage, welche Überzeugungen Mathematiklehrkräfte von AHS-Maturaklassen zum Technologieeinsatz im Unterricht und zum Lernen von Mathematik an sich haben, wie sich diese Überzeugungen auf die Häufigkeit der Technologienutzung im Unterricht auswirken und welche Zusammenhänge es zum prozeduralen Wissen ihrer Schüler*innen am Ende der Sekundarstufe II gibt. Die durchgeführte Erhebung unter 25 Lehrkräften zeigt, dass im Wesentlichen ausschließlich die prinzipielle, selbst eingeschätzte Technologieaffinität von Lehrer*innen dazu führt, dass digitale Werkzeuge häufiger verwendet werden. Während in anderen Publikationen nachgewiesen werden konnte, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Technologienutzungshäufigkeit und dem prozeduralen Wissen der Schüler*innen gibt, zeigt sich in den hier vorliegenden Daten, dass die Schüler*innen, deren Lehrkräfte einem technologiefreien Teil bei der Matura eher zustimmen, über mehr prozedurales Wissen verfügen.

1. Einleitung

Diskussionen über die Häufigkeit der Einsatzes von Technologie im Mathematikunterricht bewegen sich im Wesentlichen zwischen zwei Polen: Einerseits wird über mangelnde operative Fertigkeiten von Studienanfänger*innen an Hochschulen (Matyas & Drmota 2018) geklagt und die Schuld beim zunehmenden Einsatz technologischer Hilfsmittel (graphikfähige Taschenrechner bzw. GeoGebra) gesehen, andererseits befindet sich derzeit das Schulsystem im Umbruch, weil sich die in der Gesellschaft stattfindende Digitalisierung auch im Schulunterricht niederschlagen soll (BMBWF 2023a). Das fordert beispielsweise die deutsche Kultusministerkonferenz, wenn von der verbindlichen Nutzung höherwertiger Technologie im Unterricht die Rede ist (KMK 2009). Im neuen österreichischen Mathematik-Lehrplan für die Sekundarstufe I spiegelt sich diese Diskussion wider, hier wird eine „Balance“ gefordert zwischen der Nutzung digitaler Technologien und manuell-operativer Fertigkeiten (BMBWF 2023b).

Die fortschreitende Entwicklung von Mathematiksoftware, die passgenau für die Anwendung im Mathematikunterricht konzipiert wurde (insbesondere GeoGebra), hat dazu beigetragen, dass sich die Zielsetzungen des Mathematikunterrichts verändert haben. Das Auslagern von operativen Anteilen an digitale Werkzeuge schafft Freiräume für andere Tätigkeiten wie das Modellieren, das Argumentieren und das Interpretieren. Dynamische Geometriesoftware bereitet neue Möglichkeiten für das experimentelle Entdecken mathematischer Zusammenhänge und das Aufstellen von Vermutungen. Insofern wurde in die Technologie die große Hoffnung gesetzt, einen Beitrag zum Erwerb konzeptuellen Wissens und tieferen Verstehens zu leisten. Für die didaktische Umsetzung all dieser Ideen wurden in den letzten Jahren zahlreiche Fortbildungsinitiativen für österreichische Mathematiklehrkräfte umgesetzt.

Auf der anderen Seite zeigt sich, dass an tertiären Bildungseinrichtungen immer noch großer Wert auf operative Fertigkeiten gelegt wird. Das ist kein österreichisches Spezifikum, auch international zeigt sich, dass gerade im MINT-Bereich prozedurales Wissen sowohl beim Lehren als auch bei Prüfungen eine bedeutende Rolle spielt (Bergquist 2007, Bergsten et al. 2017, Engelbrecht et al. 2009).

In Österreich hat das dazu geführt, dass mit dem Maturatermin Mai 2028 ein technologiefreier Teil bei der standardisierten Reifeprüfung eingeführt wird, auch um dem „Rechnen ohne Taschenrechner“ wieder mehr Raum zu geben (BMBWF 2022). Die Neukonzeption der Matura wurde durch die Beratungsgruppe Mathematik erarbeitet, der auch aktive Lehrkräfte angehören. Abgesehen davon gibt es aber wenig Informationen und erst recht keine wissenschaftlichen Erhebungen dazu, welche Überzeugungen österreichische Mathematiklehrkräfte zum Einsatz von Technologie bzw. dem damit in Verbindung ste-

Schriftenreihe zur Didaktik der Mathematik der Österreichischen Mathematischen Gesellschaft (ÖMG), Heft 55, 2023, S. 1-14.

henden Lernen von Mathematik haben. Bis auf einzelne Statements zur vermuteten Wirkung des Technologieeinsatzes wie „Vor allem mathematisch weniger begabte Schüler verlieren die ‚Bodenhaftung' und klopfen alles mit der SOLVE-Funktion in ihre Rechner" (Mathematiklehrkraft im Standard 2019) in Zeitungsartikeln, findet man keine öffentlichen Aussagen dazu. Diesem Mangel wollen wir mit der vorliegenden Studie begegnen, indem wir die Überzeugungen von Lehrkräften von AHS-Maturaklassen strukturiert erheben und in Verbindung mit der tatsächlichen Technologienutzungshäufigkeit in der Klasse und dem prozeduralen Wissen der entsprechenden Schüler*innen setzen.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Abschnitt werden die in der empirischen Studie verwendeten Begriffe geklärt. Das betrifft zuerst die Überzeugungen der Lehrkräfte zur Technologie und ihren Einsatz in der Schule, danach generelle *Beliefs* von Lehrkräften zum Lernen von Mathematik und schließlich die Konzeptualisierung prozeduralen Wissens für die Auswahl geeigneter Testitems.

2.1 Überzeugungen zum Technologieeinsatz

Überzeugungen von Lehrer*innen zur Technologie an sich und zu ihrem Einsatz im Mathematikunterricht spielen bei der Entscheidung darüber, wie häufig und zu welchem Zweck sie im Unterricht genutzt wird, eine zentrale Rolle. Seit etwa 2000 wurden deshalb qualitative Studien zu technologiebezogenen Überzeugungen von Mathematiklehrkräften durchgeführt (z. B. Doerr & Zangor 2000; Drijvers et al. 2010). Quantitative Erhebungen gab es erst danach, im deutschsprachigen Raum vorangetrieben durch die Entwicklung eines geeigneten, validierten Messinstruments durch Thurm et al. (2017), das wir auch im Rahmen der vorliegenden Studie verwenden.

Unter den Begriff Technologie fallen in der vorliegenden Arbeit digitale Mathematikwerkzeuge (vgl. KMK 2012), dazu zählen wissenschaftliche und graphikfähige Taschenrechner, dynamische Geometrie-Software, Computeralgebra-Systeme und Tabellenkalkulationsprogramme (vgl. Heintz et al. 2014). Es werden in der Literatur zahlreiche Vorteile bzw. Potenziale des Technologieeinsatzes im Mathematikunterricht genannt und diskutiert, z.B. das Auslagerungsprinzip oder die mögliche Betonung des Entdeckens bzw. Problemlösen im Lernprozess. Im Zusammenhang mit prozeduralem Wissen wird umgekehrt die Befürchtung geäußert, wonach durch zu häufigen Technologieeinsatz mathematische Grundfertigkeiten nicht mehr technologiefrei ausgeführt werden können (Handal et al. 2011). Dennoch sind für die Entscheidung über die Häufigkeit und die Art des Einsatzes von Technologie im Mathematikunterricht weniger solche Studienergebnisse relevant, als die Überzeugungen der Lehrkräfte, die das Handeln im Unterricht nachweislich beeinflussen (Baumert & Kunter 2006).

Dem Messinstrument von Thurm et al. (2017) liegt das Konstrukt der *technologiebezogenen Überzeugungen* zugrunde. Überzeugungen fassen sie entsprechend Philipp (2007) als kaum veränderbar und überwiegend kognitiv auf:

> *"Psychologically held understandings, premises, or propositions about the world that are thought to be true. Beliefs are more cognitive, are felt less intensely, and are harder to change than attitudes. Beliefs might be thought of as lenses that affect one's view of some aspect of the world or as dispositions toward action. Beliefs, unlike knowledge, may be held with varying degrees of conviction and are not consensual. Beliefs are more cognitive than emotions and attitudes."* (Philipp 2007, S. 259 zitiert nach Thurm et al. 2017, S. 3-4)

Durchaus haben diesem Verständnis nach Überzeugungen auch eine affektive Komponente, d. h. sie beeinflussen das Handeln der Lehrperson im Unterricht. Bei *technologischen Überzeugungen* halten wir uns ebenfalls an Thurm et al. (2007), die darunter jene Überzeugungen verstehen, *„die sich auf den Einsatz von Technologie als Objekt der Überzeugungen* […] *beziehen"* (Thurm et al. 2017, S. 3).

2.2 Überzeugungen zum Lernen von Mathematik

Überzeugungen bzw. *Beliefs* (hier synonym verwendet) von Lehrkräften zum Mathematiklernen kommt nachweislich für die Unterrichtsgestaltung und generell ihr berufliches Handeln eine große Bedeutung zu (Reusser & Pauli 2014, Bråten 2010). In der Forschung zu *Beliefs* wird seit vielen Jahrzehnten um einheitliche Begriffe gerungen. In diesem Zusammenhang spricht Pajares (1992) von einem „messy construct", das in unterschiedlichen Studien sehr unterschiedlich konzeptualisiert und operationalisiert wird. Durchgesetzt hat sich zumindest die Klassifikation in epistemologische, personenbezogene und kontextbezogene *Beliefs* (Oser & Blömeke 2012, Hofer & Pintrich 1997). Die für unsere Studie relevanten Überzeugungen betreffen die Lernprozesse der Schüler*innen und sind demnach den epistemologischen *Beliefs* zuzuordnen.

Bei der internationalen Vergleichsstudie TEDS-M (Teacher Education and Development Study in Mathematics) zur Wirksamkeit der Lehrer*innenausbildung wurden Überzeugungen zur Natur des Fachs Mathematik erhoben, wobei zwischen einer statischen (kalkülbezogene Aspekte der Mathematik) und einer dynamischen (prozesshafter Charakter der Mathematik) Perspektive unterschieden wurde (Blömeke et al. 2012). Bei den *Beliefs* zum Lernen von Mathematik wurde zwischen konstruktivistischen (schüler*innenorientiert, kognitiv aktivierend, vgl. Peterson et al. 1989) und eher transmissionsorientierten (lehrer*innengesteuerte Vermittlung, standardisierte Verfahren) Sichtweisen differenziert. Diese Unterscheidung spielt im Zusammenhang mit prozeduralem Wissen eine bedeutende Rolle, da es dabei gerade um das direktive Abarbeiten vorgegebener Prozeduren geht. Es ist daher von Interesse zu untersuchen, inwieweit bestimmte Überzeugungen von Lehrkräften in dieser Hinsicht Einfluss auf die Ausrichtung des Unterrichts und damit auf das prozedurale Wissen ihrer Schüler*innen haben.

2.3 Prozedurales Wissen

Der Begriff „Prozedurales Wissen" wird im wissenschaftlichen Alltag oft synonym zu Begriffen wie „Operatives Arbeiten" oder „Rechenfertigkeiten" verwendet. Für eine empirische Erhebung prozeduralen Wissens und die damit verbundene Entwicklung bzw. Auswahl passender Testitems ist allerdings eine genaue begriffliche Fassung erforderlich. Wir beziehen uns bei der Beschreibung von Prozeduren auf die Arbeit von Hiebert und Lefevre (1986), die als ihre zentrale und charakterisierende Eigenschaft das Abarbeiten einer vorbestimmten linearen Abfolge von Schritten sehen. Eine Prozedur ist in diesem Sinn eine Schritt-für-Schritt-Anweisung, die angibt, wie ein spezieller Typ von Aufgabe zu lösen ist. Bei der Erstellung von Items ist demnach darauf zu achten, dass die in der Aufgabe relevante Prozedur aus dem Unterricht bekannt ist, dass die Proband*innen das Lösungsverfahren nicht selbst auswählen müssen/können (dazu wäre prozedurale Flexibilität nötig, vgl. Rittle-Johnson et al. 2012) und dass der intendierte Lösungsprozess möglichst deterministisch und seriell abzuarbeiten ist.

Aufbauend darauf differenziert Altieri (2016) prozedurales Wissen aus in Kalkülkenntnis (Kenntnis der spezifischen Prozedur, um entsprechende Aufgaben zu lösen) und Kalkülfertigkeit (notwendige Fertigkeiten, um Kalkülkenntnis fallspezifisch korrekt und in angemessener Zeit anzuwenden). Während Kalkülkenntnis also aufgabenspezifisch ist, umfasst Kalkülfertigkeit mathematische Fertigkeiten, die beim Abarbeiten unterschiedlicher Prozeduren notwendig sind (z. B. algebraische Umformungen, Bruchrechnen, Einsetzen in einer Formel, etc.)

3 Stand der Forschung

Dieser Abschnitt widmet sich Forschungsergebnissen aus Studien zu prozeduralem Wissen von Schüler*innen, zum Technologieeinsatz im Mathematikunterricht und zu Überzeugungen von Mathematiklehrkräften.

3.1 Prozedurales Wissen

Die Suche nach wissenschaftlichen Arbeiten, die rein prozedurales Wissen von Schüler*innen erheben, gestaltet sich schwierig. Die meisten Publikationen berichten von mathematischen Leistungen im Allgemeinen und differenzieren nicht zwischen den Wissensarten. Man denke an PISA oder TIMSS, die im großen Stile Bildungssysteme und eben auch mathematische Leistungen von Schüler*innen vergleichen. Hier obliegt es einzelnen Wissenschaftler*innen, sich die Daten nochmals genauer anzuschauen. Neubrand et al. (2002) bzw. Neubrand (2013) haben durch eine Differenzierung der PISA-Aufgaben in „technische Aufgaben", „rechnerische Modellierungsaufgaben" und „begriffliche Modellierungsaufgaben" Schwierigkeitsmerkmale zu diesen Typen auf Basis der Ergebnisse der deutschen Schüler*innen im Jahr 2000 ermittelt. Die Schwierigkeitsgenerierung bei „technische Aufgaben", die im Wesentlichen prozedurales Wissen im Sinne von Altieri (2016) abprüfen, hängt einzig und allein von der curricularen Wissensstufe ab, also der Zuordnung der Aufgabe zu den jahrgangsmäßig aufgelisteten Stoffgebieten im Lehrplan: Je später eine Aufgabe im Lehrplan verortet werden kann, desto schwerer fällt den Schüler*innen die Lösung dieser Aufgabe. Zielgruppe der Testungen im Rahmen von PISA sind Schüler*innen im Alter von 15 bzw. 16 Jahren. Aussagen über das prozedurale Wissen österreichischer Schüler*innen am Ende der Sekundarstufe lassen sich also mit Hilfe der PISA-Testungen nicht treffen.

In Deutschland wurde festgestellt, dass Studieneingangstests mathematiklastiger Studiengänge an Universitäten vor allem prozedurales Wissen abtesten (Heinze et al. 2019). Von den Daten solcher Tests könnte man auf die Fähigkeiten der Schüler*innen am Ende der Sekundarstufe schließen, aber auch dazu gibt es keine veröffentlichten Ergebnisse österreichischer Universitäten. Erst das Projekt OFF („Operative Fähigkeiten und Fertigkeiten ohne den Einsatz technologischer Hilfsmittel am Ende der Schullaufbahn") nahm das prozedurale Wissen österreichischer Gymnasiast*innen in den Blick. Die Daten der ersten Erhebung im Jahr 2021 zeigen, dass die mittlere Lösungsquote der getesteten prozeduralen Aufgaben bei 36% liegt, Tab. 1 listet die getesteten Aufgaben dieser Erhebung auf, siehe Abschnitt 5.2. Die Autoren bezeichnen diese Quote als eher niedrig, weisen aber darauf hin, dass es keine älteren Vergleichswerte gibt (Dorner & Ableitinger 2022). Relativierend kann man aber sagen, dass prozedurale Aufgaben, die Expert*innen als wichtiger einschätzen (vierstufige Likert-Skala), im Sinne von „Schüler*innen der Abschlussklasse sollen die Aufgabe ohne Formelheft und ohne Taschenrechner lösen können" (1: ja, 2: eher ja, 3: eher nein, 4: nein), auch eine höhere Lösungsquote besitzen (Ableitinger & Dorner 2023). Des Weiteren konnten die Autoren die Ergebnisse von Neubrand et al. (2002) bestätigen, die Aufgabenschwierigkeit der prozeduralen Aufgaben hängt auch bei der OFF-Testung von der curricularen Wissensstufe ab.

3.2 Technologieeinsatz

Der Technologieeinsatz im Mathematikunterricht wurde bereits umfangreich beforscht. Vor allem Wirksamkeitsstudien waren und sind von regem Interesse. Der Einfluss der Technologienutzung auf mathematische Fähig- und Fertigkeiten stellte sich im Großen und Ganzen aber als kleiner als erhofft heraus (zusammengefasst in Drijvers et al. 2016). Wieder stehen bei diesen Analysen allgemeine mathematische Leistungen von Schüler*innen im Vordergrund. Kaum eine Studie fokussiert auf prozedurales Wissen.

Davon auszunehmen ist die Arbeit von Wynands (1984), er untersuchte die Auswirkungen eines gewöhnlichen (wissenschaftlichen) Taschenrechners auf die Rechenfertigkeiten von Schüler*innen am Ende der Sekundarstufe I. Es zeigte sich, dass Schüler*innen, die nach eigenen Angaben den Taschenrechner verwendeten, bei einer rechnerfreien Überprüfung keineswegs schlechter rechneten als Schüler*innen, die den Taschenrechner im Unterricht nicht verwendeten. Die Rechenleistungen wiesen laut Wynands (1984) ein eher niedriges Niveau auf, waren aber mit den Leistungen aus vortechnologischen Zeiten vergleichbar. Die derzeit häufig geäußerte Skepsis gegenüber höherwertiger Technologie bzw. digitaler Werkzeuge (CAS, DGS, etc.) erinnert an jene gegenüber dem gewöhnlichen Taschenrechner damals. Hierauf Bezug nehmend stellt Barzel (2012) in ihrer Metastudie klar, dass „rechnerfreie Fertigkeiten auch beim CAS-gestützten Unterricht zu erwerben sind“ (S. 39), diese Aussage stützt sie unter anderem auf die Ergebnisse einer kanadischen Studie (Kieran & Drijvers 2006) und auf den Schulversuch CAliMERO (Ingelmann 2009). Letztere Studie konnte nachweisen, dass durch ein speziell entwickeltes Unterrichtskonzept mathematische Grundfertigkeiten im CAS-gestützten Mathematikunterricht nicht verloren gehen. Insbesondere schnitten die Experimentalklassen bei Kopfrechentests gleich gut wie die Kontrollklassen ab (ebd.).

Um den derzeitigen Stellenwert der Technologienutzung in Österreichs Schulen einschätzen zu können, ist es von Interesse, in welchem Ausmaß (höherwertige) Technologie im Mathematikunterricht eingesetzt wird. Aus diesem Grund betrachten wir die Ergebnisse von Dorner und Ableitinger (2022), die den Zusammenhang zwischen Technologienutzungshäufigkeit und prozeduralem Wissen erforschten. Hier konnte kein Zusammenhang gefunden werden. Also Aussagen wie, je häufiger höherwertige Technologie im Unterricht verwendet wird, desto schlechter rechnen die Schüler*innen ohne diese Technologie, können auf Basis dieser Untersuchung nicht unterstützt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Lehrkraft bzw. die Schüler*innen höherwertige Technologie typischerweise durchschnittlich jeweils ca. einmal pro Woche in der Oberstufe einsetzten (siehe Fragen H1 und H2 in Abschnitt 5.2). Das gilt auch für die Hausübungen (siehe Frage H3 ebd.). Der Mythos vom omnipräsenten Technologieeinsatz beim Mathematiklernen lässt sich aus den repräsentativ erhobenen Daten für den Großteil der österreichischen Gymnasien nicht bestätigen (Dorner & Ableitinger 2022).

3.3 Überzeugungen von Mathematiklehrkräften

Untersuchungen zu Überzeugungen von Mathematiklehrkräften lassen sich als äußerst wertvoll bezeichnen, denn Baumert und Kunter (2006) zeigten, dass diese das jeweilige Handeln der Lehrpersonen im Unterricht beeinflussen. Darüber hinaus konnten auch Zusammenhänge zwischen den mathematischen Leistungen der Schüler*innen und den Überzeugungen ihrer Lehrkräfte gefunden werden (Stern, 2002). Studien zum Zusammenhang von Lehrer*innenbeliefs und ihrem professionellen Wissen gibt es ebenfalls. Beispielsweise konnten Blömeke et al. (2012) nachweisen, dass leistungsstärkere Lehrkräfte typischerweise konstruktivistische Überzeugungen zum Lernen von Mathematik und ein eher dynamisches Verständnis vom Fach Mathematik haben. Umgekehrt lassen sich bei leistungsschwächeren Lehrkräften eher ein transmissionsorientiertes Verständnis vom Lernen sowie eine statische Sichtweise auf Mathematik nachweisen. Dieser Forschungsrichtung folgen wir in unserer Studie, in der wir unter anderem den Zusammenhang zwischen Lehrer*innenüberzeugungen und der Ausprägung einer ganz speziellen Wissensart ihrer Schüler*innen, nämlich des prozeduralen Wissens, untersuchen. Im Rahmen der TEDS-M-Studie wurden auch Ländervergleiche durchgeführt. Lehrer*innen aus Deutschland, Norwegen und der Schweiz lehnen transmissive Überzeugungen zum Lernen von Mathematik ab, im Gegensatz zu Lehrkräften aus den Philippinen und Malaysia. Im Mittel liegt aber die Zustimmung zu konstruktivistischen Überzeugungen zum Lernen von Mathematik über alle Länder, die an der TEDS-M-Studie teilnahmen, recht hoch (Blömeke et al. 2010).

Zu *technologiebezogenen Überzeugungen* gibt es bereits einige qualitative Studien, welche eine große Bandbreite an Überzeugungen und handlungsleitende Funktionen der Überzeugungen aufzeigen. Quantitative Studien zu diesen Überzeugungen findet man jedoch kaum (Thurm et al. 2017).

4 Forschungsfragen

In den theoretischen Grundlagen wurden die Dimensionen „Überzeugungen zum Technologieeinsatz“, „Überzeugungen zum Lernen von Mathematik“ und „prozedurales Wissen“ diskutiert, die die Grundlage des vorliegenden Forschungsprojekts darstellen. Aus diesen Dimensionen und ihren wechselseitigen Zusammenhängen ergeben sich die folgenden Forschungsfragen:

1. Welche Überzeugungen zum Technologieeinsatz bzw. zum Lernen von Mathematik haben Lehrer*innen von Maturaklassen an AHS?
2. Wie hängen diese Überzeugungen mit dem prozeduralen Wissen der von diesen Lehrer*innen unterrichteten Schüler*innen zusammen?
3. Wie häufig verwenden Lehrkräfte und Schüler*innen höherwertige Technologie typischerweise in der Oberstufe und welche Zusammenhänge gibt es zu den diesbezüglichen Überzeugungen der Lehrkräfte?

5 Methode

In diesem Abschnitt beschreiben wir die verwendeten Erhebungsinstrumente (Fragebögen und prozedurale Items) und erläutern das Vorgehen bei der Stichprobenziehung.

5.1 Lehrer*innenfragebogen

Um *technologiebezogene Überzeugungen* von Lehrkräften im Sinne von Philipp (2007) zu erheben, bedarf es eines passenden validierten Fragebogens. Thurm et al. (2017) publizierten ein entsprechendes Erhebungsinstrument, welches aus umfangreichen Vor- und Pilotstudien sowie weiteren Analysen hervorging. Die aus halbstrukturierten Interviews erhaltenen 29 Überzeugungsdimensionen wurden durch eine Faktorenanalyse im Rahmen einer folgenden Pilotstudie auf 8 reduziert (Thurm et al, 2007 S. 4–5). Wir verwendeten das aus der erwähnten Studie vorgeschlagene, 23 Items umfassende Basismodell zur Erhebung fünf latenter Dimensionen *technologiebezogener Überzeugungen* bei Lehramtsstudierenden. Diese Dimensionen lauten (Abkürzungen werden bei den Auswertungen angeführt, siehe Abschnitt 6):

- Allgemein positive Grundeinstellung gegenüber Technologie [Tech]
- Vorteile [Vor]
- Zeitaufwand [Zeit]
- Nachteile [Nach]
- Erst Mathematik, dann Technologie [Erstmat]

Die Bezeichnungen sind aus unserer Sicht selbsterklärend, daher werden keine weiteren Erklärungen angeführt (für detaillierte Beschreibungen siehe Thurm et al. 2017). Die Entscheidung für das Basismodell für Lehramtsstudierende anstatt jenes für Lehrkräfte erfolgte bewusst, da ersteres Fragen zur allgemeinen positiven Grundeinstellung von Mathematiklehrkräften gegenüber Technologie enthält. Dies kann zwar einerseits als Limitation der Studie gesehen werden, andererseits sind Ergebnisse zur Grundeinstellung aufgrund mangelnder Daten in diesem Bereich und immer wieder zu hörender Thesen über die Einschätzungen der Lehrkräfte diesbezüglich von besonderem Interesse. Ein Item (T4) wurde aufgrund der in Österreich unüblichen Formulierung „Mit Technologie kann man mich jagen" zu „Mit Technologie möchte ich nichts zu tun haben" abgeändert.

Die Erhebung der Überzeugungen der Mathematiklehrkräfte zum Lernen von Mathematik erfolgte mit dem von Laschke und Schmotz (2014) publizierten Fragebogen, welcher bereits in der TEDS-M-Studie seinen Einsatz fand. Das 14 Items umfassende Erhebungsinstrument gliedert sich entsprechend dem in Abschnitt 2.2 erwähnten Konstrukt in zwei Kategorien „learning math through active learning" (passend zur konstruktivistisch orientierten Vermittlung, [Active]) und „learning math through teacher direction" (passend zur transmissionsorientierten lehrer*innengesteuerten Vermittlung, [Directive]).

Abschließend enthält der Fragebogen noch weitere sechs Items zum Maturakonzept. Dabei handelt es sich um selbsterstellte, nicht validierte Items, deren Ergebnisse aber dennoch interessieren. Zwei Aussagen, die wir hier in die Auswertung aufnehmen, lauten wie folgt:

K3 Zur Lösung von Typ-1-Aufgaben soll auch zukünftig ein gewöhnlicher Taschenrechner (TI-30) erlaubt sein.

K4 Zur Lösung von Typ-1-Aufgaben soll auch zukünftig höherwertige Technologie (GeoGebra, TI-Nspire, Casio ClassPad) erlaubt sein.

Alle abgefragten Aussagen der insgesamt 43 Items waren auf einer fünfstufigen Likert-Skala einzuschätzen (von 1 „trifft zu“ bis zu 5 „trifft nicht zu“).

5.2 Erhebung prozeduralen Wissens der Schüler*innen und Schüler*innenfragebogen

Das prozedurale Wissen von Schüler*innen der Abschlussklasse an österreichischen AHS wurde mit einem mehrfach validierten (Expert*innenvalidierung, konvergente Validierung und lautes Denken) Aufgabenpaket erhoben, für weitere Details siehe Dorner und Ableitinger (2022) und Ableitinger und Dorner (2023). Dieses Paket umfasst 24 Items und testet das prozedurale Wissen österreichischer Gymnasiast*innen am Ende der Sekundarstufe ab. Um die Arbeitszeit der Schüler*innen während der Erhebung zu reduzieren, bekam ein*e Schüler*in zwölf Aufgaben zu bearbeiten, siehe Bezeichnung PA und PB in Tab. 1.

Nr.	Beschreibung	Nr.	Beschreibung
PA01	Formel umformen	PB01	Brüche addieren
PA02	Binomische Formel anwenden	PB02	Dezimalzahlen dividieren
PA03	Lineare Gleichung lösen	PB03	Partiell wurzelziehen
PA04	Polynomdivision durchführen	PB04	In Gleitkommadarstellung umwandeln
PA05	Potenzrechenregeln anwenden	PB05	2x2 Gleichungssystem lösen (Einsetzungsverf.)
PA06	Bruchgleichung lösen	PB06	Wurzelgleichung lösen
PA07	2x2 Gleichungssystem lösen (Eliminationsverf.)	PB07	Biquadratische Gleichung lösen
PA08	Quadratische Gleichung lösen	PB08	Skalarprodukt berechnen
PA09	Kreuzprodukt (Vektorprodukt) berechnen	PB09	Linearkombination berechnen
PA10	Differenzenquotient berechnen	PB10	Differenzieren mittels Produktregel
PA11	Polynomfunktion ableiten	PB11	Differenzieren mittels Kettenregel
PA12	Partielle Integration durchführen	PB12	Bestimmtes Integral berechnen

Tab. 1 Aufgabenpaket zur Erhebung des prozeduralen Wissens von Schüler*innen der Abschlussklasse

Zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage benötigt es Fragestellungen zur Erhebung der Technologienutzungshäufigkeit. Es erschien sinnvoll, drei Nutzungsarten abzufragen:

H1 Wie häufig hat Ihr*e **Mathematiklehrer*in** in der Oberstufe typischerweise höherwertige Technologie (z.B. GeoGebra, Casio ClassPad, TI-Nspire) im Unterricht eingesetzt? (Gewöhnliche Taschenrechner sind hier nicht gemeint.)“

H2 „Wie häufig haben **Sie** in der **Schulübung** in der Oberstufe typischerweise höherwertige Technologie (z.B. GeoGebra, Casio ClassPad, TI-Nspire) eingesetzt? (Gewöhnliche Taschenrechner sind hier nicht gemeint.)“

H3 „Wie häufig haben **Sie** bei der **Hausübung** in der Oberstufe typischerweise höherwertige Technologie (z.B. GeoGebra, Casio ClassPad, TI-Nspire) eingesetzt? (Gewöhnliche Taschenrechner sind hier nicht gemeint.)“

Die Antwortmöglichkeiten lauten: „(fast) jede Mathematikstunde“ (H1 und H2) bzw. „(fast) bei jeder Hausübung“ (H3), „ca. 1 Mal pro Woche“, „ca. 1-2 Mal pro Monat“, „seltener als 1 Mal pro Monat“ und „nie“. Die zuerst angeführte Antwortmöglichkeit erhielt bei der Dateneingabe den Wert 1, die zweite den Wert 2, usw. (Dorner & Ableitinger, 2022, übersetzt).

5.3 Stichprobe, Datenerhebung und Auswertungsmethoden

Die hier präsentierten Ergebnisse entstammen der ersten Erhebung des Projekts OFF im Jahr 2021. Das Projekt hat sich u.a. das Ziel gesetzt, das prozedurale Wissen von Schüler*innen der Abschlussklasse an österreichischen Gymnasien zu erheben und über mehrere Jahre (mindestens bis zur Einführung eines technologiefreien Teils bei der zentralen Reifeprüfung) zu beobachten. Aus diesem Grund stellen alle Schüler*innen in Abschlussklassen an österreichischen AHS die gesamte Zielpopulation dar. Nach den Empfehlungen von Bartok und Steinfeld (2015) wurde eine repräsentative Stichprobe gezogen. Aus organisatorischen Gründen konnten nur gesamte Schulklassen getestet werden, eine Erhebung auf Schüler*innenebene war nicht möglich. Für das *Sampling Frame* wurde die dankenswerterweise vom österreichischen Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF) erhaltene Liste mit Schulcodes um die Stratifizierungsvariablen Bundesland, Schultyp und Urbanisierungsgrad ergänzt. Aus jedem Stratum wurden im Sinne des Probability-Proportional-to-Size-Verfahrens Schulen (inkl. Ersatzschulen, die bei Absagen der ursprünglich gezogenen Schulen an die Reihe kamen) gezogen. Nach den Zusagen der Schulen und den Genehmigungen der Bildungsdirektionen aller neun Bundesländer wurde die Genehmigung der Erziehungsberechtigten eingeholt. Es erklärten 538 Schüler*innen ihre Bereitschaft an der Erhebung im April 2021 teilzunehmen, schlussendlich erhielten wir 455 bearbeitete Aufgabenhefte und 25 Lehrer*innenfragebögen der Lehrpersonen der getesteten Schulklassen zurück.

Die hier präsentierten Ergebnisse umfassen Mittelwerte, Standardabweichungen und Korrelationskoeffizienten (nach Pearson) inklusive p-Werte.

6 Ergebnisse

Die Überzeugungen der an der Erhebung teilgenommen Mathematiklehrkräfte sind gemittelt in der Tab. 2 aufgelistet.

	Erstmat	Nach	Tech	Vor	Zeit	Active	Directive	K3	K4
m	2,17	2,25	2,05	2,06	4,04	1,50	3,67	2,52	4,00
s	0,78	0,62	0,81	0,65	0,73	0,44	0,35	1,36	1,44

Tab. 2 Mittelwerte (m) und Standardabweichungen (s) der einzelnen Kategorien der erhobenen Überzeugungen (Likert-Skala von 1 bis 5)

Die Ergebnisse zu den *technologiebezogenen Überzeugungen* werden zuerst angeführt. Zu Beginn wird die selbsteingeschätzte Technologieaffinität dargestellt. Hier beträgt der Mittelwert $m = 2{,}05$ [Tech] Es kann also behauptet werden, dass die Lehrkräfte sich im Durchschnitt eher als technologieaffin bezeichnen.

Wir betrachten nun Überzeugungen, die für einen Technologieeinsatz im Mathematikunterricht sprechen. In diesem Sinne eher zugestimmt wird bei Aussagen, dass Technologie *Entdeckendes Lernen* unterstützt als auch, dass mit Hilfe von Technologie viele Darstellungsformen genutzt werden können ($m = 2{,}06$, [Vor]). Ebenfalls in diese Kerbe schlägt der Mittelwert zu den Überzeugungen, dass der Einsatz von Technologie so viel Zeit kostet, dass sich die Einführung dieser gar nicht lohnt. Aussagen dazu werden eher abgelehnt ($m = 4{,}04$, [Zeit]).

Folgend sind nun Überzeugungen angeführt, die gegen einen Einsatz von Technologie gedeutet werden können. Die Lehrer*innen stimmen Aussagen, bei denen Technologie als eine Gefahr für das Beherrschen (händischer) Fertigkeiten darstellt, im Mittel eher zu. Das Verständnis betreffend sind die Lehrer*innen im Mittel davon überzeugt, dass Technologie zum unreflektierten Arbeiten verleitet ($m = 2{,}25$, [Nach]). In Bezug auf die unterrichtliche Vorgehensweise sind die Lehrkräfte durchschnittlich gesehen davon überzeugt, dass bei der Einführung in ein neues Thema auf Technologie verzichtet werden soll und erst wenn der Stoff hinreichend durchdrungen wurde, soll Technologie eingesetzt werden ($m = 2{,}17$, [Erstmat]).

Bei den Überzeugungen zum Lernen von Mathematik stimmen die Lehrpersonen Aussagen zu konstruktivistisch vermittelnden Methoden zu ($m = 1{,}50$, [Active]) und lehnen Aussagen zu lehrer*innengesteuerten Vermittlungen eher ab ($m = 3{,}67$, [Directive]), jeweils durchschnittlich gesehen.

Des Weiteren äußern sich die Lehrpersonen im Mittel eher für eine Verwendung eines gewöhnlichen (wissenschaftlichen) Taschenrechners bei Typ-1-Aufgaben im Rahmen der Reifeprüfung ($m = 2{,}52$, [K3]), während sie eher gegen die Verwendung höherwertiger Technologie bei Typ-1-Aufgaben sind ($m = 4{,}00$, [K4]).

Als nächstes wurden Korrelationen zwischen dem prozeduralen Wissen der Schüler*innen und den Überzeugungen ihrer jeweiligen Lehrkräfte betrachtet, siehe Tab. 3. Es fällt auf, dass nur eine einzige Korrelation signifikant ist ($r = 0{,}48$, [K3]): Je größer die Ablehnung der Lehrkraft zu der Aussage „Zur Lösung von Typ-1-Aufgaben soll auch zukünftig ein gewöhnlicher Taschenrechner (TI-30) erlaubt sein.“ ist, desto größer ist der prozedurale Score der Klasse dieser Lehrkraft. Die Korrelation bei K4 ist knapp nicht signifikant ($p = 0{,}06$), hier bezieht sich die Aussage auf den Einsatz höherwertiger Technologie bei Typ-1-Aufgaben. Bei keiner der erhobenen Kategorien zu *technologiebezogenen Überzeugungen* sowie bei keiner der erhobenen Kategorien zu Überzeugungen zum Lernen von Mathematik konnte ein signifikanter Zusammenhang zum prozeduralen Wissen gefunden werden.

	Erstmat	Nach	Tech	Vor	Zeit	Active	Directive	K3	K4
r	-0,25	-0,08	0,20	-0,04	-0,16	-0,21	-0,09	0,48	0,39
p	0,23	0,69	0,33	0,84	0,43	0,32	0,67	0,02	0,06

Tab. 3 Korrelationskoeffizienten (r) zwischen dem prozeduralen Wissen der Schüler*innen und den Überzeugungen der Lehrer*innen

Bei der Betrachtung der Korrelationen zwischen der Technologienutzungshäufigkeit und den bisher betrachten Überzeugungen finden sich vier signifikante Werte, siehe Tab. 4. Die Überzeugungen der Lehrkräfte zu ihrer Technologieaffinität korreliert mit der Technologienutzungshäufigkeit in allen Bereichen ([H1]: $r = 0{,}41$, [H2]: $r = 0{,}41$, [H3]: $r = 0{,}40$): Je höher die Technologieaffinität der Lehrperson von ihr selbst eingeschätzt wird, desto öfter verwendet die Lehrperson höherwertige Technologie im Unterricht bzw. desto öfter verwenden ihre Schüler*innen höherwertige Technologie im Unterricht bzw. desto öfter verwenden ihre Schüler*innen höherwertige Technologie bei der Hausübung. Die vierte signifikante Korrelation betrifft die Überzeugungen zur zeitlichen Komponente des Technologieeinsatzes ($r = -0{,}42$, [Zeit]): Je weniger die Lehrkraft Technologie als Zeitverschwendung sieht, desto häufiger verwendet sie diese im Unterricht.

	Erstmat	Nach	Tech	Vor	Zeit	Active	Directive	K3	K4
H1	-0,33	-0,04	**0,41**	0,22	**-0,42**	0,22	0,20	-0,04	-0,05
H2	-0,24	-0,12	**0,41**	0,10	-0,38	0,11	0,20	-0,10	0,10
H3	-0,28	-0,02	**0,40**	-0,12	-0,29	0,11	-0,06	-0,06	-0,06

Tab. 4 Korrelationskoeffizienten zwischen den Technologienutzungshäufigkeiten und den Überzeugungen der Lehrpersonen (fett gedruckte Parameter sind signifikant, $p < 0{,}05$)

7 Diskussion

In diesem Abschnitt sollen die Ergebnisse aus Abschnitt 6 diskutiert und ihre Relevanz für den Einsatz technologischer Hilfsmittel im Mathematikunterricht herausgearbeitet werden.

Generell zeigt sich, dass die teilnehmenden Lehrkräfte eher technologieaffin sind, dass also eine prinzipielle Bereitschaft angenommen werden kann, Technologie auch im Unterricht einzusetzen. Die Daten der Studie OFF zeigen allerdings auch, dass dies im derzeitigen österreichischen Mathematikunterricht eher in bescheidenem Ausmaß zutrifft. Höherwertige Technologie wird demnach in Schul- und Hausübung nur etwa einmal pro Woche von Schüler*innen bzw. Lehrer*innen verwendet (Dorner & Ableitinger 2022). Die vorliegende Arbeit geht dieser Tatsache noch einmal genauer auf den Grund und untersucht Zusammenhänge mit diversen Überzeugungsdimensionen der Lehrpersonen.

Es überrascht in diesem Zusammenhang wenig, dass technologieaffinere Lehrkräfte tendenziell häufiger höherwertige Technologie verwenden bzw. durch ihre Schüler*innen verwenden lassen als wenig technologieaffine. Bemerkenswert ist allerdings, dass die meisten anderen getesteten Überzeugungsdimensionen zur Technologie keinen zusätzlichen Effekt in dieser Hinsicht zeigen. Gerade einmal die Überzeugung, dass Technologie im Unterricht keine Zeitverschwendung ist, korreliert signifikant mit der tatsächlichen Nutzungshäufigkeit.

Die Ergebnisse legen zudem offen, dass die befragten Lehrkräfte differenziert über den Einsatz von Technologie im Mathematikunterricht nachdenken. Das bestätigt die Ergebnisse von Thurm et al. (2017). So wird der Technologie einerseits zugeschrieben, entdeckendes Lernen und die Nutzung verschiedener Darstellungsformen zu begünstigen, andererseits wird die Gefahr wahrgenommen, wonach Technologie zu unreflektiertem Arbeiten verleiten könnte bzw. das technologiefreie Rechnen zu sehr in den Hintergrund treten könnte. Insbesondere bei der Einführung in ein neues Thema solle auf Technologie verzichtet werden. Das zeigt eine gewisse Skepsis der Lehrkräfte der Technologie gegenüber, insbesondere auch bei ihrem Einsatz in semantischen, verständnisorientierten Unterrichtsphasen. Hier besteht ein eventueller Bedarf an geeigneten Fortbildungsmaßnahmen, die das Potenzial technologischer Hilfsmittel auch für die mathematische Begriffsbildung und den Aufbau geeigneter Vorstellungen sichtbar machen.

Ein zentrales Anliegen des vorliegenden Artikels ist zweifellos die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen diversen Überzeugungen der Lehrkräfte (zur Technologie und zum Lernen von Mathematik) und den prozeduralen Fähigkeiten ihrer Schüler*innen gibt. Interessanterweise konnten hier keine signifikanten Korrelationen gefunden werden. Das deutet darauf hin, dass sich die Überzeugungen der Lehrkräfte zwar vielleicht auf die Unterrichtsgestaltung (die Nutzungshäufigkeit korreliert mit der prinzipiellen Technologieaffinität, siehe oben; vgl. auch Reusser & Pauli 2014 und Bråten 2010), nicht aber auf den konkreten Output der operativen Fähigkeiten ihrer Schüler*innen durchschlagen. Interessanterweise konnte aber zumindest herausgefunden werden, dass die Ablehnung eines wissenschaftlichen Taschenrechners beim Lösen von Typ-1-Aufgaben mit dem prozeduralen Wissen der Schüler*innen doch recht deutlich korreliert. Hier ist also die Überzeugung zu einer ganz konkreten maturaspezifischen Fragestellung relevanter als eher allgemein gehaltene Formulierungen zum Einsatz von Technologie im Unterricht.

Zum Abschluss wollen wir auch noch Limitationen der Studie anführen. Die doch recht kleine Stichprobe ($n = 25$) aus Lehrkräften ist der Tatsache geschuldet, dass die vorliegende Studie Teil des größer angelegten Projekts OFF ist, bei dem die zugehörigen 25 Schulklassen als repräsentative Stichprobe verwendet wurden. Die fehlende Signifikanz einiger der Resultate könnte auf diesen Umstand zurückzuführen sein. Die Technologienutzungshäufigkeit wurde aus organisatorischen Gründen nicht direkt im Unterricht beobachtet und gemessen, sondern über Einschätzungen der Lehrkräfte bzw. ihrer Schüler*innen erhoben. Hier könnten Folgestudien ansetzen, in denen nicht nur die tatsächliche Nutzungsdauer, sondern auch die konkrete Art und Qualität der Nutzung erhoben wird. Auf diese Weise ließen sich differenziertere Aussagen über Zusammenhänge zwischen den Überzeugungen und der tatsächlichen Technologienutzung machen. Generell ist die Erhebung von *Beliefs* eine methodisch herausfordernde Aufgabe, die häufig über Fragebogen-items gelöst wird (Leder & Forgasz 2002). Diesem Ansatz sind wir aus forschungsmethodischen Gründen auch in der vorliegenden Studie gefolgt, wenngleich eine indirekte Erhebung der Überzeugungen dem möglichen Problem sozial erwünschter Antworten begegnet wäre.

Literatur

Ableitinger, C.; Dorner, C. (2023): Measuring Austrian students' procedural knowledge at the end of upper secondary level. In: *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, published online. https://doi.org/10.1080/0020739X.2023.2209093

Altieri, M. (2016): *Erfolg in Mathematikklausuren ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge unterbesonderer Berücksichtigung prozeduralen Wissens*. Dissertation, Technische Universität Dortmund. https://doi.org/10.17877/DE290R-17417

Bartok, L.; Steinfeld, J. (2015): *Stichprobenziehung. Ein Kommentar zur aktuellen und Vorschläge zur weiteren Vorgehensweise*. BIFIE.

Barzel, B. (2012): *Computeralgebra im Mathematikunterricht. Ein Mehrwert – aber wann?* Münster: Waxmann.

Baumert, J.; Kunter, M. (2006): Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 9*(4), 469–520.

Bergqvist, E. (2007): Types of reasoning required in university exams in mathematics. In: *The Journal of Mathematical Behavior 26*(4), 348–370.

Bergsten, C.; Engelbrecht, J.; Kågesten, O. (2017): Conceptual and procedural approaches to mathematics in the engineering curriculum–comparing views of junior and senior engineering students in two countries. In: *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education 13*(3), 533–553.

Blömeke, S.; Kaiser, G.; Lehmann, R. (2010): TEDS-M 2008 Sekundarstufe I: Ziele, Untersuchungsanlage und zentrale Ergebnisse. In: Blömeke, S.; Kaiser, G.; Lehmann, R. (Hrsg.): *TEDS-M 2008 – Professionelle Kompetenz und Lerngelegenheiten angehender Mathematiklehrkräfte für die Sekundarstufe I im internationalen Vergleich* (S. 11-38). Münster [u.a.]: Waxmann.

Blömeke, S.; Suhl, U.; Döhrmann, M. (2012): Zusammenfügen was zusammengehört. Kompetenzprofile am Ende der Lehrerausbildung im internationalen Vergleich. In: *Zeitschrift für Pädagogik 58*(4), 422–440.

BMBWF (2022). *SRP Mathematik (AHS): 3-Stufen-Plan zur Weiterentwicklung des Mathematik-Unterrichts und der Mathematik-Matura.* https://www.matura.gv.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=4812&token=570ef569b2950dfbcc89d7633d94112dc1cc631c

BMBWF (2023a): *Masterplan für die Digitalisierung im Bildungswesen*. https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/zrp/dibi/mp.html

BMBWF (2023b): *Lehrplan Mathematik (Sekundarstufe I)*. https://www.paedagogikpaket.at/component/edocman/262-lehrplan-2/download.html?Itemid=0

Bråten, I. (2010): Personal epistemology in education: Concepts, issues, and implications. In: Baker, E.; McGaw, B.; Peterson, P. (Hrsg.): *International Encyclopedia of Education*. Oxford: Elsevier.

Doerr, H. M.; Zangor, R. (2000): Creating Meaning for and with the Graphing Calculator. In: *Educational Studies in Mathematics 41*, 143–163.

Dorner, C.; Ableitinger, C. (2022): Procedural mathematical knowledge and use of technology by senior high school students. In: *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education 18*(12), em2202.

Drijvers, P.; Ball, L.; Barzel, B.; Heid, M. K.; Cao, Y.; Maschietto, M. (2016): *Uses of Technology in Lower Secondary Mathematics Education*. Cham: Springer.

Drijvers, P.; Doorman, M.; Boon, P., Reed, H.; Gravemeijer, K. (2010): The teacher and the tool: instrumental orchestrations in the technology-rich mathematics classroom. In: *Educational Studies in Mathematics 75*(2), 213–234. https://doi.org/10.1007/s10649-010-9254-5

Engelbrecht, J.; Bergsten, C.; Kågesten, O. (2009): Undergraduate students' preference for procedural to conceptual solutions to mathematical problems. In: *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology 40*(7), 927–940.

Handal, B.; Cavanagh, M.; Wood, L.; Petocz, P. (2011): Factors leading to the adoption of a learning technology: The case of graphics calculators. In: *Australasian Journal of Educational Technology 27*(2), 343–360.

Heintz, G.; Elschenbroich, H.-J.; Laakmann, H.; Schacht, F.; Schmidt, R. (2014): Digitale Werkzeugkompetenzen im Mathematikunterricht. In: Roth, J.; Ames, J. (Hrsg.): *Beiträge zum Mathematikunterricht 2014*. Münster: WTM-Verlag.

Heinze, A.; Neumann, I.; Ufer, S.; Rach, S.; Borowski, A.; Buschhüter, D.; Greefrath, G.; Halverscheid, S.; Kürten, R.; Pustelnik, K.; Sommerhoff, D. (2019): Mathematische Kenntnisse in der Studieneingangsphase – Was messen unsere Tests? In: Frank, A.; Krauss, S.; Binder, K. (Hrsg.): *Beiträge zum Mathematikunterricht 2019* (S. 345–348). Münster: WTM-Verlag. https://doi.org/10.17877/DE290R-20862

Hiebert, J.; Lefevre, P. (1986): Conceptual and procedural knowledge in mathematics: An introductory analysis. In: Hiebert, J. (Hrsg.): *Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics* (S. 1–27). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Hofer, B.; Pintrich, P. R. (1997): The Development of Epistemological Theories: Beliefs About Knowledge and Knowing and Their Relation to Learning. In: *Review of Educational Research 67*(1), 88–140.

Ingelmann, M. (2009): *Evaluation eines Unterrichtskonzeptes für einen CAS-gestützten Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I*. Berlin: Logos-Verlag.

Kieran, C.; Drijvers, P. (2006): The Co-Emergence of Machine Techniques, and Theoretical Reflection: A Study of CAS use in Secondary School Algebra. In: *International Journal of Computers for Mathematical Learning 11*(2), 205–263.

KMK (2009): *Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur Stärkung der mathematisch-naturwissenschaft-lichtechnischen Bildung (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 07.05.2009)*.

KMK (2012): *Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.10.2012)*.

Laschke, C.; Schmotz, C. (2014): Erfassung der Überzeugungen der angehenden Sekundarstufen-I-Lehrkräfte. In: Laschke, C.; Blömeke, S. (Hrsg.): *Teacher Education and Development Study: Learning to Teach Mathematics (TEDS-M 2008). Dokumentation der Erhebungsinstrumente* (S. 325–346). Münster: Waxmann Verlag.

Leder, G. C.; Forgasz, H. J. (2002): Measuring Mathematical Beliefs and Their Impact on the Learning of Mathematics: A New Approach. In: Leder, G.C.; Pehkonen, E.; Törner, G. (Hrsg.): *Beliefs: A Hidden Variable in Mathematics Education?* (S. 95–113). Dordrecht: Springer. http://dx.doi.org/10.1007/0-306-47958-3_6

Matyas, K.; Drmota, M. (2018): Das "M" in MINT: TU Wien beobachtet Absinken der Mathematikkenntnisse von Studienanfänger_innen. *Offener Brief an Bundesminister Heinz Faßmann.* https://www.tuwien.at/ tu-wien/aktuelles/news/news/das-m-in-mint-tu-wien-beobachtet-absinken-der-mathematikkenntnisse-von-studienanfaenger-innen

Neubrand, M.(2013): PISA mathematics in Germany: Extending the conceptual framework to enable a more differentiated assessment. In: Prenzel M.; Kobarg M.; Schöps K.; Rönnebeck S. (Hrsg.): *Research on PISA – research outcomes of the PISA research conference 2009* (S. 39–49). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4458-5_3

Neubrand, M.; Klieme, E.; Lüdtke, O.; Neubrand, J. (2002): Kompetenzstufen und Schwierigkeits-modelle für den PISA-Test zur mathematischen Grundbildung. In: *Zeitschrift für Lernforschung 30*(1), 100–119. https://doi.org/10.17877/DE290R-7152

Oser, F.; Blömeke, S. (2012): Überzeugungen von Lehrpersonen. Einführung in den Thementeil. In: *Zeitschrift für Pädagogik 58*(4), 415–421

Peterson, P. L.; Fennema, E.; Carpenter, T.; Loef, M. (1989): Teachers' pedagogical content beliefs in mathematics. In: *Cognition and Instruction 6*(1), 1–40.

Philipp, R. A. (2007): Mathematics teachers' beliefs and affect. In: F. K. Lester (Hrsg.): *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (Bd. 1, S. 257–315). Charlotte: IAP.

Reusser, K.; Pauli, C. (2014): Berufsbezogene Überzeugungen von Lehrerinnen und Lehrern. In: Terhart, E.; Bennewitz, H.; Rothland, M. (Hrsg.): *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 642–661). Münster: Waxmann Verlag.

Rittle-Johnson, B.; Star, J. R.; Durkin, K. (2012): Developing procedural flexibility: Are novices prepared to learn from comparing procedures? In: *British Journal of Educational Psychology 82*(3), 436–455.

Thurm, D.; Klinger, M.; Barzel, B.; Rögler, P. (2017): Überzeugungen zum Technologieeinsatz im Mathematikunterricht: Entwicklung eines Messinstruments für Lehramtsstudierende und Lehrkräfte. In: *mathematica didactica 40*(1), 19–36.

Wynands, A. (1984): Rechenfertigkeit und Taschenrechner. In: *Journal für Mathematik-Didaktik 5*(1), 3–32. https://doi.org/10.1007/BF03339239

Verfasser

Christoph Ableitinger
Universität Wien
Fakultät für Mathematik
Oskar-Morgenstern-Platz 1
1090 Wien
christoph.ableitinger@univie.ac.at

Christian Dorner
Pädagogische Hochschule Steiermark
Institut für Sekundarstufe Allgemeinbildung
Hasnerplatz 12
8010 Graz
christian.dorner@phst.at