

Überzeugungen zum Technologieeinsatz im Mathematikunterricht: Entwicklung eines Messinstruments für Lehramtsstudierende und Lehrkräfte

DANIEL THURM, ESSEN; MARCEL KLINGER, ESSEN; BÄRBEL BARZEL, ESSEN & PAUL RÖGLER, FREIBURG

Zusammenfassung: Überzeugungen zum Technologieeinsatz beim Lehren und Lernen von Mathematik spielen eine entscheidende Rolle bei der Integration von Technologie in den Mathematikunterricht. Messinstrumente zur detaillierten quantitativen Erfassung dieser Überzeugungen sind jedoch nicht verfügbar. In diesem Beitrag wird ein umfassendes Inventar zur Erfassung technologiebezogener Überzeugungen bei Lehrkräften und Lehramtsstudierenden vorgestellt. Der Fragebogen wird an einer Stichprobe von 246 Studierenden sowie 199 Lehrkräften quantitativ überprüft und mit Hilfe einer konfirmatorischen Faktorenanalyse ausgewertet. Es zeigt sich, dass Überzeugungen von Lehrkräften differenzierter erfasst werden können als von Studierenden.

Abstract: Beliefs referring to teaching and learning mathematics with technology play an important role when teachers are integrating technology into their classroom. However, instruments to measure those beliefs in detail are not available yet. In this article we are contributing a detailed inventory to measure technology-related beliefs of in- and pre-service teachers. The questionnaire is analyzed with 246 pre- and 199 in-service teachers using confirmatory factor analysis. It is found, that beliefs of in-service teachers can be measured in more detail than those of pre-service teachers.

1. Einleitung

Bekannt ist, dass der Einsatz von technologischen Hilfsmitteln das Lehren und Lernen von Mathematik unterstützen kann (vgl. z. B. Barzel, 2012; Li & Ma, 2010; Zbiek et al., 2007). Der Einsatz von Technologie im Mathematikunterricht wird dementsprechend sowohl von Politik (vgl. KMK, 2009, 2012) als auch von Wissenschaft und Lehrkraftverbänden (vgl. DMV, GDM & MNU, 2008) empfohlen. So empfiehlt die Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) „Computerprogramme (z. B. Tabellenkalkulation, Dynamische Geometrie, Computer-Algebra) sowie Taschenrechner (z. B. mit Graphikfunktion oder CAS) in allen MINT-Fächern verbindlich [zu] nutzen“ (KMK, 2009, S. 5).

Bei der Umsetzung dieser Forderungen haben Überzeugungen von Lehrkräften, wie sie sich zum Beispiel im Zitat „Der hat bis jetzt nur Mathematik gemacht mit einem Computeralgebra System. Der Junge kann in Mathe nichts. Wenn das Ding ausgeschaltet ist, ist der fertig, ist der erledigt.“ (Rögler, 2014, S. 983) widerspiegeln einen erheblichen Einfluss, ob und in welcher Weise Lehrkräfte Technologie in ihrem Unterricht einsetzen (Rögler, 2014). Überzeugungen sind somit sowohl bei Mathematiklehrkräften als auch bei Mathematik-Lehramtsstudierenden von großer Bedeutung.

Im Bereich solcher technologiebezogener Überzeugungen gibt es bislang eine Vielzahl von *qualitativen* Studien und Fallstudien (z. B. Doerr & Zangorr, 2000; Drijvers et al., 2010; Duncan, 2010; Özgün-Koca, 2010, 2011; Pierce, Ball & Stacey, 2009). Es besteht auf der anderen Seite ein Mangel an *quantitativen* Studien sowie an erprobten Messinstrumenten, um technologiebezogene Überzeugungen zu erfassen.

Ausgehend von diesem Bedarf wurde im Forschungsprojekt von Rögler, Barzel und Eichler (2013) sowie Rögler (2014) mit der Entwicklung eines entsprechenden fragebogenbasierten Messinstruments begonnen, um ein detaillierteres Bild der Überzeugungen von praktizierenden Lehrkräften gewinnen zu können. Das entwickelte Item-Set wurde bislang noch nicht quantitativ erprobt. Weiterhin ist unklar, ob sich der Itemsatz auch zur Erhebung technologiebezogener Überzeugungen von Mathematik-Lehramtsstudierenden eignet.

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es daher, ein quantitatives Messinstrument bereitzustellen, das sowohl technologiebezogene Einstellungen praktizierender als auch angehender Lehrkräfte valide erfasst. Aus diesem Grund unterziehen wir das Messinstrument einer qualitativen Validitätsprüfung mit Studierenden der Lehramtsstudiengänge Mathematik (außer Grundschule). In einem zweiten Schritt erproben wir das Item-Set quantitativ in zwei Studien an 246 Studierenden und 199 Lehrkräften und analysieren die Ergebnisse hinsichtlich der sich ergebenden Faktorenstruktur. Abschließend stellen wir das vollständige Erhebungsinstrument im Anhang dieses Artikels für weitere Forschungen zur Verfügung.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Mathematikunterricht und Technologie

Wenn über Mathematikunterricht mit Technologie diskutiert werden soll, ist zunächst zu beschreiben, was unter dem Begriff *Technologie* zu verstehen ist. Spezieller wird häufig von digitalen Medien oder Computereinsatz in Lehr- und Lernsituationen gesprochen, wobei man hier zwischen Lernumgebungen und Werkzeugen unterscheiden kann (Barzel, 2004; Barzel, Hußmann & Leuders, 2005; Barzel & Greefrath, 2015). Unter dem Begriff *Lernumgebung* kann im weitesten Sinne alles gefasst werden, „was den Lernenden von außen instruiert“ (Barzel et al., 2005, S. 30). Als Werkzeuge dagegen werden „universell einsetzbare Hilfsmittel zur Bearbeitung einer breiten Klasse von Problemen“ (Barzel et al., 2005, S. 30) bezeichnet. Die Bezeichnung „Werkzeuge“ wird auch in den Bildungsstandards der KMK (2012, S. 5) übernommen. In Abgrenzung zu allgemeinen digitalen Werkzeugen wie Textverarbeitungs- oder Präsentationsprogrammen, die fächerübergreifend einsetzbar sind, wird hier von *digitalen Mathematikwerkzeugen* gesprochen. Als für den Mathematikunterricht bedeutsame digitale Mathematikwerkzeuge zählen Heintz et al. (2014, S. 507) *Dynamische Geometrie-Software*, *Tabellenkalkulationsprogramme*, *Funktionsplotter*, *Computeralgebra-Systeme* (CAS) sowie *Multirepräsentationsprogramme* oder *-systeme* auf. Letztere vereinen dabei die vorigen Werkzeuge in einem einzigen Programm (z. B. GeoGebra) respektive Gerät (z. B. TI-Nspire oder Casio fx-CG20) (vgl. Laakmann, 2008). Wenn im Folgenden der Begriff *Technologie* verwendet wird, sind damit stets digitale Mathematikwerkzeuge gemeint.

Befürworter des Einsatzes von Technologie im Mathematikunterricht erhoffen sich, dass hierdurch ein anderer Mathematikunterricht ermöglicht wird. Insbesondere werden Multirepräsentationssysteme, welche die Möglichkeit aufweisen, die gleiche mathematische Situation in unterschiedlichen Repräsentationen zu betrachten, als vorteilhaft für das Lernen angesehen, insbesondere aufgrund positiver Konsequenzen für das Begriffsverständnis der Schülerinnen und Schüler (z. B. Laakmann, 2008, 2013). Dies lässt sich vor allem in den Bereichen Funktionenlehre und Algebra feststellen (z. B. Hollar & Norwood, 1999; Graham & Thomas, 2000). Ebenso können mithilfe digitaler Werkzeuge Problemlösefähigkeiten gestärkt werden (Ellington, 2003, 2006). Darüber hinaus lassen sich gerade im Bereich des Entdeckenden Lernens technologiegestützte Lernumgebungen konstruieren (z. B. Barzel & Möller, 2001). Eine weitere positive Konsequenz liegt außerdem in dem von Peschek (1999) beschriebenen

Auslagerungsprinzip, bei dem Verfahren, Prozeduren und Operationen, anstatt dass sie von Schülerinnen und Schülern mühsam von Hand durchgeführt werden müssen, an einen Computer ausgelagert werden, um auf diese Weise Ressourcen im Unterricht für andere Bereiche verfügbar zu machen. Vorschläge in Form eines didaktischen Prinzips, das die notwendigen Voraussetzungen zur Auslagerung regelt, macht z. B. Heugl (2014).

Neben diesen Vorteilen werden auch Nachteile beim Einsatz von Technologie im Mathematikunterricht gesehen. So werden zum Beispiel Befürchtungen geäußert, dass Schülerinnen und Schüler wesentliche mathematische Grundfertigkeiten nicht mehr händisch beherrschen (Handal et al., 2011) oder ein unreflektiertes Arbeiten begünstigt wird (Stimmt, 1997). Spitzer (2012) sieht darüber hinaus die Gefahr, dass durch das Auslagern von Denkprozessen an Technologie weniger Denkleistung von Schülerinnen und Schülern selbst erbracht werden muss. Er formuliert, dass in der Folge das Denken der Kinder und Jugendlichen schlechter wird. Für Mackey degeneriert das mathematische Arbeiten mit Technologie zu „mindless button pushing“ (Mackey, 1999) als Ersatz für selbstständiges Denken (vgl. Ruthven, 2009).

2.2 Überzeugungen

Der Begriff *Überzeugungen* und der in der internationalen Literatur gebräuchliche Begriff *Beliefs* wird von verschiedenen nationalen und internationalen Autoren teils unterschiedlich genutzt (vgl. Philipp, 2007). Weitere Begriffe wie *Subjektive Theorien* (Groeben, 1988, vgl. auch Baumert & Kunter, 2006) oder *Mathematische Weltbilder* (Grigutsch, Raatz & Törner, 1998) finden ebenfalls Verwendung.

Entsprechend werden auch unterschiedliche Definitionen mit verschiedenen Schwerpunkten formuliert. So betont beispielsweise Goldin (2002) den Wahrheitsgehalt, der eigenen Überzeugungen zugesprochen wird; Pehkonen (1994) formuliert die Stabilität von Überzeugungen und dass sie oft unbewusst sind, während Hannula (2011, 2012) den Blick weitet: Er nimmt die kognitive, die motivationale und die emotionale Ebene in den Blick.

Im Folgenden konzentrieren wir uns auf den kognitiven Bereich (vgl. McLeod, 1992) und legen dementsprechend die inzwischen verbreitete Definition von Philipp (2007) zugrunde. Philipp bezeichnet Überzeugungen als

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; Hervorhebungen durch uns)

Auf Grundlage dieser Definition werden Überzeugungen im Gegensatz zu Einstellungen (engl. *attitudes*) also insbesondere als schwer veränderbar verstanden und als etwas, das jedes Individuum für sich selbst für wahr hält. Sie haben zwar eine affektive Komponente, sie sind aber überwiegend kognitiv und nicht auf Übereinstimmung bezüglich anderer Individuen aus.

Überzeugungen haben einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Welt und auf die konkreten Handlungen von Personen (Philipp, 2007). Dementsprechend werden Überzeugungen in Kompetenzmodellen für Lehrerinnen und Lehrer als eine wesentliche Kompetenzfacette aufgeführt (vgl. Baumert & Kunter, 2006). In ihrem Übersichtsartikel berichten Baumert und Kunter (2006) von unterschiedlichen Studien, die belegen, dass sich die Überzeugungen von Lehrkräften auf das Unterrichtshandeln auswirken. Ebenso konnte z. B. in der Studie von Staub und Stern (2002) ein Zusammenhang zwischen Überzeugungen der Lehrkräfte und Leistungen der Schülerinnen und Schüler gezeigt werden.

Darüber hinaus haben Überzeugungen stets ein Objekt, auf das sie sich beziehen (Goldin, Roesken & Törner, 2009; Törner, 2002). Goldin et al. (2009) empfehlen, dieses *Überzeugungsobjekt* explizit zu benennen, andernfalls laufe die Diskussion Gefahr, unpräzise zu werden. Im vorliegenden Artikel sind Technologien, also digitale Mathematikwerkzeuge, wie sie oben beschrieben wurden, das entsprechende Überzeugungsobjekt, auf das Bezug genommen wird.

Der Fokus liegt ausdrücklich auf den Überzeugungen von Lehrkräften (*teachers' beliefs*) und nicht auf den Überzeugungen von Schülerinnen und Schülern (*students' beliefs*). Dementsprechend sind im Folgenden mit dem Begriff Überzeugungen stets die Überzeugungen der Lehrkräfte gemeint. Dies schließt ausdrücklich Lehrkräfte in der Ausbildung, also beispielsweise Studierende, mit ein. International wird von *pre-service teachers* in Abgrenzung zu *in-service teachers* gesprochen.

2.3 Technologiebezogene Überzeugungen

Als *technologiebezogene Überzeugungen* sollen im Rahmen dieses Aufsatzes diejenigen Überzeugungen bezeichnet werden, die sich auf den Einsatz von Technologie als Objekt der Überzeugungen (vgl. Goldin et al., 2002, s. o.) beziehen.

Studien in der bisherigen (mathematikdidaktischen) Bildungs- und Unterrichtsforschung, die technologiebezogene Überzeugungen berücksichtigen, lassen sich im Wesentlichen in zwei Kategorien einteilen. Einerseits werden technologiebezogene Überzeugungen einzelner Lehrkräfte in qualitativen Fallstudien mit sehr kleinen Stichproben untersucht (z. B. Doerr & Zangorr, 2000; Drijvers et al., 2010; Duncan, 2010; Özgün-Koca, 2010, 2011; Pierce, Ball & Stacey, 2009). In diesen Studien können die Überzeugungssysteme einzelner Lehrkräfte und die Auswirkungen dieser Überzeugungssysteme sehr detailliert und präzise beschrieben werden. Insbesondere zeigt sich in den Studien nicht nur die handlungsleitende Funktion von Überzeugungen für die beobachteten Lehrkräfte sondern ebenfalls eine große Bandbreite unterschiedlicher Überzeugungen. Auf der anderen Seite ist es nicht möglich, das Ausmaß oder die Stärke einer Überzeugung zu quantifizieren oder Ergebnisse zu generalisieren.

Für generalisierbare Aussagen und direkte Vergleiche sind quantitative Studien notwendig, die in der Lage sind, einer Person einen Wert der jeweiligen Überzeugung zuzuweisen. Für Verallgemeinerungen sind darüber hinaus hinreichend große und repräsentative Stichproben unumgänglich.

Es gibt eine Vielzahl an quantitativen Studien zum Technologieeinsatz im Mathematikunterricht (z. B. Bichler, 2010; Kreijns et al., 2013; Weigand, 2006; Ng, 2003; Pierce, Stacey & Barkatsas, 2007), in denen meist das Erkenntnisinteresse vor allem auf den Unterrichtsprozessen, dem Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler oder den Rahmenbedingungen des Technologieeinsatzes liegt. Häufig geht es dabei nicht um die Überzeugungen der Lehrkräfte. Um ein differenzierteres Bild über die technologiebezogenen Überzeugungen zu gewinnen, sind hier spezifischere quantitative Untersuchungen notwendig.

Systematische quantitative Untersuchungen, die spezifisch technologiebezogene Überzeugungen erheben, gibt es nur wenige (z. B. Pierce & Ball, 2009; Dewey, Singletary & Kinzel, 2009; Tobin, Routitsky & Jones, 1999; Milou, 1999; Fleener, 1995). In diesen Arbeiten werden die Überzeugungen jedoch recht unsystematisch erfasst und unterschiedliche Aspekte des Technologieeinsatzes jeweils lediglich mit einzelnen Items erhoben statt auf fundierte Skalen zurückzugreifen. Die in diesen Arbeiten entwickelten Instrumente entsprechen daher nicht dem State-of-the-Art moderner psychologischer Tests. An dieser Stelle sind die Arbeiten von Kuntze (2011) sowie Kuntze und Dreher (2013) positiv zu erwähnen, in denen auf theoretischer Grundlage verschiedene Aspekte des Technologie-

einsatzes im Mathematikunterricht identifiziert werden, zu denen die Überzeugungen der Lehrkräfte von Interesse sind. Diese Überzeugungsdimensionen werden anschließend in einem Fragebogen operationalisiert und empirisch geprüft. Die Ergebnisse der Faktorenanalyse sind ob der kleinen Stichprobe jedoch vorsichtig zu interpretieren. Darüber hinaus weisen die Skalen teilweise Reliabilitäten (Cronbachs Alpha) im Bereich um .5 und .6 auf. Bei solch niedrigen Werten kann nicht davon ausgegangen werden, dass es sich um verlässliche Skalen handelt (vgl. Hossiep, 2014).

3. Das Messinstrument

Im Folgenden stellen wir die Entwicklung des Messinstruments, welches im Rahmen der Forschungsarbeiten von Rögler et al. (2013) sowie Rögler (2014) erarbeitet wurde, vor. Hierbei wurden im Gegensatz zu Kuntze (2011), der Aspekte technologiebezogener Überzeugungen auf Grundlage von Theorie ermittelt, die Überzeugungsdimensionen, welche Grundlage für den Fragebogen werden sollen, empirisch aus Interviews herausgearbeitet. Hierfür wurden halbstrukturierte Interviews mit insgesamt neun Lehrkräften geführt (vgl. Rögler, 2014): Entsprechende Transkripte wurden mittels der *Grounded Theory* (Glaser & Strauß, 2010) im Hinblick auf technologiebezogene Überzeugungen offen kodiert. Im Schritt des axialen Kodierens wurde zusammengefasst und strukturiert, um Kategorien solcher Überzeugungen auszumachen. Zusätzlich wurde der Prozess des axialen Kodierens zur Qualitätssicherung und zur intersubjektiven Weitung der Interpretationen zusätzlich in einer Forschergruppe durchgeführt. Zu den zunächst identifizierten 29 Überzeugungsdimensionen wurden im nächsten Schritt Items formuliert.

Im Rahmen einer Pilotstudie mit 300 Lehrkräften und explorativen Faktorenanalysen konnten letztendlich acht inhaltliche Überzeugungsdimensionen identifiziert werden: „Auslagerungsprinzip“, „Unterstützung von Darstellungswechseln“, „Unterstützung Entdeckenden Lernens“, „Zeitaufwand“, „Gefahr für (händische) Fertigkeiten“, „Gefahr für Denken und Verstehen“, „Allgemeine positive Grundeinstellung gegenüber Technologie“ sowie die Überzeugung „Erst Mathematik, dann Technologie“.

Die ersten drei Dimensionen weisen eine eher positive Konnotation bzgl. der Verwendung von digitalen Werkzeugen im Mathematikunterricht auf und können somit als Vorteil des Technologieeinsatzes angesehen werden, während die Dimensionen „Zeitaufwand“, „Gefahr für (händische) Fertigkeiten“ sowie „Gefahr für Denken und Verstehen“ stets als

Nachteile genannt wurden. Die letzten beiden Skalen leiten sich von Aussagen ab, die weder Vor- oder Nachteilen zugeordnet werden können.

Wir teilen die acht Skalen daher zur besseren Übersichtlichkeit in die Kategorien Vorteile bzw. Nachteile des Technologieeinsatzes sowie die Kategorie „Allgemein“ ein (s. Abbildung 1).

Vorteile	Auslagerungsprinzip (ausla)	Unterstützung von Darstellungswechseln (repre)	Unterstützung Entdeckenden Lernens (entde)
Nachteile	Zeitaufwand (zeit)	Gefahr für (händische) Rechenverfahren (algo)	Gefahr für Denken und Verstehen (verst)
Allgemein	Allgemeine positive Grundeinstellung gegenüber Technologie (tech)	Erst Mathematik, dann Technologie (erstmat)	

Abb. 1: Übersicht über die acht Ausgangsskalen (Basismodell) sowie der im Folgenden für sie genutzten Abkürzungen

Im Folgenden werden die acht Skalen inhaltlich beschrieben und kurz erläutert.

Auslagerungsprinzip Technologie wird dazu genutzt, bestimmte Prozeduren im Mathematikunterricht nicht mehr einzeln „von Hand“ durchführen zu müssen. Bei dieser Art der Nutzung verändern sich die Inhalte des Mathematikunterrichts grundsätzlich: Wesentlicher Inhalt ist nicht mehr die Ausführung der Verfahren und Algorithmen, sondern vielmehr das Verständnis der Prozeduren und die Auswahl des richtigen Verfahrens sowie die Interpretation von Ergebnissen. Gefragt ist hier nach der Bewertung dieser Veränderung.

Unterstützung von Darstellungswechseln Technologie wird dazu genutzt, den Wechsel zwischen den drei verbreiteten Darstellungsebenen ikonisch/bildhaft, symbolisch/formelhaft und numerisch/tabellarisch zu unterstützen. Hierzu gehören Tätigkeiten wie die Visualisierung eines Terms, die Erstellung von Wertetabellen zu Graphen oder die Formulierung von Formeln zu gegebenen Sachverhalten oder Grafiken. Dazu werden insbesondere Multirepräsentationsprogramme (s. o.; Laakmann, 2008) verwendet. Neben Aktivitäten in diesem Bereich ist hier auch das Verständnis von wechselseitigen Beziehungen gemeint.

Unterstützung Entdeckenden Lernens Technologie schafft die Möglichkeit, dass Schülerinnen und Schüler sich mathematische Sachverhalte in der Interaktion mit Technologie selbst erarbeiten. Dabei stehen Ansätze wie Entdeckendes Lernen oder eigenständiges Forschen der Schülerinnen und Schüler im Mittelpunkt. Wenn es um Entdeckendes Ler-

nen geht, werden digitale Mathematikwerkzeuge oft in Form bzw. im Rahmen von (digitalen) Lernumgebungen verwendet (Barzel et al., 2005). Ebenso können durch das Generieren einer Vielzahl von Beispielen, deren Gemeinsamkeiten zu untersuchen sind, Muster und Strukturen exploriert werden (ebd.). Hier wird nach der Überzeugung gefragt, inwiefern diese Möglichkeit besteht, sie als sinnvoll erachtet oder genutzt werden soll.

Zeitaufwand Nutzung von Technologie stellt für Schülerinnen und Schüler im Mathematikunterricht eine zusätzliche Herausforderung dar. Dies betrifft insbesondere die Phase der Einführung einer neuen Technologie, in der Erläuterungen zur Bedienung und die Eingewöhnung notwendig sind. Hier wird danach gefragt, inwiefern die Gefahr eines übermäßigen Zeitaufwands hierfür gesehen und als relevant eingeschätzt wird. Dazu kommt der Gegenaspekt, dass Technologie, wenn sie bekannt und geläufig ist, bestimmte Verfahren und wiederkehrende Mechanismen abkürzen und auf diese Weise Zeit eingespart werden kann.

Gefahr für (händische) Fertigkeiten Wenn Technologie im Mathematikunterricht eingesetzt wird, werden manche operativen Verfahren wie beispielsweise das Ableiten von Funktionen mitunter nicht mehr von den Schülerinnen und Schülern von Hand ausgeführt. Dies kann dazu führen, dass diese Verfahren von den Schülerinnen und Schülern weniger sicher technologiefrei beherrscht werden. Hier wird danach gefragt, inwiefern diese Gefahr gesehen und als relevant eingeschätzt wird. Diese Kategorie ist insbesondere insofern von Bedeutung, da sie die Sorge vor dem Verlust von Altem, Vertrautem und lieb Gewonnenem auch bei Lehrkräften und Studierenden aufnimmt.

Gefahr für Denken und Verstehen Diese Kategorie greift die Sorge auf, dass Technologie im Mathematikunterricht den Schülerinnen und Schülern viele kognitive Leistungen und Denkprozesse abnimmt, die in Folge dessen nicht mehr selbst erbracht werden (müssen). Die Gefahr besteht darin, dass Schülerinnen und Schüler damit die Mathematik und das eigenständige Denken verlernen und anstelle dessen lediglich die Bedienung eines technischen Geräts beherrschen. Schwenk-Schellschmidt beispielsweise bringt diese Befürchtung auf den Punkt, wenn sie formuliert: Mathematische Konzepte „verkümmern zu einer von vielen Tasten auf dem Taschenrechner, die eigentliche Bedeutung tritt in den Hintergrund.“ (Schwenk-Schellschmidt, 2013, S. 27).

Allgemeine positive Grundeinstellung gegenüber Technologie Hier geht es um eine grundsätzliche Haltung oder Einstellung gegenüber Technologie.

Dies ist die Komponente, die am stärksten emotionale Aspekte berücksichtigt und unspezifisch vom konkreten Unterrichtsgegenstand und der Unterrichtssituation losgelöst erhoben wird.

Erst Mathematik, dann Technologie Diese Überzeugung bezieht sich weder auf einen Vorteil noch auf einen Nachteil von Technologie. Hier wird nach der Meinung gefragt, an welcher Stelle im zeitlichen Verlauf einer Unterrichtseinheit die Technologie eingesetzt werden soll. Dabei sind zwei Pole denkbar: Auf der einen Seite die Überzeugung, dass bei der Einführung eines neuen Themas zunächst komplett auf Technologie verzichtet werden sollte und erst, wenn der Inhalt von den Schülerinnen und Schülern hinreichend durchdrungen wurde, Technologie als Arbeitserleichterung eingesetzt werden darf. Auf der anderen Seite steht die Überzeugung, dass Technologie durchaus auch zur Einführung oder Erarbeitung eines neuen Sachverhalts genutzt werden kann. Mit zeitlichem Verlauf sind hier unter anderem die Unterrichtsphasen Einstieg, Erarbeitung und Sicherung gemeint.

4. Fragestellungen

Vor dem Hintergrund der bisherigen Überlegungen ergeben sich folgende Forschungsfragen:

4.1 Forschungsfrage 1

Der 38 Items umfassende und von Rögler et al. (2013) sowie Rögler (2014) entwickelte Itemsatz wurde speziell für Lehrkräfte entwickelt. Bühner (2011, S. 87 ff.) weist auf die besondere Bedeutung der Spezifizierung hinsichtlich der genauen Zielgruppe für die Itemformulierung hin. Dementsprechend kann nicht davon ausgegangen werden, dass ein für Lehrerinnen und Lehrer gültiges Instrumentarium für Studierende unverändert nutzbar ist (vgl. dazu auch Lienert & Raatz, 1998). Hinzu kommt, dass „sich Untersuchungen mit Studierenden aufgrund von Unterschieden in unterrichtsbezogenen Erfahrungen von Studien mit im Beruf stehenden Lehrkräften unterscheiden“ (Kuntze, 2011, S. 122; vgl. da Ponte, 2001). Ziel ist daher zunächst das Messinstrument für Studierende zu adaptieren und seine Validität zu sichern. Wir formulieren entsprechend die folgende Forschungsfrage:

F1: Wie müssen die Items zu technologiebezogenen Überzeugungen formuliert sein, dass sie speziell für Studierende valide sind?

4.2 Forschungsfrage 2

Die Items des Messinstrumentes sind acht Dimensionen technologiebezogener Überzeugungen zugeordnet (s. Abschnitt 3). Unklar ist, ob diese erwartete

ten Überzeugungsdimensionen (s. Abbildung 1) bei Studierenden und Lehrkräften reliabel und valide gemessen werden können und wie diese gegebenenfalls gemessenen Überzeugungsdimensionen untereinander zusammenhängen. Damit ergeben sich die folgenden Forschungsfragen:

F2.1: Lässt sich die erwartete Faktorenstruktur bei Studierenden empirisch nachweisen?

F2.2: Lässt sich die erwartete Faktorenstruktur bei Lehrkräften empirisch nachweisen?

Diese Forschungsfragen machen ein weites Feld auf und benötigen zu ihrer Beantwortung unterschiedliche Methoden.

5. Methodologie und Analyse

Die formulierten Forschungsfragen wurden mit Hilfe eines zweistufigen Designs bearbeitet.

Qualitative Pilotierung (Abschnitt 5.1) Um Forschungsfrage F1 zu beantworten, wurde eine qualitative Interviewstudie mit kognitiven Interviews durchgeführt. Diese hatte zum Ziel, die Validität der Items für Studierende zu überprüfen und die Formulierungen der Items insbesondere im Hinblick auf die Zielgruppe, d.h. Studierende, zu optimieren.

Quantitative Teilstudien (Abschnitt 5.2 sowie 5.3) Um die Forschungsfragen F2.1 und F2.2 zu beantworten, werden in einem zweiten Schritt die optimierten Items im Folgenden in einer quantitativen Studie für beide Gruppen (Studierende und praktizierende Lehrkräfte) überprüft und auf ihre Struktur hin untersucht. Aufgrund der Tatsache, dass bereits konkrete Erwartungen über Zusammenhänge und latente Variablen für den vorliegenden Fragebogen existieren, wird eine konfirmatorische Faktorenanalyse durchgeführt (vgl. Moosbrugger, 2012, S. 340).

5.1 Qualitative Pilotierung

Um die Validität der Items für Studierende zu überprüfen und Probleme bei der Beantwortung zu identifizieren, wurden kognitive Interviews (vgl. Prüfer & Rexroth 2005) eingesetzt. Diesem Vorgehen liegt die Vermutung zugrunde, dass Items, die für das Wissen und den Erfahrungshorizont von Lehrkräften formuliert wurden, von Studierenden nicht ohne Weiteres gleich verstanden und beantwortet werden können. Erwartet wird, dass sich hieraus Veränderungsbedarf innerhalb der Itemformulierungen ergibt. Die wichtigste kognitive Technik in der vorliegenden Studie ist das Paraphrasieren (Prüfer & Rexroth, 2005, S. 12f.). Weil auch bei inhaltlich korrekten Paraphrasen nicht automatisch von korrektem Itemverständnis ausgegangen werden kann, wurde darüber hinaus mit Nachfragen („Probing“;

ebd., S. 5ff.) gearbeitet. Solche Nachfragen zielen auch auf „ein 'retrospective think aloud' ab, bei dem man im Nachhinein berichtet, was man gedacht hat, als man die Frage beantwortet hat“ (Porst, 2014, S. 196).

5.1.1 Datenerhebung und Stichprobe

Bei der Auswahl der Testpersonen wurde darauf geachtet, möglichst das komplette Spektrum möglicher Probandinnen und Probanden abzudecken. Im konkreten Fall bedeutete dies, dass Männer und Frauen, Studierende unterschiedlicher Hochschulen aus unterschiedlichen Bundesländern und Studierende des Lehramts unterschiedlicher Schulformen (die Grundschule ausgenommen) explizit Berücksichtigung finden. Im Rahmen unserer Forschung war es möglich, fünf Probanden (zwei weiblich, drei männlich) zweier unterschiedlicher Bundesländer sowie unterschiedlicher Studiengänge (Lehramt Gymnasium, Lehramt für die Sekundarstufe I) einzubeziehen.

In den Interviews wurden die Items sukzessive durch die Probanden beantwortet. Hierbei begründen die Befragten intuitiv ihre jeweilige Antwort. In den ersten Interviews fielen einzelne Begriffe oder Worte auf, die potenziell problematisch sind (z. B. „Kalkül“, „zu früh“ oder „einzelne Inhaltsaspekte“). Auf diese Begriffe wurde in den weiteren Interviews ein besonderes Augenmerk gelegt und verstärkt nachgefragt, um eine möglichst gute empirische Grundlage zur Verbesserung der Items nach den kognitiven Interviews zu generieren.

5.1.2 Auswertung

Zur Auswertung wurden die Items einzeln überprüft. Sofern sich bei einem Item in keinem der Interviews Hinweise darauf finden, dass Verständnis- oder Validitätsprobleme wahrscheinlich sind, wurde das Item unverändert in den fertigen Fragebogen übernommen. Andernfalls wurde das Item genauer untersucht und gegebenenfalls angepasst.

Im Folgenden werden vorgenommene Änderungen exemplarisch an einem Item beschrieben, erläutert und begründet: Das Item *„Der Einsatz von Technologie hat den Vorteil, dass durch das Auslagern von Verfahren und Prozeduren an einen Rechner im Mathematikunterricht mehr Zeit für Anderes bleibt.“* wird von den meisten Testpersonen nicht nur im intendierten Sinne des Auslagerungsprinzips verstanden, sondern zugleich auch mit dem Aspekt, ob Technologieeinsatz Zeit im Unterricht kostet oder bringt. Um Validitätsproblemen vorzubeugen, wurden die Worte „durch das Auslagern von Verfahren/Prozeduren an einen Rechner“ fett gedruckt. Darüber hinaus wurde zur besseren und einfacheren Lesbarkeit das Wort „und“ zwischen „Verfahren“

und „Prozeduren“ durch einen Schrägstrich („/“) ersetzt. Ziel dieser Umformulierung ist es, die Aufmerksamkeit vom Wort „Zeit“ abzulenken.

5.1.3 Ergebnisse

Aufgrund der durchgeführten Interviews mussten überwiegend nur kleinere Änderungen am Itemsatz vorgenommen werden. 20 der 38 Items konnten sogar unverändert übernommen werden. Kein Item musste aus dem Fragebogen entfernt werden. Da es z. B. für längsschnittliche Studien von Vorteil ist, einen einheitlichen Itemsatz zu entwickeln, der sich sowohl für Studierende als auch praktizierende Lehrkräfte eignet, wurde das überarbeitete Item-Set erneut fünf Lehrkräften zur Revalidierung vorgelegt. Hierbei ergab sich kein weiterer Anpassungsbedarf, so dass im Ergebnis das entstandene Messinstrument für beide Gruppen als valide angenommen werden kann.

5.2 Quantitative Teilstudie mit Lehramtsstudierenden

Forschungsfrage F2.1 soll unter Verwendung einer konfirmatorischen Faktorenanalyse beantwortet werden.

5.2.1 Datenerhebung und Stichprobe

Der 38 Items umfassende Fragebogen (s. Anhang) wurde als Onlinefragebogen präsentiert und als E-Mail mit entsprechendem Link im Wintersemester 2014/15 über möglichst viele Hochschulen an eine breite Masse Studierender verteilt. Für die Beantwortung wurde eine fünfstufige Likert-Skala mit den Antwortmöglichkeiten „stimme gar nicht zu“, „stimme eher nicht zu“, „unentschieden“, „stimme eher zu“ und „stimme voll zu“ genutzt. Insgesamt resultierten hieraus 246 Datensätze von Lehramtsstudierenden für die Sekundarstufe I (133 Personen) bzw. Sekundarstufe II (113) aus dem gesamten Bundesgebiet. Es handelt sich um 158 Teilnehmerinnen und 84 Teilnehmer, welche sich über die Semesterzahlen gut verteilen. Vor Beginn der Befragung wurde der Begriff *Technologie* konkretisiert (GTR, CAS-fähige Taschenrechner, Geometriesoftware, Tabellenkalkulation, Computer-Algebra-Systeme), um das Risiko von Missverständnissen und unterschiedlichen Deutungen zu minimieren.

5.2.2 Statistische Analysen

Bei einzelnen Items und einzelnen Personen kommen fehlende Werte vor. Dabei liegt der Anteil fehlender Werte für alle Items und für alle Personen deutlich unter fünf Prozent. Die Frage, ob die feh-

lenden Werte einer Systematik unterliegen ist nach Anwendung des MCAR-Tests nach Little (1988) zu verneinen. Alle Modelle werden mit Hilfe der FIML-Methode (z. B. Lüdtke et al., 2007) geschätzt, welche den aktuellen Stand der Forschung widerspiegelt (Schafer & Graham, 2002).

Zur Beschreibung der Faktorenstruktur setzen wir zunächst ein *Basismodell* (s. Abbildung 1) an, welches die acht in der Entwicklung des Fragebogens hergeleiteten latenten Faktoren (vgl. Abschnitt 3) annimmt, die jeweils durch ihre Indikatoren gemessen werden und untereinander korrelieren. Für die Dimensionen des Basismodells werden die in Abschnitt 3 eingeführten Abkürzungen verwendet (s. ebenfalls Abbildung 1).

Zur Bewertung der unterschiedlichen Modelle ziehen wir verschiedene **globale Modellfitwerte** heran, namentlich den *Chi-square-fitindex* (χ^2/df) sowie den *root mean square error of approximation* (RMSEA), das *standardized root mean square residual* (SRMR) und den *comparative fit index* (CFI). In der Literatur gelten die folgenden Richtwerte als Zeichen einer akzeptablen Modellpassung: $\chi^2/df < 3$ (vgl. Schermelleh-Engel 2003, S. 33); RMSEA $< 0,08$ (vgl. Bühner 2011, S. 425); SRMR $< 0,11$ (vgl. ebd., S. 427) und CFI $> 0,9$ (vgl. Schermelleh-Engel 2003, S. 35), wenngleich letzterer umstritten ist (vgl. ebd., S. 35). Von einer guten Modellpassung wird ab folgenden Werten gesprochen: $\chi^2/df < 2$ (vgl. ebd., S. 33); RMSEA $< 0,05$ (Wirtz, 2014, S. 1615); SRMR $< 0,05$ (vgl. Schermelleh-Engel, 2003, S. 38) und CFI $> 0,95$ (Wirtz, 2014, S. 1615).

Anhand von **lokalen Gütemaßen** können darüber hinaus Aussagen über die konvergente und diskriminante Validität getroffen werden. Die *konvergente Validität* beschreibt die Zuverlässigkeit, mit der einzelne Konstrukte durch ihre jeweiligen Indikatoren gemessen werden. Als Kriterium wird eine Faktorreliabilität größer als .6 (Wirtz, 2014, S. 555), eine Indikatorreliabilität von größer als .4 (ebd., S. 775) sowie die durchschnittlich erfasste Varianz von mindestens .5 (ebd., S. 429) für alle Faktoren gefordert. Die *diskriminante Validität* beschreibt, inwiefern die Indikatoren unterschiedlicher Konstrukte auch tatsächlich unterschiedliche Inhalte messen. Hierfür wird das Kriterium nach Fornell und Larcker (1981) genutzt: Dabei muss der Zusammenhang eines latenten Konstrukts mit den eigenen Indikatoren höher sein als mit allen anderen latenten Konstrukten (vgl. Wirtz, 2014, S. 590).

Modell	χ^2	df	p	χ^2/df	RMSEA	SRMR	CFI
Schwellen (akzeptabel bzw. gut)	-	-	>.05	<3,0 <2,0	<0,08 <0,05	<0,11 <0,05	>0,9 >0,95
Basismodell	1125,578	637	.00	1,767	0,056	0,061	0,899
Basismodell*	662,401	443	.00	1,495	0,045	0,052	0,949
Basismodell**	307,802	220	.00	1,399	0,040	0,042	0,970

Tab. 1: Übersicht über die globalen Fit-Werte der verschiedenen Modelle anhand der Stichprobe Studierender

Bei der Auswertung des **Basismodells** ist festzustellen, dass sich die globalen Fitwerte im Großen und Ganzen im akzeptablen Bereich befinden (vgl. Tabelle 1). Mit Fokus auf die lokalen Gütekriterien kann berichtet werden, dass die meisten Indikatorreliabilitäten über der empfohlenen Grenze von .4 liegen. Lediglich die Items der Skala „Auslagerungsprinzip“ weisen schlechtere Werte auf: Fünf von sechs Werten liegen teilweise unter dieser Schwelle (zwischen .16 und .36). Es kann somit nicht davon ausgegangen werden, dass mit den Items das latente Konstrukt „Auslagerungsprinzip“ valide gemessen werden kann. Im Folgenden werden deshalb alle sechs Items aus den Analysen ausgeschlossen.

Das so modifizierte **Basismodell*** weist gute Werte

für den globalen Modell-Fit (vgl. Tabelle 1) auf. Die Indikatorreliabilitäten liegen für alle Items bis auf zwei über dem geforderten Wert von .4. Bemerkenswert ist die Höhe insbesondere zweier Korrelationen: Die Skalen „Unterstützung von Darstellungswechseln“ und „Unterstützung Entdeckenden Lernens“ korrelieren zu .74, die Skalen „Gefahr für (händische) Fertigkeiten“ und „Gefahr für Denken und Verstehen“ korrelieren zu .83. Diese extrem hohen Korrelationen sprechen dafür, dass diese Skalen viel gemeinsame Varianz aufweisen. Dies lässt sich inhaltlich damit begründen, dass beide jeweils mit Vor- bzw. Nachteilen des Technologieeinsatzes konnotiert werden.

Im **Basismodell**** werden demzufolge diese beiden Skalen zu einer Vorteils- und einer Nachteilsskala

Skala	Items	IR	α	ω	DEV	FLK	M	SD
Schwelle (gut)	-	>.4	>.8	>.6	>.5	<DEV	-	-
Allg. pos. Grundeinst. Geg. Tech.	tech1	.779						
	tech2	.402						
	tech3	.478	.870	.75	.58	.25	3,63	0,79
	tech4	.764						
	tech5	.510						
Vorteile	repre4	.457						
	entde1	.406						
	entde2	.584	.816	.82	.47	.38	3,70	0,72
	entde4	.453						
	entde6	.472						
Zeitaufwand	zeit1	.543						
	zeit2	.713	.845	.85	.65	.38	2,23	0,86
	zeit3	.704						
Nachteile	algo1	.574						
	algo2	.645						
	verst1	.623	.880	.88	.88	.19	3,78	0,79
	verst2	.580						
	verst3	.453						
	verst4	.459						
Erst Mathematik, dann Technologie	erstmat1	.686						
	erstmat2	.841	.918	.92	.74	.19	3,94	0,97
	erstmat3	.726						
	erstmat4	.711						

IR: Indikatorreliabilität, α : Cronbachs Alpha, ω : Faktorreliabilität Koeffizient Omega (Raykov 2001), DEV: Durchschnittlich erfasste Varianz (Leonhart 2014a), FLK: Kriterium nach Fornell und Larcker (1981), M: Arithmetisches Mittel, SD: Standardabweichung

Tab. 2: Übersicht über lokale Fit-Werte des Basismodells** sowie deskriptive Statistiken der Skalen anhand der Stichprobe Studierender

	Allg. pos. Grundeinst. Geg. Tech.	Erst Mathe- matik, dann Technologie	Vorteile	Nachteile	Zeitaufwand
Erst Mathematik, dann Technologie	-0.14	1			
Vorteile	.35	-.35	1		
Nachteile	-.24	.44	-.31	1	
Zeitaufwand	-.50	.25	-.62	.34	1

Tab. 3: Korrelationsmatrix des Basismodells**

zusammengefasst. Dieses Modell ist inhaltlich und theoretisch gut begründbar und wird im Folgenden durch die Entfernung von einzelnen Items aufgrund von statistischen (z. B. Indikatorreliabilitäten) und inhaltlichen Überlegungen weiter optimiert. Die globalen Fit-Werte des auf diese Weise modifizierten Modells Basismodell** sind durchweg sehr gut (vgl. Tabelle 1). Die lokalen Gütemaße sind ferner bis auf einen einzigen Wert sehr gut (vgl. Tabelle 2). Es ist anzumerken, dass das Item „tech2“ semantisch invers formuliert ist und folglich für alle Analysen rekodiert wurde. Bei allen anderen Skalen weisen jeweils alle Items die gleiche Polung auf. Zur Ermittlung von Skalenwerten wird der arithmetische Mittelwert aller Werte einer Skala berechnet, um den Wert auf der Skala zu bestimmen. Für die dieser Art gebildeten Skalen sind die deskriptiven Statistiken Mittelwert und Standardabweichung Tabelle 2 zu entnehmen. Die Korrelationen zwischen den Skalen lassen sich Tabelle 3 entnehmen.

5.3 Quantitative Teilstudie mit Lehrkräften

Die Beantwortung von Forschungsfrage F2.2 folgt in ihrer Struktur dem vorherigen Abschnitt. Mit Hilfe einer konfirmatorischen Faktorenanalyse soll das Basismodell auf seine Passgenauigkeit hin überprüft werden.

5.3.1 Datenerhebung und Stichprobe

Die Daten der Lehrkräfte wurden im Rahmen des Forschungsprojektes *GTR NRW* (Thurm, Klinger & Barzel, 2015) erhoben. Das Projekt wurde zur verbindlichen Einführung graphikfähiger Taschenrechner in der nordrhein-westfälischen gymnasialen Oberstufe zum Schuljahr 2014/15 gestartet.¹ Die Befragung richtete sich explizit an entsprechende Lehrkräfte aus NRW. Der 38 Items umfassende Fragebogen wurde den Lehrkräften als Papierversi-

on postalisch übermittelt und zusätzlich auch in einer Fortbildungsreihe zum GTR ausgegeben. Für die Beantwortung wurde erneut eine fünfstufige Likert-Skala angeboten. Insgesamt nahmen 199 Lehrkräfte (107 weiblich, 91 männlich, 1 ohne Angabe) mit einem durchschnittlichen Alter von 43,4 Jahren an der Befragung teil. Die befragten Lehrkräfte decken verschiedene Schulformen mit gymnasialer Oberstufe ab (Gymnasium: 128, Gesamtschule: 34, Berufskolleg: 30, keine Angabe: 7). Im Durchschnitt weisen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer 14,9 Jahre Unterrichtserfahrung auf. Die durchschnittliche Unterrichtserfahrung mit einem GTR beträgt 1,7 Jahre, wobei 46 Lehrkräfte den GTR seit mehr als 2 Jahren einsetzen. Im Gegensatz zur qualitativen Erhebung mit der Gruppe der Studierenden wurden im Rahmen des Projektes GTR NRW das Wort *Technologie* im gesamten Fragebogen durch *graphikfähiger Taschenrechner* konkretisiert. Die Items der Skala zur Grundeinstellung zur Technologie im Allgemeinen (Skala „Allgemeine positive Grundeinstellung gegenüber Technologie“) konnten aus Gründen der Fragebogenökonomie nicht bei der Befragung eingesetzt werden.

5.3.2 Statistische Analysen

Von den 199 Lehrkräften haben 92 Prozent den Fragebogen vollständig beantwortet. Der Anteil der fehlenden Werte bei den restlichen Personen betrug unter 10 Prozent. Nach Anwendung des MCAR-Tests nach Little (1988) folgen die fehlenden Werte keiner Systematik. Zum Umgang mit fehlenden Werten wurde die FIML-Methode (Leonhart, 2014b) herangezogen. Zur Beschreibung der Faktorenstruktur wurde zunächst das **Basismodell** (s. Abbildung 1) angesetzt. Es zeigen sich hier gute globale Fit-Werte (Tabelle 4), jedoch treten bei der Analyse der lokalen Fit-Werte ähnliche Probleme

Modell	χ^2	df	p	χ^2/df	RMSEA	SRMR	CFI
Schwellen (akzeptabel bzw. gut)	-	-	>.05	<3,0 <2,0	<0,08 <0,05	<0,11 <0,05	>0,9 >0,95
Basismodell	905,284	474	.00	1,909	0,068	0,056	0,903
Basismodell#	340,645	199	.00	1,711	0,060	0,044	0,953

Tab. 4: Übersicht über die globalen Fit-Werte der verschiedenen Modelle anhand der Stichprobe von Lehrkräften

Skala	Items	IR	α	ω	DEV	FLK	M	SD
Schwelle (gut)	-	>.4	>.8	>.6	>.5	<DEV	-	-
Unterstützung von Darstellungswechseln	repre1	.515	.86	.86	.62	.43	3,87	0,83
	repre2	.749						
	repre4	.525						
	repre5	.675						
Unterstützung Entdeckenden Lernens	entde1	.576	.87	.87	.58	.45	3,40	0,84
	entde2	.651						
	entde4	.532						
	entde5	.555						
	entde6	.577						
Zeitaufwand	zeit1	.691	.91	.91	.78	.52	3,59	0,87
	zeit2	.821						
	zeit3	.830						
Nachteile	algo1	.703	.90	.90	.60	.52	3,72	0,86
	algo2	.606						
	algo4	.531						
	verst1	.680						
	verst2	.562						
	verst5	.540						
Erst Mathematik, dann Technologie	erstmat1	.913	.93	.93	.77	.25	3,21	1,24
	erstmat2	.773						
	erstmat3	.714						
	erstmat4	.693						

IR: Indikatorreliabilität, α : Cronbachs Alpha, ω : Faktorreliabilität Koeffizient Omega (Raykov, 2001), DEV: Durchschnittlich erfasste Varianz (Leonhart, 2014a), FLK: Kriterium nach Fornell und Larcker (1981), M: Arithmetisches Mittel, SD: Standardabweichung

Tab. 5: Übersicht über lokale Fit-Werte des Basismodells# sowie deskriptive Statistiken der Skalen anhand der Stichprobe von Lehrkräften

mit der Skala „Auslagerungsprinzip“ auf wie zuvor bei der Gruppe der Studierenden (vgl. Abschnitt 5.2). Drei der sechs Items haben sehr niedrige Indikatorreliabilitäten (<0.5). Zusätzlich lässt sich die Skala „Auslagerungsprinzip“ nicht ausreichend zur Skala „Zeitaufwand“ differenzieren, so dass das Fornell-Larcker-Kriterium nicht erfüllt ist. Die Skala „Auslagerungsprinzip“ wird in Folge analog zur Analyse der Studierendendaten ausgeschlossen. Ähnlich wie bei der Analyse mit Studierenden korrelieren die beiden Skalen „Gefahr für Denken und Verstehen“ und „Gefahr für (händische) Fertigkeiten“ sehr stark (.84). Auch hier kann durch das For-

nell-Larcker-Kriterium nicht von zwei getrennten Konstrukten ausgegangen werden. Folglich werden diese beiden Skalen zu einer Skala „Nachteile“ zusammengeführt. Dieses Modell weist sehr gute globale und lokale Fit-Werte auf, ist inhaltlich und theoretisch gut begründbar und wird im Folgenden durch die Entfernung von einzelnen Items aufgrund von statistischen (z. B. Indikatorreliabilitäten) und inhaltlichen Überlegungen weiter optimiert.

Die globalen und lokalen Fit-Werte des auf diese Weise modifizierten Modells **Basismodell#** sind durchweg sehr gut (vgl. Tabellen 4 und 5).

	Unterstützung von Darstellungswechseln	Unterstützung Entdeckenden Lernens	Zeitaufwand	Nachteile	Erst Mathematik, dann Technologie
Unterstützung Entdeckenden Lernens	.65	1			
Zeitaufwand	-.56	-.70	1		
Nachteile	-.43	-.60	.72	1	
Erst Mathematik, dann Technologie	-.28	-.41	.44	.50	1

Tab. 6: Korrelationsmatrix des Basismodells#

Die Ermittlung von Skalenwerten findet analog zur Bestimmung in Abschnitt 5.2 statt. Für die dieser Art gebildeten Skalen sind die deskriptiven Statistiken Mittelwert und Standardabweichung Tabelle 5 zu entnehmen. Die Korrelationen zwischen den Skalen lassen sich Tabelle 6 entnehmen.

6. Ergebnisse und Reflexion

Forschungsfrage F1 „*Wie müssen die Items zu technologiebezogenen Überzeugungen formuliert sein, dass sie speziell für Studierende valide sind?*“ bezog sich auf die einzelnen Items, ihre Formulierung und die inhaltliche Validität. In der qualitativen Pilotierung (Abschnitt 5.1) konnten die Items entsprechend geprüft werden. Als Ergebnis dieser Studie steht ein Satz von insgesamt 38 Items, welcher sowohl für Lehrkräfte als auch Studierende geeignet ist. Diese 38 Items sind in ihren Formulierungen und in der Wortwahl überprüft und es ist nicht davon auszugehen, dass bei der Bearbeitung des Fragebogens Verständnisschwierigkeiten auftreten. Die Items sind mit kognitiven Techniken wie Paraphrasieren, Nachfragen/Probing und vereinzelt lautem Denken getestet, deshalb kann von Inhaltsvalidität ausgegangen werden. Forschungsfrage F1 ist daher mit der Tabelle im Anhang beantwortet: Mit den dort abgedruckten Formulierungen können technologiebezogene Überzeugungen von Lehrkräften und Studierenden valide erhoben werden.

Die Forschungsfragen F2.1 „*Lässt sich die erwartete Faktorenstruktur bei Studierenden empirisch nachweisen?*“ und F2.2 „*Lässt sich die erwartete Faktorenstruktur bei Lehrkräften empirisch nachweisen?*“ beziehen sich auf die Struktur und Zusammenhänge zwischen den Items und zwischen den latenten Konstrukten, die mit diesen Items erhoben werden. A priori wurde erwartet, dass mit den 38 Items acht verschiedene latente Überzeugungsvariablen erhoben werden können. Diese Hypothese musste in der konfirmatorischen Faktorenanalyse teilweise verworfen werden.

Das erste und auffälligste Ergebnis ist hier, dass die Skala „Auslagerungsprinzip“ bei Lehrkräften wie auch Studierenden komplett aufgegeben werden muss. Über die Gründe kann an dieser Stelle nur spekuliert werden: Einerseits ist die Operationalisierung dieses Aspektes anscheinend sehr schwierig, da er inhaltlich eng mit dem Zeitaspekt verknüpft ist (zwei Items der Skala enthalten sogar das Wort „Zeit“). Weiterhin ist die Auslagerung von Rechenarbeit an digitale Werkzeuge, wodurch dann wiederum Ressourcen freigesetzt werden, die anders im Unterricht genutzt werden können, schwer in kurze prägnante Formulierungen zu fassen und somit schlecht operationalisierbar.

Weiterhin kann festgestellt werden, dass sich bei Lehrkräften wie auch Studierenden die zwei postulierten Dimensionen „Gefahr für Denken und Verstehen“ und „Gefahr für (händische) Fertigkeiten“ nicht als zwei latente Dimensionen messen lassen, sondern ein gemeinsames Konstrukt „Nachteile“ bilden.

Unterschiede zwischen Lehrkräften und Studierenden zeigen sich schließlich bei den Dimensionen „Unterstützung von Darstellungswechseln“ und „Unterstützung Entdeckenden Lernens“. Während die beiden Dimensionen bei Studierenden in eine gemeinsame Skala „Vorteile“ zusammenfallen, lassen sich die Skalen bei Lehrkräften sehr gut abgrenzen. Möglicherweise besitzen Lehrkräfte aufgrund ihrer Unterrichtserfahrung hier differenziertere Überzeugungen als Studierende, die sich noch in der Ausbildung befinden.

Auch wenn die Repräsentativität der vorliegenden Stichprobe nicht gesichert werden kann, lassen sich in der deskriptiv-statistischen Analyse einige nennenswerte Punkte beobachten. So sind bei Studierenden die Überzeugungen bei den Skalen „Vorteile“ und „Nachteile“ ähnlich ausgeprägt. Es sind weder extrem positive noch negative Überzeugungen zu beobachten. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Gruppe der praktizierenden Lehrkräfte im Hinblick auf die positiv konnotierten Skalen „Unterstützung Entdeckenden Lernens“ und „Unterstützung von Darstellungswechseln“ sowie der Skala „Nachteile“.

Interessante Unterschiede zwischen Lehrkräften und Studierenden zeigen sich bei den Skalen „Zeitaufwand“ und „Erst Mathematik, dann Technologie“. Bei Studierenden ist die Überzeugung, dass der Einsatz digitaler Werkzeuge zeitaufwendig ist, sehr gering ausgeprägt ist (Mittelwert Skala „Zeitaufwand“: 2,23), während im Kontrast hierzu ausgebildete Lehrkräfte eher die Überzeugung zeigen, dass der Einsatz sehr zeitaufwendig ist (Mittelwert Skala „Zeitaufwand“: 3,59). Studierende besitzen zudem eher die Überzeugung, Technologie erst dann einzusetzen, wenn die Mathematik von Hand beherrscht wird (Mittelwert Skala „Erst Mathematik, dann Technologie“: 3,94), während Lehrkräfte offenbar etwas aufgeschlossener sind, Technologie auch dann einzusetzen, wenn die Verfahren noch nicht von Hand beherrscht werden (Mittelwert Skala „Erst Mathematik, dann Technologie“: 3,21).

Insgesamt kann festgehalten werden:

Die 23 in **Basismodell**** (s. Tabelle 7) verwendeten Items können für einen Fragebogen genutzt werden, der fünf latente Dimensionen technologiebezogener Überzeugungen bei **Lehramtsstudierenden** misst. Diese fünf Dimensionen sind mit „Allgemeine posi-

tive Grundeinstellung gegenüber Technologie“, „Vorteile“, „Zeitaufwand“, „Nachteile“ und „Erst Mathematik, dann Technologie“ benannt.

Skala	Items (s. Anhang)
Allg. pos. Grundeinst. geg. Techn.	tech1, tech2, tech3, tech4, tech5
Vorteile	repre4, entde1, entde2, entde4, entde6
Zeitaufwand	zeit1, zeit2, zeit3
Nachteile	algo1, algo2, verst1, verst2, verst3, verst4
Erst Mathematik, dann Technologie	erstmat1, erstmat2, erstmat3, erstmat4

Tab. 7: Übersicht über Skalen und Items des Basismodells**

Die 22 in **Basismodell#** (s. Tabelle 8) verwendeten Items können für einen Fragebogen genutzt werden, der fünf latente Dimensionen technologiebezogener Überzeugungen bei **Lehrkräften** misst. Diese fünf Dimensionen sind mit „Unterstützung von Darstellungswechsel“, „Unterstützung Entdeckenden Lernens“, „Zeitaufwand“, „Nachteile“ und „Erst Mathematik, dann Technologie“ benannt.

Skala	Items (s. Anhang)
Unterstützung von Darstellungswechseln	repre1, repre2, repre4, repre5
Unterstützung Entdeckenden Lernens	entde1, entde2, entde4, entde5, entde6
Zeitaufwand	zeit1, zeit2, zeit3
Nachteile	algo1, algo2, algo4, verst1, verst2, verst5
Erst Mathematik, dann Technologie	erstmat1, erstmat2, erstmat3, erstmat4

Tab. 8: Übersicht über Skalen und Items des Basismodells#

Für künftige Studien steht somit für die bildungswissenschaftliche Forschung ein erprobtes Messinstrument für Lehrkräfte sowie Studierende zur Verfügung. Insbesondere kann es helfen, Veränderungen technologiebezogener Überzeugungen quantitativ zu beschreiben.

Zu beachten sind jedoch einige Einschränkungen in der Aussagekraft der vorliegenden Studie.

Das ursprünglich angenommene Basismodell (s. Abbildung 1) konnte nicht bestätigt werden. Aufgrund inhaltlicher und statistischer Überlegungen wurden daraus veränderte Modelle für Lehrkräfte und Studierende hergeleitet. In diesem Fall liegt somit kein rein confirmatorisches Vorgehen mehr

vor, sondern die confirmatorische Faktorenanalyse umfasst auch explorative Anteile (vgl. Moosbrugger, 2012). Derart modifizierte Modelle sollten kreuzvalidiert werden, d.h. es sollte eine erneute Prüfung des modifizierten Modells an einer unabhängigen Stichprobe erfolgen (vgl. Bühner, 2011, S. 423).

Es ist weiterhin damit zu rechnen, dass aufgrund der freiwilligen Teilnahme insgesamt besonders engagierte und motivierte Lehrkräfte wie auch Studierende überproportional häufig in der Stichprobe vertreten sind. Insbesondere bei den Studierenden muss dadurch, dass der Fragebogen ausschließlich online angeboten wurde, angenommen werden, dass insbesondere solche Studierende zur Stichprobe gehören, die den Medien E-Mail und Internet wohlwollend gegenüberstehen.

Die Stichprobe der Lehrkräfte in NRW wurde erst wenige Wochen nach der verbindlichen Einführung des GTR in der gymnasialen Oberstufe durchgeführt. Hierdurch haben die meisten Lehrkräfte zum Zeitpunkt der Befragung erst wenig Unterrichtserfahrung mit dem GTR (durchschnittliche Unterrichtserfahrung mit dem GTR: 1,7 Jahre).

Weiterhin fehlte in der Untersuchung mit Lehrkräften die Skala zur allgemeinen positiven Grundeinstellung gegenüber Technologie, die somit auch nicht in weitere Analysen einging. Eine Stichprobe unter Einbezug dieser Skala ist im Projekt GTR NRW (Thurm et al., 2015) vorgesehen.

7. Ausblick

Weil die Repräsentativität der Stichprobe nicht sichergestellt ist, kann die Studie keine verallgemeinerbaren Aussagen über die Verteilung der Merkmale bei Lehrkräften und Lehramtsstudierenden im Fach Mathematik treffen. Solche Aussagen wären lohnende Ziele weiterführender Studien. So könnten beispielsweise Aussagen über geschlechts- sowie bundeslandspezifische Unterschiede sowie Zusammenhänge mit sozioökonomischen Daten oder anderen individuellen Dispositionen getroffen werden.

Die in der qualitativen Pilotierung identifizierte Dimension „Auslagerungsprinzip“ konnte für beide Zielgruppen nicht als messbares Konstrukt operationalisiert werden. Zudem konnte bei Lehrkräften wie auch Studierenden die Dimensionen „Gefahr für Denken und Verstehen“ und „Gefahr für (händische) Fertigkeiten“ nicht differenziert erfasst werden. Möglicherweise kann in beiden Fällen durch eine schärfere inhaltliche Abgrenzung in den Formulierungen der Items für Abhilfe gesorgt werden.

Im Rahmen der Studie GTR NRW wurden neben den technologiebezogenen Überzeugungen der

Lehrkräfte zwei Leistungstests im Bereich funktionaler Zusammenhänge in den Kursen dieser Lehrkräfte durchgeführt. In diesen Leistungstests wurde insbesondere auf Aspekte fokussiert, in denen ein Einfluss des GTR zu erwarten ist.

Aus der Literatur ist bekannt, dass nah am Fach operationalisierte Überzeugungen von Lehrkräften einen Zusammenhang zu Leistungen der ihnen anvertrauten Schülerinnen und Schülern aufweisen können (Bromme, 2005). Ob dieser Zusammenhang auch im Rahmen von GTR NRW mit über 3000 Schülerinnen und Schülern nachweisbar ist bzw. in welcher Form er sich realisiert, werden weitere Untersuchungen nach Studienabschluss zeigen.

Anmerkungen

¹ Vgl. RdErl. d. Ministeriums für Schule und Weiterbildung Nordrhein-Westfalen v. 27.06.2012 (523-6.08.01-105571)

Teile der geschilderten Forschungen wurden durch die Deutsche Telekom Stiftung finanziert. Die Ergebnisse sowie Textpassagen waren in Teilen Inhalt einer Masterarbeit an der Pädagogischen Hochschule Freiburg (vgl. Rögler 2015).

Danksagung

Wir bedanken uns für die konstruktiven Hinweise der Herausgeberinnen und Herausgeber sowie der anonymen Reviewerin bzw. des anonymen Reviewers.

Literatur

- Barzel, B. (2004). Warum gehören „neues Lernen“ und „neue Medien“ im Mathematikunterricht zusammen? *Der Mathematikunterricht*, 50(3), 52–62.
- Barzel, B. (2012). *Computeralgebra im Mathematikunterricht: Ein Mehrwert – aber wann?* Münster: Waxmann.
- Barzel, B. & Greefrath, G. (2015). Digitale Werkzeuge sinnvoll integrieren. In W. Blum (Hrsg.), *Bildungsstandards Mathematik: konkret: Sekundarstufe II* (S. 141–153). Berlin: Cornelsen.
- Barzel, B., Hußmann, S. & Leuders, T. (2005). *Computer, Internet & Co im Mathematikunterricht*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Barzel, B. & Möller, R. (2001). About the use of the TI-92 for an open learning approach to power functions. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 33(1), 1–5.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.
- Bichler, E. (2010). *Explorative Studie zum langfristigen Taschencomputereinsatz im Mathematikunterricht: Der Modellversuch Medienintegration im Mathematikunterricht (M3) am Gymnasium*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Bromme, R. (2005). The 'Collective Student' as the cognitive reference point of teachers' thinking about their students in the classroom. In P. M. Denicolo & M. Kompf (Hrsg.), *Teacher thinking and professional action* (S. 31–39). London: Routledge.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. München: Pearson Studium.
- da Ponte, J. P. (2001). Investigating mathematics and learning to teach mathematics. In F.-L. Lin & T. J. Cooney (Hrsg.), *Making sense of mathematics teacher education* (S. 33–52). Dordrecht: Kluwer.
- Dewey, B. L., Singletary, T. J., & Kinzel, M. T. (2009). Graphing calculator use in algebra teaching. *School Science and Mathematics*, 109(7), 383–393.
- DMV, GDM & MNU (2008). Standards für die Lehrerbildung im Fach Mathematik: Empfehlungen von DMV, GDM und MNU, Juni 2008. *Mitteilungen der DMV*, 16, 149–159.
- Doerr, H. M. & Zangor, R. (2000). Creating meaning for and with the graphing calculator. *Educational Studies in Mathematics*, 41(2), 143–163.
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., Reed, H. & Gravemeijer, K. (2010). The teacher and the tool: instrumental orchestrations in the technology-rich mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 75(2), 763–774.
- Duncan, A. G. (2010). Teachers' views on dynamically linked multiple representations, pedagogical practices and students' understanding of mathematics using TI-Nspire in Scottish secondary schools. *ZDM: The International Journal on Mathematics Education*, 42(7), 763–774.
- Ellington, A. J. (2003). A Meta-analysis of the effects of calculators on students' achievement and attitude levels in precollege mathematics classes. *Journal for Research in Mathematics Education*, 34(5), 433–463.
- Ellington, A. J. (2006). The effects of non-CAS graphing calculators on student achievement and attitude levels in mathematics: A meta-analysis. *School Science and Mathematics*, 106(1), 16–26.
- Fleener, M. J. (1995). A survey of mathematics teachers' attitudes about calculators: The impact of philosophical orientation. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 14(4), 481–498.
- Fornell, C. & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39–50.
- Glaser, B. G. & Strauss, A. L. (2010). *Grounded Theory: Strategien qualitativer Forschung* (3. Aufl.). Bern: Huber.
- Goldin, G. A. (2002). Affect, meta-affect, and mathematical belief structures. In G. C. Leder; E. Pehkonen & G. Törner (Hrsg.), *Beliefs: a hidden variable in mathematics education?* (S. 59–72). Dordrecht: Kluwer.

- Goldin, G., Rösken, B. & Törner, G. (2009). Beliefs – no longer a hidden variable in mathematical teaching and learning processes. In J. Maaß & W. Schlöglmann (Hrsg.), *Beliefs and attitudes in mathematics education: new research results* (S. 1–18). Rotterdam: Sense.
- Graham, A. T. & Thomas, M. O. J. (2000). Building a versatile understanding of algebraic variables with a graphic calculator. *Educational Studies in Mathematics*, 41(3), 265–282.
- Handal, B., Cavanagh, M., Wood, L. & Petocz, P. (2011). Factors leading to the adoption of a learning technology: The case of graphics calculators. *Australasian Journal of Educational Technology*, 27(2), 343–360.
- Hannula, M. S. (2011). The structure and dynamics of affect in mathematical thinking and learning. In M. Pytlak; T. Rowland & E. Swoboda (Hrsg.), *Proceedings of the Seventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (S. 34–60). Rzeszów: University of Rzeszów.
- Hannula, M. S. (2012). Exploring new dimensions of mathematics-related affect: embodied and social theories. *Research in Mathematics Education*, 14(2), 137–161.
- Heugl, H. (2014). *Mathematikunterricht mit Technologie: Ein didaktisches Handbuch mit einer Vielzahl an Aufgaben*. Linz: Veritas.
- Hollar, J. C. & Norwood, K. (1999). The effects of a graphing-approach intermediate algebra curriculum on students' understanding of function. *Journal for Research in Mathematics Education*, 30(2), 220–226.
- Hossiep, R. (2014). Cronbachs Alpha. In M. A. Wirtz (Hrsg.), *Dorsch: Lexikon der Psychologie* (17. Aufl., S. 359). Bern: Hans Huber.
- Kreijns, K., Van Acker, F., Vermeulen, M. & van Buuren, H. (2013). What stimulates teachers to integrate ICT in their pedagogical practices? The use of digital learning materials in education. *Computers in Human Behavior*, 29(1), 217–225.
- Kuntze, S. (2011). Vorstellungen von Lehrkräften über den Einsatz von Rechnern im Mathematikunterricht als mögliche Kontextvariablen für eine computergestützte Aufgabekultur – Ergebnisse einer Pilotuntersuchung mit Lehramtsstudierenden. In U. Kortenkamp; A. Lambert & A. Zeimetz (Hrsg.), *Computerwerkzeuge und Prüfungen: Aufgaben mit Technologieeinsatz im Mathematikunterricht* (S. 119–129). Hildesheim: Franzbecker.
- Kuntze, S. & Dreher, A. (2013). Pedagogical content knowledge and views of in-service and pre-service teachers related to computer use in the mathematics classroom. In A. M. Lindmeier & A. Heinze (Hrsg.), *Proceedings of the 37th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Bd. 3, S. 217–224). Kiel: PME.
- Laakmann, H. (2008). Multirepräsentationsprogramme im Mathematikunterricht: Neue Möglichkeiten durch freien Wechsel der Werkzeuge. *Der Mathematikunterricht*, 54(6), 44–49.
- Laakmann, H. (2013). *Darstellungen und Darstellungswechsel als Mittel zur Begriffsbildung: Eine Untersuchung in rechner-unterstützten Lernumgebungen*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Leonhart, R. (2014a). Durchschnittlich erfasste Varianz (DEV). In M. A. Wirtz (Hrsg.), *Dorsch: Lexikon der Psychologie* (17. Aufl., S. 429). Bern: Hans Huber.
- Leonhart, R. (2014b). Full-Information-Maximum-Likelihood-Verfahren (FIML). In M. A. Wirtz (Hrsg.), *Dorsch: Lexikon der Psychologie* (17. Aufl., S. 621). Bern: Hans Huber.
- Li, Q. & Ma, X. (2010). A meta-analysis of the effects of computer technology on school students' mathematics learning. *Educational Psychology Review*, 22(3), 215–243.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Beltz.
- Little, R. J. A. (1988). A test of missing completely at random for multivariate data with missing values. *Journal of the American Statistical Association*, 83(404), 1198–1202.
- Lüdtke, O., Robitzsch, A., Trautwein, U. & Köller, O. (2007). Umgang mit fehlenden Werten in der psychologischen Forschung: Probleme und Lösungen. *Psychologische Rundschau*, 58(2), 103–117.
- Mackey, K. (1999). Do we need calculators? In Z. Usiskin (Hrsg.), *Mathematics education dialogues* (S. 3). Reston: NCTM.
- McLeod, D. B. (1992). Research on affect in mathematics education: A reconceptualisation. In D. A. Grouws (Hrsg.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (S. 575–596). New York: Macmillan.
- Milou, E. (1999). The graphing calculator: A survey of classroom usage. *School Science and Mathematics*, 99(3), 133–140.
- Moosbrugger, H. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin: Springer.
- Ng, W. L. (2003). Developing a computer algebra system (CAS) attitude scale: a survey of pre-service teachers' attitudes toward CAS. *Mathematics Educator*, 7(1), 96–109.
- Oser, F. & Blömeke, S. (2012). Überzeugungen von Lehrpersonen: Einführung in den Thementeil. *Zeitschrift für Pädagogik*, 58(4), 415–421.
- Özgün-Koca, S. A. (2010). Prospective teachers' views on the use of calculators with computer algebra system in algebra instruction. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 13(1), 49–71.
- Özgün-Koca, S. A. (2011). Prospective mathematics teachers' views on the use of computer algebra systems. In B. Ubuz (Hrsg.), *Proceedings of the 35th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Bd. 3, S. 305–312). Ankara: Middle East Technical University.
- Pehkonen, E. (1994). On differences in pupils' conceptions about mathematics teaching. *Mathematics Educator*, 5(1), 3–10.
- Peschek, W. (1999). Mathematische Bildung meint auch Verzicht auf Wissen. In G. Kadunz; G. Ossi-

- mitz; W. Peschek; E. Schneider & B. Winkelmann (Hrsg.), *Mathematische Bildung und neue Technologien: Vorträge beim 8. Internationalen Symposium zur Didaktik der Mathematik, Universität Klagenfurt, 28.9. – 2.10.1998* (S. 263–270). Leipzig: Teubner.
- Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2009). *Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur Stärkung der mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bildung (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 07.05.2009)*.
- Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2012). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.10.2012)*. Köln: Link.
- 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.
- Pierce, R., Ball, L. & Stacey, K. (2009). Is it worth using CAS for symbolic algebra manipulation in the middle secondary years? Some teachers' views. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(6), 1149–1172.
- Pierce, R. & Ball, L. (2009). Perceptions that may affect teachers' intention to use technology in secondary mathematics classes. *Educational Studies in Mathematics*, 71(3), 299–317.
- Pierce, R., Stacey, K. & Barkatsas, A. (2007). A scale for monitoring students' attitudes to learning mathematics with technology. *Computers & Education*, 48, 285–330.
- Porst, R. (2014). *Fragebogen: Ein Arbeitsbuch*. Wiesbaden: Springer VS.
- Prüfer, P. & Rexroth, M. (2005). *Kognitive Interviews, ZUMA How-to-Reihe, Nr. 15*. Zugriff unter http://www.gesis.org/fileadmin/upload/forschung/publikationen/gesis_reihen/howto/How_to15PP_MR.pdf (Stand: 10.07.2015)
- Raykov, T. (2001). Estimation of congeneric scale reliability using covariance structure analysis with nonlinear constraints. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 54(2), 315–323.
- Rögler, P. (2014). Überzeugungen von Mathematiklehrkräften als Basis zur Entwicklung von Lehrerfortbildung zu Technologien im Unterricht. In J. Roth & J. Ames (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2014: Beiträge zur 48. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik vom 10. bis 14. März 2014 in Koblenz* (Bd. 2, S. 983–986). Münster: WTM.
- Rögler, P. (2015). *Technologiebezogene Überzeugungen bei Studierenden des Lehramts Mathematik: Adaption und Überprüfung eines Messinstruments* (Unveröffentlichte Masterarbeit, Pädagogische Hochschule Freiburg, Freiburg).
- Rögler, P., Barzel, B. & Eichler, A. (2013). Teachers' beliefs referring to teaching with technology. In A. Lindmeier & A. Heinze (Hrsg.), *Proceedings of the 37th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Bd. 5, S. 154). Kiel: PME.
- Ruthven, K. (2009). Towards a calculator-aware number curriculum. *Mediterranean Journal for Research in Mathematics Education*, 8(1), 111–124.
- Schafer, J. L. & Graham, J. W. (2002). Missing data: our view of the state of the art. *Psychological Methods*, 7(2), 147–177.
- Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H. & Müller, H. (2003). Evaluating the fit of structural equation models: tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures. *Methods of Psychological Research Online*, 8(2), 23–74.
- Schwenk-Schellschmidt, A. (2013). Mathematische Fähigkeiten zu Studienbeginn. Symptome des Wandels – Thesen zur Ursache. *Die Neue Hochschule*, 14(1), 26–29.
- Spitzer, M. (2012). *Digitale Demenz – Wie wir uns und unsere Kinder um den Verstand bringen*. München: Droemer.
- Staub, F. C. & Stern, E. (2002). The nature of teachers' pedagogical content beliefs matters for students' achievement gains: quasi-experimental evidence from elementary mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 344–355.
- Simmt, E. (1997). Graphing calculators in high school mathematics. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 16(2), 269–289.
- Thurm, D., Klinger, M. & Barzel, B. (2015). How to professionalize teachers to use technology in a meaningful way – design research of a CPD program. In S. Carreira & N. Amado (Hrsg.), *Proceedings of the 12th International Conference on Technology in Mathematics Teaching: ICTMT 12* (S. 335–343). Faro: University of Algarve.
- Tobin, P., Routitsky, A. & Jones, P. (1999). Graphics calculators in Victorian secondary schools: Teacher perceptions of use. In J. M. Truran & K. M. Truran (Hrsg.), *Making the difference: Proceedings of the 22nd annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia* (S. 502–506). Adelaide: MERGA
- Törner, G. (2002). Mathematical beliefs – a search for a common ground. In G. C. Leder; E. Pehkonen & G. Törner (Hrsg.), *Beliefs: a hidden variable in mathematics education?* (S. 73–94). Dordrecht: Kluwer.
- Weigand, H.-G. (2006). Der Einsatz eines Taschencomputers in der 10. Jahrgangsstufe. Evaluation eines einjährigen Schulversuchs. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 27(2), 89–112.
- Wirtz, M. A. (Hrsg.). (2014). *Dorsch: Lexikon der Psychologie* (17. Aufl.). Bern: Hans Huber.
- Zbiek, R. M., Heid, M. K., Blume, G. W. & Dick, T. P. (2007). Research on technology in mathematics education – a perspective of constructs. In F. K. Lester (Hrsg.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (S. 1169–1207). Charlotte: Information Age.

Anschrift der Verfasser

Daniel Thurm,
Marcel Klinger,
Prof. Dr. Bärbel Barzel
Universität Duisburg-Essen
Fakultät für Mathematik
Thea-Leymann-Str. 9
45127 Essen
daniel.thurm@uni-due.de,
marcel.klinger@uni-due.de,
baerbel.barzel@uni-due.de

Paul Rögler
Pädagogische Hochschule Freiburg
Institut für Mathematische Bildung
Kunzenweg 21
79117 Freiburg
paul.roegler@posteo.de

Anhang

Im Folgenden finden sich die Items des finalen Fragebogens nach Abschluss der qualitativen Pilotierung im genauen Wortlaut (s. Tabelle 9). Für die Beantwortung ist Probanden eine fünfstufige Likert-Skala anzubieten. Die Antwortmöglichkeiten sind mit „stimme gar nicht zu“, „stimme eher nicht zu“, „unentschieden“, „stimme eher zu“ und „stimme voll zu“ zu beschriften. Item „tech2“ ist semantisch invers formuliert und folglich zu rekodieren. Der quantitative Studienteil hat gezeigt, dass die Verwendung eines Teilitemsatzes sinnvoll ist und je nach Zielgruppe nicht der vollständige Itemsatz herangezogen werden sollte.

Lfd. Nr.	Itemname	Itemtext
1	ausla1	Der Einsatz von Technologie hat den Vorteil, dass durch das Auslagern von Verfahren/Prozeduren an einen Rechner im Mathematikunterricht mehr Zeit für Anderes bleibt.
2	ausla2	Ich finde es gut, dass durch den Technologieeinsatz Schülerinnen und Schüler von Rechnungen befreit werden.
3	ausla3	Der Einsatz von Technologie im Mathematikunterricht setzt Unterrichtszeit frei, weil weniger Zeit für Berechnungen aufgewendet werden muss.
4	ausla4	Durch Technologieeinsatz tritt mehr und mehr das Verständnis, das Begründen und das Problemlösen an die Stelle des stupiden Rechnens.
5	ausla5	Technologie sollte dafür genutzt werden, dass der Schwerpunkt sich vom Rechnen wegbewegt.
6	ausla6	Technologie sollte so eingesetzt werden, dass Verfahren/Prozeduren im Unterricht weniger wichtig werden.
7	repre1	Ein entscheidender Vorteil von Technologie ist die Möglichkeit, schnell zwischen den Darstellungen als Term, Bild und Tabelle zu wechseln.
8	repre2	Technologie hilft beim Vernetzen der verschiedenen Darstellungsformen (z. B. Bild, Tabelle, Term).
9	repre3	Technologie unterstützt, dass Schülerinnen und Schüler das Einbeziehen verschiedener Darstellungsarten häufiger als Strategie nutzen.
10	repre4	Durch Technologieeinsatz können Schülerinnen und Schüler unterschiedliche Darstellungsformen nutzen, um Probleme oder Aufgaben zu lösen.
11	repre5	Der Technologieeinsatz hilft, dass Schülerinnen und Schüler den Zusammenhang zwischen Term, Tabelle und Graph einer Funktion besser verstehen.
12	entde1	Durch Technologie können viele Beispiele erzeugt werden, so dass Schülerinnen und Schüler selbstständig Zusammenhänge und Strukturen (z. B. Symmetrien von Funktionsgraphen) erkennen.
13	entde2	Technologie unterstützt Aufgabenformate, bei denen Schülerinnen und Schüler neue Inhalte selbst entdecken können.
14	entde3	Man sollte Technologie für einen Mathematikunterricht nutzen, in dem sich Schülerinnen und Schüler mathematische Sachverhalte selbst erarbeiten .
15	entde4	Technologie ermöglicht, dass Schülerinnen und Schüler mathematische Sachverhalte (z. B. Bedeutung von Parametern) selbst entdecken.
16	entde5	Der Einsatz von Technologie führt dazu, dass sich Schülerinnen und Schüler aktiv einzelne Inhaltsaspekte selbst aneignen.
17	entde6	Der Technologieeinsatz ermöglicht in besonderer Weise, dass Schülerinnen und Schüler selbstständig offene Problemstellungen erkunden.
18	zeit1	Der Einsatz von Technologie kostet wertvolle Zeit, die dann im Mathematikunterricht fehlt.
19	zeit2	Auf Technologie sollte im Mathematikunterricht verzichtet werden, weil sonst zu viel Zeit verloren geht.
20	zeit3	Die Einführung von Technologie kostet so viel Zeit, dass sich der Einsatz nicht lohnt.
21	algo1	Mit Technologie verlernen Schülerinnen und Schüler Prozeduren und Algorithmen (oder lernen sie erst gar nicht).
22	algo2	Der Einsatz von Technologie führt dazu, dass Rechenverfahren schlechter oder gar nicht mehr beherrscht werden.
23	algo3	Schülerinnen und Schüler verlieren durch den Einsatz von Technologie wesentliche Grundfertigkeiten (z. B. Kopfrechnen, Verfahren der Bruchrechnung oder präzises Zeichnen).
24	algo4	Wesentliche Fertigkeiten (z. B. Lösen von Gleichungssystemen, Berechnen von Matrizen oder Ableiten von Funktionen) werden von Schülerinnen und Schülern aufgrund des Technologieeinsatzes weniger beherrscht.
25	verst1	Wenn Technologie im Mathematikunterricht eingesetzt wird, denken die Schülerinnen und Schüler weniger nach und verlassen sich blind auf das, was die Technologie ausgibt.
26	verst2	Technologie verleitet Schülerinnen und Schüler dazu, jede Aufgabe unreflektiert mit dem

		Rechner zu bearbeiten.
27	verst3	Wenn Schülerinnen und Schüler Technologie zur Verfügung haben, denken sie weniger nach.
28	verst4	Beim Einsatz von Technologie im Mathematikunterricht besteht die Gefahr, dass Schülerinnen und Schüler nur unverstandene Befehlsfolgen eintippen.
29	verst5	Ergebnisse der Technologie werden von Schülerinnen und Schülern unkritisch als richtig betrachtet .
30	tech1	Es macht mir Spaß, mit Technologie zu arbeiten.
31	tech2	Mit Technologie kann man mich jagen.
32	tech3	Ich persönlich nutze Technologie so oft wie möglich.
33	tech4	Die Arbeit mit Technologie bereitet mir Freude.
34	tech5	Ich freue mich schnell mit neuen Technologien an.
35	erstmat1	Technologie darf erst eingesetzt werden, wenn die Mathematik von Hand beherrscht wird.
36	erstmat2	Schülerinnen und Schüler sollten die mathematischen Verfahren richtig verstanden haben, bevor ihnen Technologie an die Hand gegeben wird.
37	erstmat3	Schülerinnen und Schüler sollten innerhalb einer Unterrichtseinheit nicht zu früh mit Technologie arbeiten, sondern erst wenn sie die Mathematik hinreichend verstanden haben.
38	erstmat4	Technologie darf erst als Arbeitserleichterung für Verfahren eingesetzt werden, wenn die Verfahren bereits ohne Technologie beherrscht werden.

Tab. 9: Übersicht über die Items des finalen Fragebogens nach Abschluss der qualitativen Pilotierung im genauen Wortlaut