

Digitale Mathematik-Lernumgebungen für die Sekundarstufe: Ein Wechselspiel zwischen Empirie und Praxis

ROBERT WEINHANDL; EDITH LINDENBAUER; SELINA BALDINGER; MARKUS KAPPLMÜLLER; VIKTORIA RIEGLER; CARINA SCHOBERSBERGER, LINZ

Der vorliegende Konferenzbericht thematisiert die Entwicklung von Personas zur Erstellung schüler:innengerechter Mathematiksoftwares im Rahmen unserer Studie (Weinhandl et al., 2022; Weinhandl et al., 2023). Personas bilden dabei Repräsentant:innen einer bestimmten Schüler:innenpopulation, wobei jeder dieser fiktiven Charaktere für eine ausgewählte Teilmenge der Population steht. Der Bericht gibt Einblick in die iterative, datenbasierte Erstellung von Personas speziell für digitale Lernumgebungen im Fach Mathematik und setzt diese in Bezug zu den grundlegenden theoretischen Konzepten zum Technologieeinsatz im Unterricht. Darauf aufbauend wird die praktische Anwendung von Personas anhand der Initiative „FLINK in Mathe“, die Mathematiklehrkräfte beim Technologieeinsatz im Unterricht unterstützen soll, exemplarisch dargelegt. An diesem Beispiel wird gezeigt, welche Aspekte technologiegestützten Lernens – abgeleitet aus den Personas – beim Erstellen von digitalen Materialien in besonderer Weise zu berücksichtigen sind, um potentiellen Bedürfnissen von Lernenden bestmöglich zu begegnen.

Einleitung

Der technische Fortschritt und die voranschreitende Digitalisierung führen zu umfassenden Veränderungen, die auch Auswirkungen auf das Bildungswesen haben. Dies gilt insbesondere in Österreich, wo unsere Studie (Weinhandl et al., 2022; Weinhandl et al., 2023) in der Sekundarstufe II durchgeführt wurde, da hier zwei besondere Voraussetzungen hinsichtlich des Technologieeinsatzes im Unterrichtsfach Mathematik herrschen (Weinhandl et al., 2021).

Als Reaktion auf die neuen Herausforderungen im Zusammenhang mit der Digitalisierung hat das österreichische Bildungsministerium einen 8-Punkte-Plan entwickelt (BMBWF, 2018). Im Zuge der Umsetzung dieses Plans sollen alle Schüler:innen der Sekundarstufe I Zugang zu einem eigenen digitalen Endgerät erhalten. Daher wurden im Schuljahr 2021/22 digitale Lerngeräte in der 5. und 6. Schulstufe ausgegeben. Ab dem Schuljahr 2022/23 erhalten alle nachrückenden Schüler:innen der 5. Schulstufe digitale Endgeräte. Darunter fallen Notebooks, Convertibles und Tablets mit externer Tastatur und optionaler Stifteingabe (Weinhandl et al., 2021). Ziel dieser Initiative ist es, die Grundlage für technologiegestützten Unterricht zu schaffen und allen Schüler:innen gleichermaßen den Zugang zu digitaler Bildung zu ermöglichen (BMBWF, 2023c).

Die zweite Besonderheit ist durch die standardisierte Reifeprüfung am Ende der Sekundarstufe II (Matura) gegeben, die im Fach Mathematik spezielle Anforderungen stellt. Die Prüfungsordnung AHS §18 (3) sieht die Verwendung digitaler Technologien zur Bewältigung der Mathematik-Matura vor, welche die grundlegenden Funktionen professioneller Mathematik-Softwares in schüler:innengerechter Form bieten:

„Die Minimalanforderungen an elektronische Hilfsmittel sind grundlegende Funktionen zur Darstellung von Funktionsgraphen, zum numerischen Lösen von Gleichungen und Gleichungssystemen, zur Ermittlung von Ableitungs- bzw. Stammfunktionen, zur numerischen Integration sowie zur Unterstützung bei Methoden und Verfahren in der Stochastik.“ (BMBWF, 2023a)

Zu diesem Zweck können neben grafikfähigen, programmierbaren Taschenrechnern auch Computersoftwares zum Einsatz kommen, welche die genannten Ansprüche erfüllen.

Die genannten Gegebenheiten unterstreichen die Rolle digitaler Lernumgebungen im Unterricht. In diesem Artikel werden dazu zwei unserer Forschungsschwerpunkte genauer diskutiert, durch die Lehrende bei der Gestaltung und dem Einsatz digitaler Lernumgebungen unterstützt werden sollen:

einerseits die theoriebasierte Entwicklung von Personas für den Mathematikunterricht und deren Relevanz für die Gestaltung digitaler Lernumgebungen (Abs. 2) und andererseits das Projekt „FLINK in Mathe“ mit der Zielsetzung, digitale Materialien für die unmittelbare Praxis, basierend auf theoretischen fachdidaktischen Konzepten, zu erstellen (Abs. 3). Bevor genauer auf diese beiden Projekte eingegangen wird, beleuchtet dieser Artikel zuerst einige relevante Aspekte des Technologieeinsatzes im Mathematikunterricht.

1. Technologieeinsatz im Mathematikunterricht

Der Einsatz von Technologie kann mitunter neue Möglichkeiten im Mathematikunterricht eröffnen. Im Folgenden wird näher darauf eingegangen, indem zunächst die Möglichkeiten der Technologieintegration im Mathematikunterricht näher beschrieben werden und im Anschluss die Rolle von Lehrpersonen als Designer:innen von technologiegestütztem Unterricht beleuchtet wird.

1.1 Möglichkeiten der Technologieintegration im Mathematikunterricht

Zahlreiche mathematische Themen und Lehrstoffgebiete können durch Technologien unterstützt im Unterricht behandelt werden, folgende Themengebiete stellen somit nur einen Ausschnitt der vorhandenen Anwendungsmöglichkeiten dar. Computeralgebra Software-Programme können, wie ihr Name schon sagt, beispielsweise im Bereich der Algebra eingesetzt werden (Janßen, 2022), digitale Werkzeuge beim Verständnisaufbau des Funktionsbegriffs und der Entwicklung des funktionalen Denkens unterstützen (Günster & Weigand, 2022) und Tablet-Apps beim Erwerb arithmetischer Kompetenzen helfen (Ladel, 2022). Im Bereich der Geometrie kann mit dynamischen Geometrie-Softwares gearbeitet werden (Elschenbroich & Sträßer, 2022) und auch beim Thema Statistik können digitale Werkzeuge zum Einsatz kommen, um beispielsweise die Bearbeitung von großen realen Datensätzen zu ermöglichen (Eichler & Vogel, 2022). Weiters kann Augmented Reality bei der Erarbeitung des Volums- und Funktionsbegriffs und beim Modellieren im Mathematikunterricht eingesetzt werden (Beckmann, 2022). Auch beim Lösen von Gleichungen und Ungleichungen und der Veranschaulichung der Lösungen kann Technologie zur Anwendung kommen (Molnár, 2016).

Neben den Lehrstoffgebieten können auch die Handlungsdimensionen des Kompetenzmodells für Mathematik in der Sekundarstufe II durch Technologie unterstützt werden. Zu den Bereichen dieser Handlungsdimensionen gehören Darstellen, Modellbilden; Rechnen, Operieren; Interpretieren und Argumentieren, Begründen (BMBF, 2012). Die Handlungen „Darstellen und Modellieren“ können mit Hilfe von Augmented Reality erfolgen. Mathematische Objekte können in einer solchen Umgebung beispielsweise mit geeigneten Repräsentationen veranschaulicht werden (Florian & Kortenkamp, 2022). Auch dynamische Geometrie-Softwares können beim Modellieren zum Einsatz kommen. Wichtig für die Entwicklung von Modellierungskompetenzen ist dabei die Sicherheit im Umgang mit dem Werkzeug (Hankeln, 2019). Im Bereich „Rechnen und Operieren“ kann Technologie die Reduktion schematischer Abläufe und Verarbeitung großer Datenmengen ermöglichen (Heintz et al., 2016). So können mithilfe von Technologie beispielsweise Tabellen und Funktionsgraphen selbst erstellt werden, die im Anschluss auch zum Interpretieren verwendet werden können (Egger, 2022). Die Handlungen „Argumentieren und Begründen“ können beispielsweise durch die Arbeit an einem Blog angeregt werden. In diesem können die Schüler:innen ihr Denken erklären, begründen und argumentieren und jenes ihrer Mitschüler:innen kommentieren (Stoyle & Morris, 2017).

1.2 Lehrpersonen als Designer:innen von technologiegestütztem Unterricht

Forschungen zum Technologieeinsatz im Unterricht können oft nur geringe positive Auswirkungen auf die Lernleistungen der Schüler:innen nachweisen (Drijvers et al., 2016). Laut Drijvers et al. (2016) ist die Annahme, dass digitale Technologien allgemein positiv oder negativ sind, nicht angemessen.

Vielmehr hängt deren Effekt von der Anwendung der konkreten Technologie, der pädagogischen Umgebung und der Inszenierung durch die Lehrperson ab. Es ist somit die Art und Weise der Umsetzung, die zählt. Auch Clark-Wilson et al. (2014) betonen die veränderte und komplexere Rolle von Lehrpersonen beim Einsatz von Technologie im Mathematikunterricht.

Die Integration von Technologie im Mathematikunterricht kann durch bestimmte Faktoren gehindert, aber auch gefördert werden. Der erste relevante Faktor ist das Design der Technologie und der zugehörigen Aufgaben und Aktivitäten sowie das Design des Unterrichts. Weiters stellt die Rolle der Lehrperson einen wichtigen Faktor dar, da diese das Lernen organisieren muss, indem sie beispielsweise die Ergebnisse von technologiebasierten Aktivitäten zusammenfasst oder die Erfahrungen in der technologischen Umgebung mit anderen mathematischen Aktivitäten verknüpft. Den dritten Faktor bildet der Bildungskontext, der bei technologiebezogenen Aktivitäten berücksichtigt werden sollte (Drijvers, 2015).

Laut Roth (2019) spielen bei der erfolgreichen Integration von Technologie in den Unterricht die Schüler:innen, der Inhalt, die Lehrperson und das digitale Werkzeug eine wesentliche Rolle. Diese vier Aspekte können durch die Ecken im didaktischen Tetraeder, welches in Abbildung 1 dargestellt ist, veranschaulicht werden. Das digitale Tool oder Material fungiert dabei als Mittler zwischen den anderen drei Eckpunkten. Beim Verstehen und Problemlösen im Mathematikunterricht spielen alle vier Eckpunkte des didaktischen Tetraeders zusammen. Dennoch kann es sinnvoll sein, die spezifischen Beziehungen und somit einzelnen Flächen des Tetraeders zu fokussieren, analysieren und reflektieren. So bezieht sich die Grundfläche des Tetraeders rein auf Prozesse, die zwischen den Schüler:innen, der Lehrperson und dem mathematischen Inhalt stattfinden. Bei der hinteren Fläche kann es sich um einen Prozess handeln, bei dem die Lehrperson eine Lernumgebung zu einem mathematischen Inhalt unter Verwendung eines digitalen Werkzeuges konzipiert. Die rechte Fläche stellt Lern- und Problemlöseprozesse der Schüler:innen mit Hilfe digitaler Werkzeuge dar. Die vordere Fläche veranschaulicht die Unterstützung der Schüler:innen durch die Lehrperson bei der Verwendung digitaler Geräte durch die Vermittlung von Bedienungs-, Problemlöse- und Reflexionsstrategien (Roth, 2019).

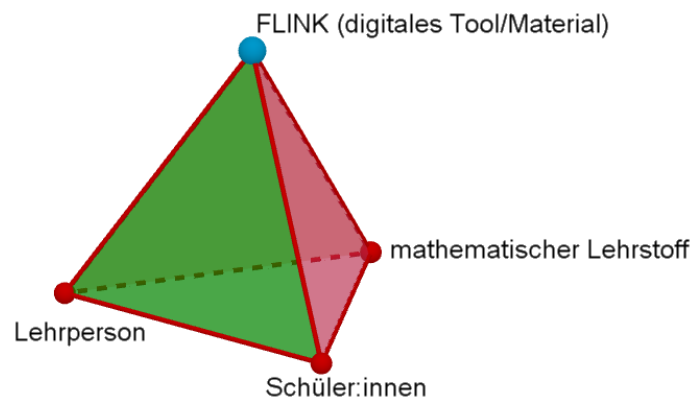


Abb. 1: Didaktisches Tetraeder modifiziert nach Trgalová, Clark-Wilson und Weigand (2018)

Laut Sawaya und Putnam (2015) sollten Lehrkräfte ihre Planung von Lernaktivitäten mit digitalen Geräten zudem an den mathematischen Lernzielen, den Lernaktivitäten für die Schüler:innen und den Vorteilen der verwendeten Technologie beim Mathematiklernen orientieren. Einen Aspekt zur Unterstützung beim Design von digitalen Lernumgebungen und Materialien bietet dazu das Konzept der Personas.

2. Personas im Kontext technologiegestützten Mathematiklernens

Personas sind fiktive, archetypische Nutzer:innen von technologiegestützten oder technologischen Systemen, die bei der Erstellung und Weiterentwicklung ebensolcher Systeme zum Einsatz kommen. (Antle, 2008; Minichiello et al., 2017; van Rooij, 2012). Das zugehörige Konzept stammt aus der User Experience Forschung (UX-Forschung) (Cooper, 2004).

Im Folgenden wird der Fokus auf Personas im Kontext technologiegestützten Mathematiklernens gelegt, indem näher auf das Konzept der Personas, theoretische Grundlagen zu Technologien im Mathematikunterricht und die Dimensionen des mathematischen Lernens eingegangen wird. Ferner wird diskutiert, wie mithilfe von Personas die Bedürfnisse einer Zielgruppe von Schüler:innen bestmöglich abgebildet werden können, um durch deren Einsatz die Benutzerfreundlichkeit digitaler Systeme zu optimieren.

2.1 Das Konzept der Personas

Personas repräsentieren potentielle User:innen, denen bestimmte Bedürfnisse, Wünsche, Erfahrungen, Kompetenzen, Interessen, Verhaltensweisen und ein bestimmtes Vorwissen zugeschrieben werden, worauf im Zuge der Systementwicklung eingegangen werden kann (Lilley et al., 2012; van Rooij, 2012). Darüber hinaus fließen verschiedene Emotionen wie Freude oder Angst in die Erstellung mit ein. Mittlerweile finden Personas in verschiedensten Gebieten Anwendung, so etwa im Bibliothekswesen (Lewis & Contrino, 2016; Zaugg & Rackham, 2016) und bei der Gestaltung und Erzeugung von Lernumgebungen (Lilley et al., 2012). Im pädagogischen Kontext bieten Personas die Chance, unterschiedliche Herausforderungen, mit denen Schüler:innen im Unterricht konfrontiert sind, greifbar zu machen, indem sie Informationen zur Schüler:innenpopulation in verdichteter Form wiedergeben. Anhand von Personas kann zudem implizites Wissen, das Lehrkräfte über Schüler:innen haben, explizit und sichtbar gemacht werden. Speziell im Bereich der Mathematikdidaktik der Sekundarstufe II existieren jedoch bisher nur vereinzelt Forschungsergebnisse zum Einsatz von Personas (Weinhandl et al., 2022).

Die Charakteristika der Personas sind nicht beliebig, sondern werden in einem systematischen Prozess definiert und ausgearbeitet. Es sind dabei zwei grundlegende Herangehensweisen zu unterscheiden. Werden Personas anhand bestehenden Datenmaterials sowie der Vorannahmen und Erfahrungen Einzelner entworfen, so ist von Ad-hoc-Personas die Rede. Werden zum Zweck der Erstellung hingegen gezielt Daten erhoben und analysiert, um tiefgreifende Einblicke in die zu repräsentierende Population zu gewinnen, so spricht man von datenbasierten Personas (Lilley et al., 2012; Minichiello et al., 2018).

In beiden Fällen werden Eigenschaften, die einer bestimmten Teilmenge der betreffenden Population zugeschrieben werden, in der entsprechenden Persona gebündelt. Das Resultat ist eine Art Steckbrief, welcher den Namen, ein Portrait und relevante Informationen enthält. Je nach Praktikabilität kann dieser als Fließtext, als Tabelle oder als Aufzählung strukturiert sein (Weinhandl et al., 2022).

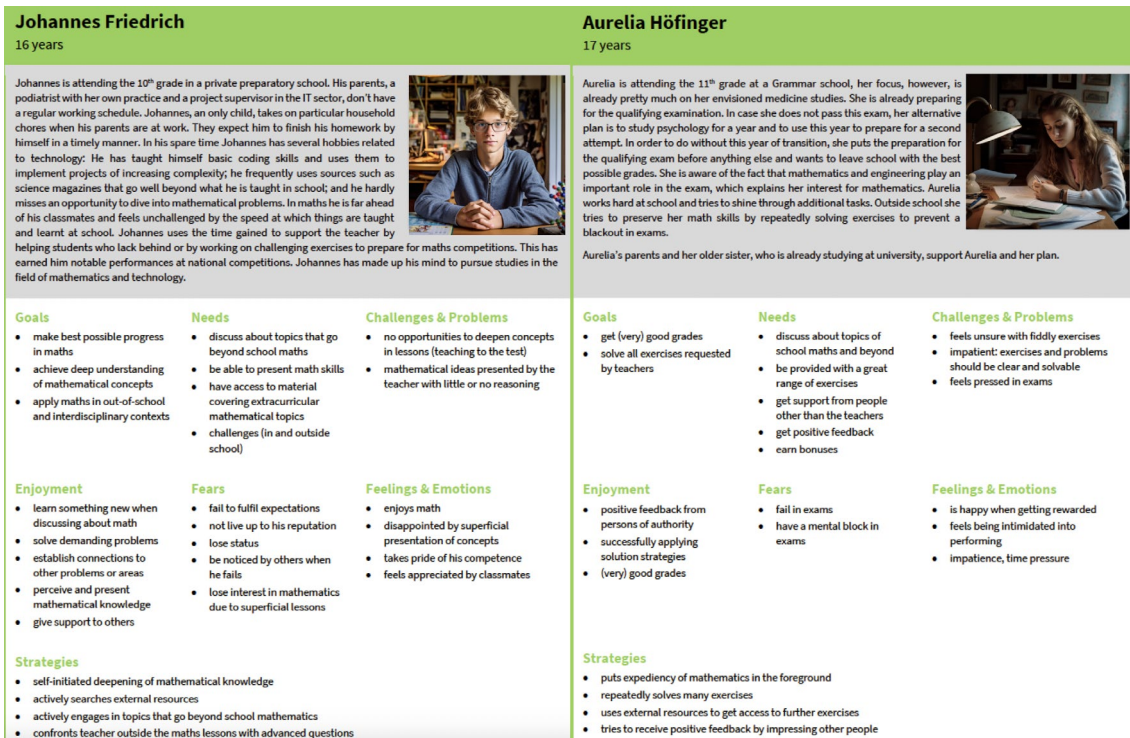


Abb. 2: Prototypische Personas von Mathematik-Schüler:innen

Die Verwendung fiktiver Charaktere, die in sich eine Vielzahl an Informationen in verdichteter Form transportieren, bietet gegenüber konventionellen Darstellungen empirischer Daten den Vorteil, dass Systemdesigner:innen die speziellen Ansprüche gewisser Gruppen von Nutzer:innen besser nachvollziehen können. Personas präsentieren nicht lediglich eine Zusammenfassung von Daten, sondern rufen bei den Rezipient:innen mehr Verständnis und Empathie für eine anonyme Zielgruppe hervor (Ferreira et al., 2015; Sundt & Davis, 2017; van Rooij, 2012; Vorvoreanu et al., 2016).

Die Erstellung von Personas beruht in der Regel sowohl auf qualitativen als auch quantitativen Daten, wobei neben Primärdaten auch Sekundärdaten in Betracht zu ziehen sind (Sundt & Davis, 2017; Volentine et al., 2017). Bei Primärdaten handelt es sich um Informationen, die direkt von der Zielgruppe der Nutzer:innen abgefragt werden. Zur Erhebung von Sekundärdaten werden nicht die Nutzer:innen selbst zu Rate gezogen, sondern Dritte, die Auskunft über sie geben können (Sundt & Davis, 2017; Volentine et al., 2017). Unsere Arbeit betreffend, werden darunter Lehrkräfte wie auch Lehramtsstudierende des Unterrichtsfaches Mathematik verstanden. Es wird davon ausgegangen, dass diese aufgrund pädagogisch-didaktischer Kenntnisse sowie eines bestimmten Maßes an berufspraktischer Erfahrung nützliches Wissen zur Schüler:innenpopulation innehaben.

Personas stoßen immer wieder auf Kritik, die vor allem auf Punkte wie Subjektivität, die Abhängigkeit von Sekundärdaten und die geringe Samplegröße zielt, die das Konzept mit sich bringt (Miaszkiewicz et al., 2008; van Rooij, 2012; Volentine et al., 2017; Vorvoreanu et al., 2016). Daraus resultieren weitere Empfehlungen zur Qualitätssteigerung beim Erstellen von Personas. Diese umfassen das Entwerfen eines vordefinierten Systems für die Datenerhebung, die Berücksichtigung möglichst verschiedener Interessensgruppen, die schrittweise Evaluation und Verfeinerung der Personas, sowie die Verwendung aktuellen Datenmaterials (Lewis & Contrino, 2016; Miaszkiewicz et al., 2008; Minichiello et al., 2018; Zaugg & Rackham, 2016).

In Anlehnung daran wurden im Zuge unserer Studie zur Entwicklung von mathematikbezogenen Schüler:innen-Personas (Weinhandl et al., 2022; Weinhandl et al., 2023) zuerst Ad-hoc-Personas entworfen, basierend auf von uns gesammelten Sekundärdaten zu Schüler:innen der Oberstufe. Mithilfe der Ad-hoc-Personas wurde unser Verfahren zur Datenerhebung in Form einer quantitativen Pilotstudie

erprobt und anschließend überarbeitet. Nach Beendigung des Überarbeitungsprozesses wurde schließlich eine groß angelegte quantitative Befragung von Oberstufenschüler:innen durchgeführt. Auf diese Weise sollte die weitgehende Repräsentativität unserer Personas für Schüler:innen der Sekundarstufe II sichergestellt werden.

Personas sind ein neuartiger Versuch, die Eigenschaften von Lernenden besonders eindrücklich abzubilden. Über die Interpretation statistischer Kenngrößen wie Mittelwerten und Extrema hinweg liegt der Fokus vor allem auf speziellen Charakteristika ausgewählter Teilmengen der untersuchten Population (Weinhandl et al., 2023). Diese Informationen können auch bei der Konzipierung digitaler Lernumgebung für Schüler:innen dienlich sein, wie der folgende Abschnitt zeigen soll.

2.2 Mathematikunterricht in digitalen Lernumgebungen

Hinter sämtlichen Modellen zum Technologieeinsatz in der Schule und über alle gängigen Definitionen hinweg, steht die Idee, dass technologiegestütztes Lernen im Vergleich zu analogen Unterrichtsformen, gemessen an den Learning Outcomes, unter bestimmten Bedingungen einen Mehrwert bietet (Zeller & Barzel, 2010).

Werden digitale Elemente nicht nur gelegentlich in den Unterricht eingestreut, sondern bilden diese mitunter die Basis schulischen Lernens, so ist von Technology-enhanced learning environments (TELEs) die Rede. Diese enthalten unter anderem digitale Lernprogramme, -apps und -spiele (Fowler et al., 2021; Kurvinen et al., 2020; Law et al., 2016). Den TELEs liegen in der Regel lernpsychologische Ansätze zugrunde, die den Ideen des Konstruktivismus und des Sozialkonstruktivismus entspringen. Folglich stehen Problemlösen, kollaboratives Arbeiten und Schüler:innen-Zentriertheit im Mittelpunkt. Dies impliziert die individuelle Berücksichtigung von Vorwissen, Lerntempi, Geisteshaltungen und Perspektiven (Fowler et al., 2021; Keppell et al., 2015).

Zwar existiert bereits seit mehr als zwei Jahrzehnten ein breites Forschungsinteresse an technologiegestütztem Lernen, doch ist nach wie vor nicht vollständig geklärt, wie eine möglichst schüler:innengerechte digitale Lernumgebung auszusehen hat. Um der Antwort auf diese Frage näher zu kommen, sind möglichst detaillierte Informationen zur betreffenden Zielgruppe notwendig (Weinhandl et al., 2023). Der Wissensschatz praktizierender Lehrer:innen über das Lernverhalten ihrer Schüler:innen ist dabei als wesentlich zu erachten. Die Einbeziehung Lehrender in die Konzeption von TELEs kann sich demnach äußerst positiv auswirken (Chen & Woolcott, 2019; Kim, 2019).

2.3 Aspekte des mathematischen Lernens

Wie eingangs dargelegt, dienen Personas dem Zweck, die Charakteristika einer Zielgruppe differenziert und in möglichst vielen Facetten wiederzugeben. In jüngerer Vergangenheit wurde eine Reihe von Modellen publiziert, die jeweils unterschiedliche Faktoren und Persönlichkeitsmerkmale benennen, welche erfolgreiches Mathematiklernen bedingen (Anderson, 2007; Roesken et al., 2011; Liston & O'Donoghue, 2009). Die breite Palette veröffentlichter Ansätze ist symptomatisch für den nach wie vor fehlenden Konsens. Zu beachten sind vor allem die Überzeugungen, die mit Mathematiklernen in Verbindung stehen, sowie die Emotionen, die dabei hervorgerufen werden (Ignacio et al., 2006). Nach Empfehlung von Barkatsas et al. (2009) sind darüber hinaus die Einflüsse von Gender, der Grundhaltung zu Bildung und zur Mathematik, sowie das Lernengagement und die Leistung im Fach zu berücksichtigen. Aufgrund der Vielfalt möglicher Einflussfaktoren ist es daher unser Ziel, zentrale Aspekte des Mathematiklernens bei österreichischen Oberstufenschüler:innen zu ermitteln, die im Speziellen zur Erstellung von Personas grundlegend erscheinen. Im nächsten Abschnitt skizzieren wir den Ablauf der diskutierten Studie.

2.4 Methodologische Schrittfolge

Die Zielgruppe unserer Studie (Weinhandl et al., 2022; Weinhandl et al., 2023) bilden Schüler:innen der Sekundarstufe II im Alter von 14 bis 19 Jahren. Diese befinden sich in der Vorbereitung auf die standardisierte Reifeprüfung (Matura), die in Österreich zur Belegung eines Hochschulstudiums berechtigt. Je nach Schultyp liegt die reguläre Dauer weiterführender Schulen mit Maturaabschluss zwischen vier (AHS) und fünf (BHS) Jahren. Im Fach Mathematik fordert die schriftliche Reifeprüfung nicht lediglich fachspezifische Fähigkeiten, sondern ebenso Kompetenzen zur Handhabung zweckdienlicher Technologien. Die Aneignung dieser technologiebezogenen Kompetenzen steht im Zentrum unserer Untersuchung. Insbesondere aufgrund der wiederkehrenden Phasen anhaltenden Distance Learnings, bedingt durch mehrmaliger Schulschließungen während der Covid-19-Pandemie, wurde davon ausgegangen, dass die Schüler:innen zum Zeitpunkt der Datenerhebung bereits umfängliche Erfahrungen im Arbeiten in TELEs (Technology-enhanced Learning Environments) hatten.

Tab. 1: Überblick über die Phasen der Personas-Entwicklung

1. Phase	2. Phase	3. Phase	4. Phase
Basierend auf wissenschaftlicher Literatur und Sekundärdaten, Entwicklung von Ad-hoc-Personas und einem Personas-Framework	Qualitative Validierung und Weiterentwicklung der Ad-hoc-Personas und des Personas-Frameworks	Quantitative Pilotstudie zu den Personas und des Personas-Frameworks	Bundesweite quantitative Studie zu den Personas und des Personas-Frameworks
Daten & Stichprobe			
Wissenschaftliche Literatur und Sekundärdaten, 74 Lehramtsstudierende und Lehrkräfte im Fach Mathematik	Offenes schriftliches und mündliches Feedback, 83 Oberstufenschüler:innen, 18 Mathematiklehrkräfte, 4 Lehramtsstudierende des Faches Mathematik, 3 Universitätsmitarbeitende aus dem Bereich der Mathematikdidaktik	(Pilot-) Fragebogenstudie, 144 Oberstufenschüler:innen	Fragebogenstudie, 5 624 Oberstufenschüler:innen

Im Folgenden wird der bereits im Abschnitt 1.1 grob skizzierte Verlauf unserer Untersuchung im Detail erläutert. Den ersten Schritt bildete der Entwurf von Ad-hoc-Personas. Basierend auf bestehendem Datenmaterial wurde ein offener Fragebogen als Instrument für die Erhebung von Sekundärdaten entwickelt. In erster Linie wurden dazu die Datenbank der österreichischen Statistikbehörde (Statistik Austria, 2021), sowie der Nationale Bildungsbericht des Jahres 2015 (Bruneforth et al., 2016) und jener des Jahres 2018 (Breit et al., 2019) herangezogen. Der resultierende Fragebogen umfasst 13 open-ended Items. Die Befragten waren einerseits Mathematiklehrkräfte und andererseits Lehramtsstudierende des Unterrichtsfaches Mathematik. Insgesamt konnten Daten von 74 Teilnehmenden erhoben werden. Diese wurden aufgefordert, an eine:n ihrer Schüler:innen zu denken und unter anderem Angaben zu dessen:deren Zielen, Bedürfnissen, Emotionen und Lernstrategien zu machen. So wurden beispielsweise folgende Fragen gestellt:

„Was sind die Ziele des:der Lernenden in Ihrem Mathematikunterricht und welche Strategien nutzt der:die Lernende, um diese zu erreichen?“, „Vor welchen Herausforderungen oder Problemen steht der:die Lernende beim Mathematiklernen?“ (Weinhandl et al., 2023, S. 9)

Da die Befragung online durchgeführt wurde, konnte eine geographisch weitreichende Stichprobe erfasst werden, was die Repräsentativität im Vergleich zu einer lokalen Erhebung deutlich steigert (van Rooij, 2012). Aus demselben Grund wurden bewusst Lehrkräfte befragt, die sich in verschiedenen

Phasen ihres beruflichen Werdegangs befinden. Die Verarbeitung der so gewonnenen Daten erfolgte entlang der Prinzipien der Grounded Theory (Charmaz, 2006; Glaser & Strauss, 1999; Woods et al., 2016) und mithilfe erprobter Techniken zur Erstellung von Personas (Weinhandl et al., 2022).

In einem zweiten Schritt wurden die Ad-hoc-Personas validiert und weiterentwickelt. Dazu wurden 83 Schüler:innen der Sekundarstufe II, 18 berufstätige Lehrkräfte, 4 angehende Lehrkräfte und 3 Universitätsmitarbeiter:innen aus dem Bereich der Mathematikdidaktik mit den Entwürfen der Personas konfrontiert. Zu bewerten war, inwieweit die entworfenen Personas mit Blick auf den jeweiligen Bekanntenkreis der Befragten realistisch bzw. repräsentativ erschienen. So wurden beispielsweise die erwähnten Oberstufenschüler:innen gefragt, ob sich unter ihren Mitschüler:innen Menschen befinden, die mit den vorgelegten Personas vergleichbar sind. Es wurden schriftliche wie auch mündliche Rückmeldungen eingeholt und verarbeitet. Daraufhin wurden die optimierten Versionen bei der Entwicklung von digitalen Mathematik-Lernressourcen und Lernumgebungen angewandt. Dadurch konnte ein Einblick in die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien unter Anwendung von Personas gewonnen werden. Auf diese Weise erhielten wir weitere Einschätzungen seitens der Material-Entwickler:innen zur Praxistauglichkeit der vorläufigen Personas.

Im dritten Schritt folgte auf die qualitative Validierung eine quantitative Evaluierung in Form eines weiteren digitalen Fragebogens. Als Grundlage dienten 30 bereits erprobte lernpsychologische Konstrukte, mittels derer alle Aspekte des Personas-Gerüsts abgedeckt werden sollten. Der so entwickelte Fragebogen wurde an einer Stichprobe von 144 Oberstufenschüler:innen pilotiert. Mit den Antworten der Schüler:innen wurde eine explorative Faktorenanalyse durchgeführt. Aufgrund hoher Korrelationen zwischen Items, konnte die Anzahl lernpsychologischer Konstrukte, die vorerst notwendig schien, um die Hälfte auf 15 reduziert werden. Die finale Version des Fragebogens umfasste schließlich 55 Items. Das lernpsychologische Konstrukt „Interesse“ in unserer Studie umfasst zum Beispiel die Items „Ich mag Mathematik nicht wirklich.“, „Ich mag Mathematik, weil sie mein Denken anregt.“ und „Ich habe wirklich Spaß an Mathematik.“.

Im vierten und letzten Schritt wurde schließlich eine bundesweite Fragebogenstudie an 141 AHS-Standorten durchgeführt. Von den insgesamt 9 000 Schüler:innen der Sekundarstufe II im Alter von 14 bis 19 Jahren bearbeiteten 5 634 die finale Version des im vorherigen Schritt beschriebenen digitalen Fragebogens ausreichend gehaltvoll, sodass eine Weiterverarbeitung der Daten möglich war. Dabei waren alle neun Bundesländer vertreten. Von den gültigen Proband:innen waren rund 60 % weiblich, 36 % männlich und weniger als 1,5 % nicht-binär. Etwa 2 % wollten keine Angaben zum Geschlecht treffen. Von allen Teilnehmenden besuchten 27,6 % die 9. Schulstufe, 28,5 % die 10. Schulstufe, 22,6 % die 11. Schulstufe, 20,6 % die 12. Schulstufe und 0,6 % die 13. Schulstufe.

Es bedarf nun eines weiteren Verarbeitungsprozesses, in welchem die so gesammelte Menge an Daten in die Entwicklung der Personas einfließt. Das Resultat wird Gegenstand zukünftiger Publikationen sein. Über die theoretische Fundierung und die datenbasierte Validierung der Personas hinaus, finden diese bereits Anwendung in der Adaptierung digitaler Unterrichtsmaterialien. Im folgenden Abschnitt soll die praktische Erprobung der Personas anhand eines solchen Beispiels ausgeführt werden.

3. FLINK in Mathe

Das Ziel des FLINK-Projektes (Förderung von Lernenden durch interaktive Materialien für einen nachhaltigen Kompetenzerwerb) der Johannes Kepler Universität Linz besteht darin, Mathematiklehrkräfte der Sekundarstufe I durch digital zur Verfügung gestellte Aufgaben, die ergänzend zum Schulbuch verwendet werden können, zu unterstützen (Lindenbauer et al., 2022). Die im Projekt erstellten digitalen Materialien zielen darauf ab, durch eine Förderung des konzeptuellen Verständnisses von Schüler:innen deren Kompetenzerwerb zu unterstützen.

Laut Büchter und Leuders (2009) und Barzel et al. (2010) kann man den Mathematikunterricht in fünf Lern- und Beurteilungsphasen gliedern, von denen drei das Lernen und zwei das Beurteilen beinhalten. Diese sind: Erkunden, Entdecken, Erfinden; Sichern, Systematisieren; Üben, Verbinden, Wiederholen; Diagnostizieren und Beurteilen. Materialien und Aufgaben, die im Mathematikunterricht verwendet werden, sollten im Hinblick auf ihre jeweilige Rolle im Unterrichtsprozess gewählt oder erstellt werden (Büchter & Leuders, 2009). Das Ziel der FLINK-Materialien ist es, Schüler:innen beim Mathematiklernen zu unterstützen; deshalb konzentrieren sie sich vor allem auf das Entwickeln von konzeptuellem Wissen und tragfähigen Vorstellungen sowie das Üben von Fähigkeiten und Fertigkeiten, was den ersten drei der angeführten Phasen entspricht (Lindenbauer et al., 2022). Da sich Aufgaben zum Erkunden und Sichern jedoch nicht immer eindeutig voneinander unterscheiden lassen, werden Aufgaben zu den ersten beiden Lernphasen zusammengeführt, weshalb sich die FLINK-Materialien schlussendlich auf die beiden Phasen der Erforschung mathematischer Konzepte (*Entdecken*) und das Üben von Fähigkeiten und Fertigkeiten (*Üben*) fokussieren.

Die Materialien von FLINK in Mathe stellen einen neuen Weg dar, Mathematik mithilfe von Technologie zu lernen und darzustellen. Bezugnehmend auf Abbildung 1, stellen die im Projekt entwickelten digitalen Materialien einen Eckpunkt des didaktischen Tetraeders dar und dienen daher zur Vermittlung des Lernstoffes sowie als Mittler zwischen Lehrenden und Schüler:innen. Die FLINK-Materialien werden mit Hilfe von GeoGebra erstellt, da es sich dabei um eine Open-Source-Mathematiksoftware für Bildungszwecke handelt, die in österreichischen Schulen weit verbreitet ist. Weiters ermöglicht GeoGebra eine interaktive Verknüpfung verschiedener semiotischer Darstellungsformen mathematischer Objekte, was genutzt wird, um den Schüler:innen eine dynamische Interaktion mit dem Material zu ermöglichen. Die Objekte sind in GeoGebra in Form eines Online-Arbeitsblattes eingebettet. Dieses beinhaltet zum Teil zusätzlich weitere Aufgaben, auf die automatisch Rückmeldung gegeben wird, oder Erklärungen für die Schüler:innen. Aufgrund des Alters der Schüler:innen und ihrer begrenzten Erfahrungen mit GeoGebra handelt es sich bei diesen Materialien vor allem um Arbeitsblätter mit vorgefertigten Konfigurationen (Lindenbauer et al., 2022, Zbiek et al., 2007).

Lehrpersonen haben die Möglichkeit, speziell ausgewählte Materialien während ihres Unterrichts einzusetzen oder als Hausübung für die Schüler:innen zur Verfügung zu stellen. Ein Ziel der FLINK-Materialien ist es, dass diese im Vergleich zu Aufgaben, die mit Papier und Stift gelöst werden können, einen technologischen Mehrwert bieten (Lindenbauer et al., 2022). Daher werden bei den Materialien Funktionen wie automatisches Feedback, dynamische Visualisierungen und Zufallsgenerierung von Aufgaben genutzt (Lindenbauer et al., 2022; Roth, 2019; Fyfe & Rittle-Johnson, 2016).

Alle aktuell veröffentlichten Materialien sind unter dem Link <https://www.jku.at/flink-in-mathe/> zu finden, wobei laufend neue Materialien veröffentlicht werden. Jede Materialsammlung besteht aus Aktivitäten, die das Entdecken mathematischer Konzepte und das Üben von Fähigkeiten und Fertigkeiten ermöglichen. Die Materialien zum Entdecken bestehen aus interaktiven Aufgaben zu neuen Konzepten, die durch begleitende Fragestellungen in Form von offenen oder Multiple Choice Aufgaben ergänzt werden. Die Materialien zum Üben beinhalten selbstüberprüfende Aufgaben, die per Knopfdruck unmittelbar Antworten, Hinweise, vorbereitete Lösungen oder neue Aufgaben liefern (Lindenbauer et al., 2022). Darüber hinaus werden zu manchen Unterthemen Videos, welche die Theorie zusammenfassen, oder einführende Aufgaben in die Arbeit mit mathematischen Softwares zur Verfügung gestellt.

Die Struktur der Materialien folgt dem österreichischen Mathematik Lehrplan für die Sekundarstufe I. In Abstimmung mit dem nationalen Kompetenzmodell beinhaltet der Lehrplan die vier verschiedenen inhaltsbezogene Dimensionen Zahlen und Maße, Variablen, Figuren und Körper und Modelle und Statistik. Die FLINK-Materialien beschäftigen sich daher mit diesen angeführten Inhaltsbereichen (BIFIE, 2011; BMBWF, 2023b).

4. Digitale Mathematik-Lernressourcen unter Berücksichtigung von Personas

Personas können als Hilfsmittel und Informationsquelle bei der Erstellung digitaler Mathematik-Lernressourcen dienen, was im Folgenden am Beispiel der FLINK-Materialien aufgezeigt wird. Die Personas weisen sowohl auf Bedürfnisse als auch auf Herausforderungen und Probleme potentieller Schüler:innen im Mathematikunterricht hin, worauf bei der Erstellung digitaler Materialien mit der Berücksichtigung unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade reagiert werden kann. Dieser Aspekt spiegelt sich in den FLINK-Materialien wider, indem bei Materialien zum Üben Aufgaben auf zwei unterschiedlichen Schwierigkeitslevels erstellt wurden, wie in Abbildung 3 zu sehen ist.

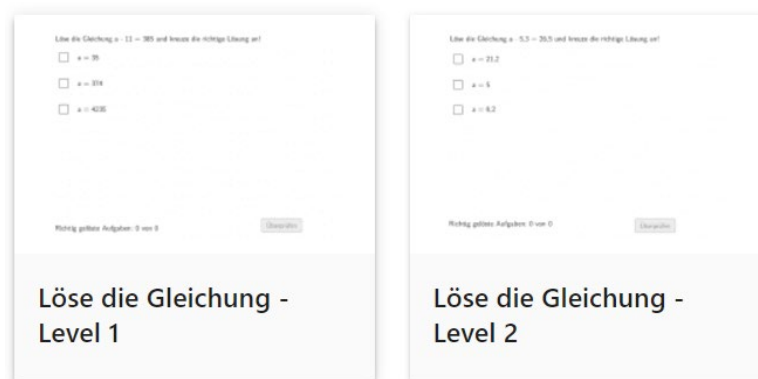


Abb. 3: Level 1 und Level 2 Aufgaben bei den FLINK-Materialien (<https://www.geogebra.org/m/dqp5fzgz#chapter/753775>)

Des Weiteren zeigen die Personas, dass sich leistungsstarke Schüler:innen Materialien wünschen, die über die Inhalte des Unterrichts hinausgehen. Entsprechend dazu sind bei den FLINK-Materialien schwierige Knobelaufgaben als Vertiefung zu finden. Um Schüler:innen ausreichend Übungsmöglichkeit zu bieten, muss ein großes Angebot an Übungen zur Verfügung gestellt werden. Bei FLINK wird ein möglicher Mehrwert des Technologieeinsatzes insofern genutzt, als per Mausclick unbegrenzt Übungen generiert werden können. Außerdem zeigen die Personas, dass einige Schüler:innen kleinschrittige Erklärungen schätzen, was bei den FLINK-Materialien durch die Integration von „Weiter“ und „Zurück“ Schaltflächen, wie sie in Abbildung 4 zu sehen sind, realisiert wurde. Dadurch können die Schüler:innen selbst bestimmen, wann sie zum nächsten Schritt weitergehen oder ob sie eine vorherige Information nochmal einblenden.

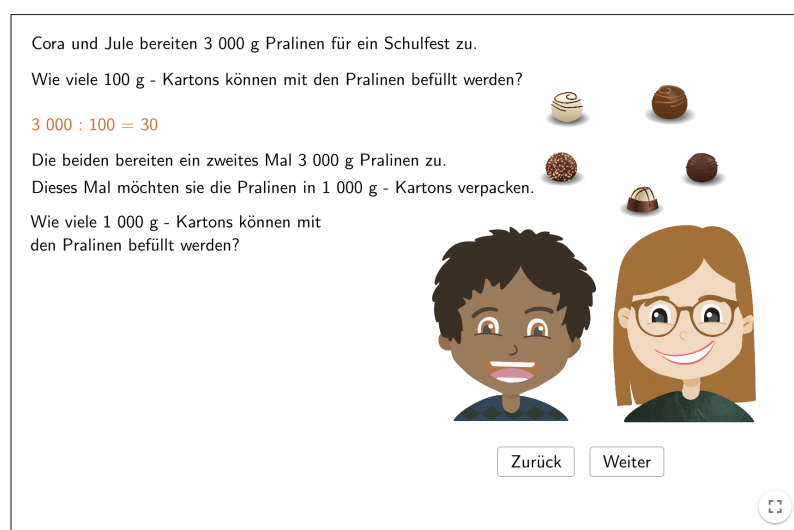


Abb. 4: „Weiter“ und „Zurück“ Schaltflächen in den FLINK-Materialien (<https://www.geogebra.org/m/sgdunc6x#material/smwe4k4e>)

Abgestimmt auf die Charakteristika der Personas, wurden die FLINK-Materialien mit zahlreichen Motivationselementen versehen. So wird bei den Materialien zum Teil ein Bezug zur realen Lebenswelt hergestellt oder versucht, Aufgaben in einen attraktiven Kontext einzukleiden, wie in Abbildung 4 zu sehen ist. Für Schüler:innen, die spielerisches Lernen besonders anspricht, bietet FLINK entsprechende Materialien. In Abbildung 5 ist eine Aufgabe zu sehen, wo die Lernenden durch schnelles Kopfrechnen ein Schneckenrennen gewinnen können.

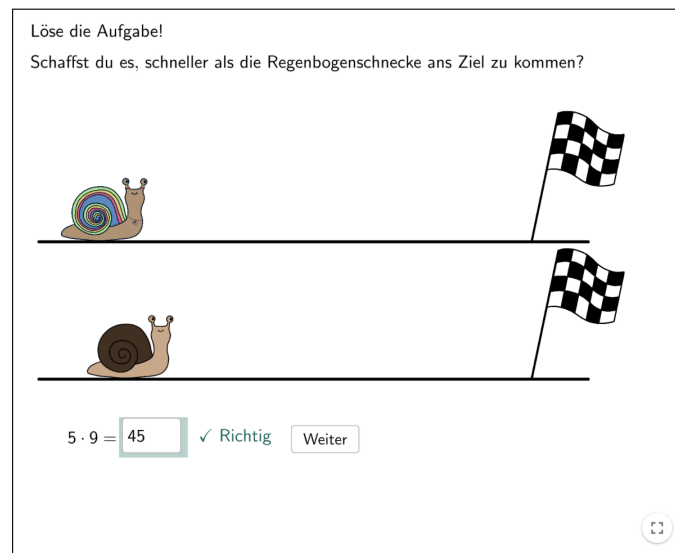


Abb. 5: Spielerisches Lernen beim Schneckenrennen (<https://www.geogebra.org/m/vddawhgg>)

Ein weiterer durch die Personas aufgezeigter Aspekt ist, dass die Motivation vieler Schüler:innen speziell von wiederkehrenden Erfolgserlebnissen beim Mathematiklernen abhängig ist. Die FLINK-Materialien ermöglichen dies durch optionale Hinweise, die bei Bedarf als Hilfestellung eingeblendet werden können. Dadurch bekommen Schüler:innen auf unterschiedlichen Leistungsniveaus die Chance, Aufgaben eigenständig zu lösen und Erfolgsmomente zu erleben. In Abbildung 6 ist ersichtlich, in welcher Form die Bereitstellung von Hinweisen bei den Materialien von FLINK erfolgt.

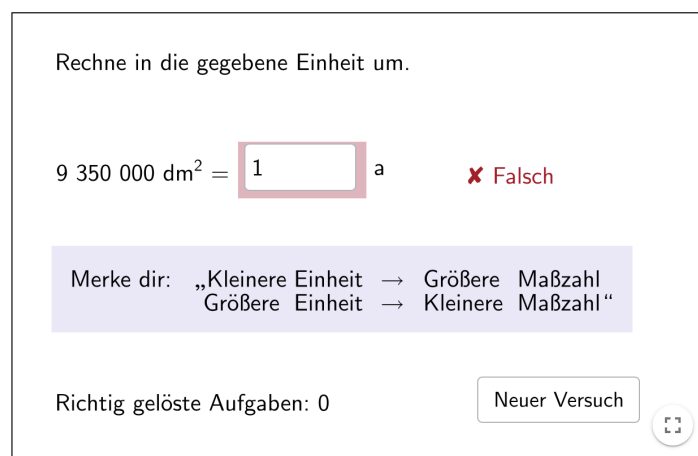


Abb. 6: Beispielhafte Darstellung eines Hinweises (<https://www.geogebra.org/m/jzvrg9nx>)

Ein weiterer Aspekt der FLINK-Materialien, welcher in Anlehnung an die Personas einige Lernende anspricht, liegt neben der kognitiven Aktivierung der Nutzer:innen in der Anregung zum aktiven Handeln, wie etwa die Bewegung und Manipulation von geometrischen Objekten. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 7 ersichtlich.

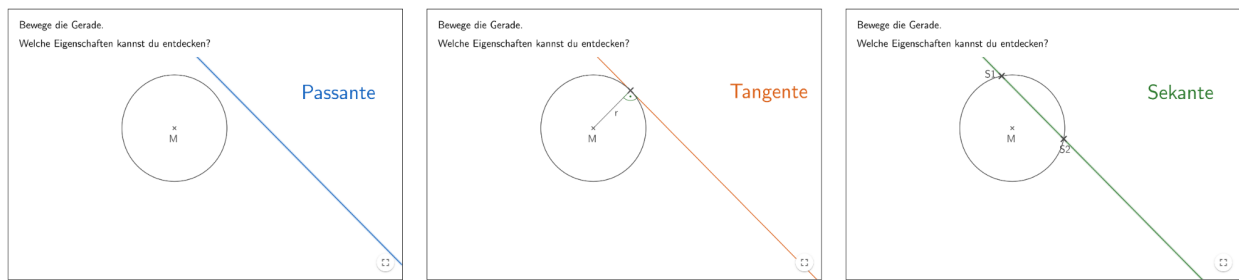


Abb. 7: Kennenlernen der Begriffe Passante, Tangente und Sekante durch verschieben der Gerade (<https://www.geogebra.org/m/wjqb5nn8>)

5. Zusammenfassung

Hinter jeder Persona steckt ein Geflecht aus Persönlichkeitsmerkmalen und persönlichen Vorstellungen, die das (Mathematik-)Lernen in unterschiedlicher Form und Intensität beeinflussen. Dazu gehören unter anderem Bedürfnisse, Erfahrungen, Interessen und Emotionen. Neben zahlreichen Benefits, die sich davon ableiten, finden sich in der Literatur auch einige Hinweise auf Schwächen des Personas-Konzepts. Diese beziehen sich in erster Linie auf Subjektivität und fehlende Repräsentativität. In der Absicht, bestmöglichen Profit aus den Erfahrungen bisheriger Forschungen zu schöpfen, wurden bestehende Kritikpunkte beim Entwurf unseres Entwicklungsplans vorab berücksichtigt. Bekannte Vorgehensweisen zur Erstellung von Personas wurden optimiert, indem die Kombination von Primär- und Sekundärdaten forciert wurde. Darüber hinaus wurde der Entwicklungsprozess in mehrere Phasen gegliedert, wobei auf eine qualitative Erhebung mittleren Umfangs eine breite quantitative Untersuchung folgte. Nach jeder Einarbeitung neuen Datenmaterials erfolgte eine Evaluierung der resultierenden Personas. Auf diese Weise wurde ein hoher Maßstab der Qualitätssicherung an die Schüler:innen-Personas gelegt.

FLINK in Mathe kann als eine digitale Lernumgebung angesehen werden, zu deren Verbesserung die Personas entwickelt wurden. Die Relevanz des FLINK-Projekts kann vor allem mit der voranschreitenden Digitalisierung und dem als Reaktion darauf vom österreichischen Bildungsministerium entwickelten 8-Punkte-Plan begründet werden, der eine umfassende Digitalisierung des Unterrichts vorsieht. Hinter der FLINK-Materialiensammlung steht die Intention, Mathematiklehrkräfte der Sekundarstufe I beim Einsatz von Technologie entsprechend mit qualitätsgesicherten Lernressourcen zu unterstützen. Die Materialien zielen darauf ab, die Schüler:innen beim Entwickeln konzeptuellen Wissens und tragfähiger Vorstellungen sowie dem Üben von Fähigkeiten und Fertigkeiten zu unterstützen. Damit jedoch das Potential von Technologie zugunsten eines optimalen Lernprozesses ausgeschöpft werden kann, bedarf es einer feinsinnigen Abstimmung der digitalen Umgebung auf die Bedürfnisse der Lernenden. Personas sollen dabei helfen, individuelle Voraussetzungen für erfolgreiches Lernen aufzuzeigen und für die Material-Entwickler:innen greifbar zu machen. Am Beispiel FLINK konnten einige Aspekte ausgemacht werden, die es mit Verweis auf die Personas im Speziellen zu beachten gilt.

Das vorgestellte Projekt soll einen Einblick in empirische und praktische Arbeiten im Kontext technologiegestützten Lernens geben. Die Entwicklung der Personas auf der einen Seite und digitaler Lernumgebungen auf der anderen Seite stehen dabei in reziprokem Verhältnis. In Anbetracht der hier dargelegten Ergebnisse scheint es sinnstiftend, diese wechselseitige Genese auch künftig zu forcieren.

Literatur

- Anderson, R. (2007). Being a Mathematics Learner: Four Faces of Identity. *Mathematics Educator*, 17(1), 7–14.
- Antle, A. N. (2008). Child-based personas: Need, ability and experience. *Cognition, Technology & Work*, 10(2), 155–166. <https://doi.org/10.1007/s10111-007-0071-2>

- Barkatsas, A. (Tasos), Kasimatis, K., & Gialamas, V. (2009). Learning secondary mathematics with technology: Exploring the complex interrelationship between students' attitudes, engagement, gender and achievement. *Computers & Education*, 52(3), 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.11.001>
- Barzel, B., Büchter, A., & Leuders, T. (2010). *Mathematik Methodik: Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (5.). Cornelsen Scriptor.
- Beckmann, A. (2022). Zur Bedeutung von Augmented Reality im Mathematikunterricht der Sekundarstufen: Eine mathematikdidaktische Diskussion an zentralen unterrichtsrelevanten Aspekten. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 47, 53–75.
- Breit, S., Eder, F., Krainer, K., Schreiner, C., Seel, A., & Spiel, C. (2019). *Nationaler Bildungsbericht Österreich 2018*, Band 1. <https://doi.org/10.17888/nbb2018-1.4>
- Bruneforth, M., Lassnigg, L., Vogtenhuber, S., Schreiner, C., & Breit, S. (2016). *Nationaler Bildungsbericht Österreich 2015* (4. Aufl., Bd. 1). <https://doi.org/10.17888/nbb2015-1.4>
- Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation & Entwicklung des österreichischen Schulwesens [BIFIE] (Hrsg.) (2011). *Praxishandbuch für „Mathematik“. 8. Schulstufe*. Leykam.
- Bundesministerium für Bildung und Frauen [BMBF] (2012). *Mathematik an AHS. Richtlinien und Beispiele für Themenpool und Prüfungsaufgaben*. BM für Bildung und Frauen.
- Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung [BMBWF]. (2018). *Masterplan Digitalisierung*. <https://www.bmbwf.gv.at/Ministerium/Presse/Masterplan-Digitalisierung.html> (Zugriff: 07.08.2023)
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung [BMBWF] (2023a, 7. August). *Gesamte Rechtsvorschrift für Prüfungsordnung AHS, Fassung vom 07.08.2023*. [https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007845#:~:text=\(3\)%20On%20request%20of%20the%20examination%20candidate,the%20equivalency%20of%20the%20examination%20determines](https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007845#:~:text=(3)%20On%20request%20of%20the%20examination%20candidate,the%20equivalency%20of%20the%20examination%20determines) (Zugriff: 07.08.2023)
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung [BMBWF] (2023b, 7. August). *Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen*. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> (Zugriff: 07.08.2023)
- Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung [BMBWF]. (2023c, 7. August). *8-Punkte-Plan*. <https://digitaleschule.gv.at/digitale-endgerate-fur-schulerinnen-und-schuler/> (Zugriff: 07.08.2023)
- Büchter, A., & Leuders, T. (2009). *Mathematikaufgaben selbst entwickeln: Lernen fördern – Leistung überprüfen* (4. Aufl.). Cornelsen Scriptor.
- Charmaz, K. (2006). *Constructing Grounded Theory: A Practical Guide through Qualitative Analysis* (1. Aufl.). SAGE Publications Ltd.
- Chen, O., & Woolcott, G. (2019). Technology-enhanced mathematics learning: A perspective from Cognitive Load Theory. *Journal of Physics: Conference Series*, 1320(1), 012064.
- Clark-Wilson, A., Aldon, G., Cusi, A., Goos, M., Haspekian, M., Robutti, O., & Thomas, M. O. J. (2014). The challenges of teaching mathematics with digital technologies-The evolving role of the teacher. *PME*.
- Cooper, A. (2004). *The inmates are running the asylum: Why high-tech products drive us crazy and how to restore the sanity* (Bd. 2). Sams Indianapolis.
- Drijvers, P. (2015). Digital technology in mathematics education: Why it works (or doesn't). In *Selected regular lectures from the 12th international congress on mathematical education* (S. 135–151). Springer International Publishing.
- Drijvers, P., Ball, L., Barzel, B., Heid, M. K., Cao, Y., & Maschietto, M. (2016). *Uses of technology in lower secondary mathematics education: A concise topical survey*. Springer Nature.
- Eichler, A., & Vogel, M. (2022). Daten und Zufall mit digitalen Medien. In *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule: Aktuelle Forschungsbefunde im Überblick* (S. 277–301). Springer Spektrum.
- Egger, G. (2022). *Kompetenzaufbau mit Mathematik-Software*. R&E-SOURCE.
- Elschenbroich, H. J., & Sträßer, R. (2022). Geometrie und Digitalität. In *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule: Aktuelle Forschungsbefunde im Überblick* (S. 239–275). Springer Spektrum.

- Ferreira, B., Silva, W., Oliveira, E., & Conte, T. (2015). Designing Personas with Empathy Map. *Proceedings of the 27th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering*, USA. <https://doi.org/10.18293/SEKE2015-152>
- Florian, L., & Kortenkamp, U. (2022). Virtuelle Welten im Mathematikunterricht–Lernumgebungen in erweiterter Realität. In *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule: Aktuelle Forschungsbefunde im Überblick* (S. 137–162). Springer Spektrum.
- Fowler, S., Cutting, C., Kennedy, J., Leonard, S. N., Gabriel, F., & Jaeschke, W. (2021). Technology enhanced learning environments and the potential for enhancing spatial reasoning: A mixed methods study. *Mathematics Education Research Journal*, 1–24.
- Fyfe, E. R., & Rittle-Johnson, B. (2016). The benefits of computer-generated feedback for mathematics problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology*, 147, 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.03.009>
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1999). *Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. AldineTransaction.
- Günster, S. M., & Weigand, H. G. (2022). Der Beitrag digitaler Werkzeuge zur Entwicklung des Funktionsbegriffs und des funktionalen Denkens. In *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule: Aktuelle Forschungsbefunde im Überblick* (S. 163–188). Springer Spektrum.
- Hankeln, C. (2019). *Mathematisches Modellieren Mit Dynamischer Geometrie-Software*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Heintz, G., Pinkernell, G., & Schacht, F. (2016). Mathematikunterricht und digitale Werkzeuge. In G. Heintz, G. Pinkernell, F. Schacht (Hrsg.), *Digitale Werkzeuge für den Mathematikunterricht. Festschrift für Hans-Jürgen Elschenbroich* (S. 12–21). Klaus Seeberger.
- Ignacio, N. G., Nieto, L. J. B., & Barona, E. G. (2006). The affective domain in mathematics learning. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 1(1), 16–32.
- Janßen, T. (2022). Algebra: CAS und mehr. In *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule* (S. 213–238). Springer Spektrum.
- Kim, M. S. (2019). Developing a competency taxonomy for teacher design knowledge in technology-enhanced learning environments: A literature review. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 14(1), 1–24.
- Kurvinen, E., Kaila, E., Laakso, M.-J., & Salakoski, T. (2020). *Long term effects on technology enhanced learning: The use of weekly digital lessons in mathematics*. Informatics in Education.
- Ladel, S. (2022). Tablet-Apps zur Unterstützung des Erwerbs arithmetischer Kompetenzen. In *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule: Aktuelle Forschungsbefunde im Überblick* (S. 189–211). Springer Spektrum.
- Law, N., Niederhauser, D. S., Christensen, R., & Shear, L. (2016). A multilevel system of quality technology-enhanced learning and teaching indicators. *Educational Technology & Society*, 19(3), 72–83.
- Lewis, C., & Contrino, J. (2016). Making the Invisible Visible: Personas and Mental Models of Distance Education Library Users. *Journal of Library & Information Services in Distance Learning*, 10(1–2), 15–29. <https://doi.org/10.1080/1533290X.2016.1218813>
- Lilley, M., Pyper, A., & Attwood, S. (2012). Understanding the student experience through the use of personas. *Innovation in Teaching and Learning in Information and Computer Sciences*, 11(1), 4–13. <https://doi.org/10.11120/ital.2012.11010004>
- Lindenbauer, E., Lavicza, Z., & Weinhandl, R. (2022). Initiating the development of a pre-service teacher training course based on research on students' digital resource and teaching designs. In *Twelfth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME12)*.
- Liston, M., & O'Donoghue, J. (2009). Factors influencing the transition to university service mathematics: Part 1 a quantitative study. *Teaching Mathematics and its Applications: An International Journal of the IMA*, 28(2), 77–87. <https://doi.org/10.1093/teamat/hrp006>
- Miaskiewicz, T., Sumner, T., & Kozar, K. A. (2008). A latent semantic analysis methodology for the identification and creation of personas. *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, 1501–1510.

- Minichiello, A., Hood, J. R., & Harkness, D. S. (2018). Bringing User Experience Design to Bear on STEM Education: A Narrative Literature Review. *Journal for STEM Education Research*, 1(1), 7–33. <https://doi.org/10.1007/s41979-018-0005-3>
- Molnár, P. (2016). Solving a linear optimization word problems by using GeoGebra. *International Journal of Information and Communication Technologies in Education*, 5(2), 16–28.
- Roesken, B., Hannula, M. S., & Pehkonen, E. (2011). Dimensions of students' views of themselves as learners of mathematics. *ZDM*, 43, 497–506.
- Roth, J. (2019). Digitale Werkzeuge im Mathematikunterricht–Konzepte, empirische Ergebnisse und Desiderate. *Vielfältige Zugänge zum Mathematikunterricht: Konzepte und Beispiele aus Forschung und Praxis*, 233–248.
- Sawaya, S. F., & Putnam, R. T. (2015). Using mobile devices to connect mathematics to out-of-school contexts. *Mobile learning and mathematics*, 9–19.
- Statistik Austria. (2021, 13. Oktober). *Bildung*. https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bildung/index.html (Zugriff: 07.08.2023)
- Stoyle, K. L., & Morris, B. J. (2017). Blogging mathematics: Using technology to support mathematical explanations for learning fractions. *Computers & Education*, 111, 114–127.
- Sundt, A., & Davis, E. (2017). User personas as a shared lens for library UX. *Weave: Journal of Library User Experience*, 1(6).
- Trgalová, J., Clark-Wilson, A., & Weigand, H. (2018). *Technology and resources in mathematics education*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315113562-12>
- Van Rooij, S. W. (2012). *Journal of Effective Teaching*, 12(3), 77–86.
- Volentine, R., Whitson, L., & Tenopir, C. (2017). Portraits of success: Building personas from scholarly reading patterns. *Qualitative and Quantitative Methods in Libraries*, 2(1), 1–8.
- Vorvoreanu, M., Madhavan, K., Kitkhachonkunlaphat, K., & Zhao, L. (2016). Designing for STEM faculty: The use of personas for evaluating and improving design. In V. Duffy (Hrsg.), *Digital Human Modeling: Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. DHM 2016. Lecture Notes in Computer Science*, 9745(S. 369–380). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40247-5_37
- Weinhandl, R., Houghton, T., Lindenbauer, E., Mayerhofer, M., Lavicza, Z., & Hohenwarter, M. (2021). Integrating Technologies Into Teaching and Learning Mathematics at the Beginning of Secondary Education in Austria. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(12). <https://doi.org/10.29333/ejmste/11427>
- Weinhandl, R., Mayerhofer, M., Houghton, T., Lavicza, Z., Eichmair, M., & Hohenwarter, M. (2022). Personas Characterising Secondary School Mathematics Students: *Development and Applications to Educational Technology*. 12(7), 447. <https://doi.org/10.3390/educsci12070447>
- Weinhandl, R., Mayerhofer, M., Houghton, T., Lavicza, Z., Eichmair, M., & Hohenwarter, M. (2023). Mathematics student personas for the design of technology-enhanced learning environments. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 18:32. <https://doi.org/10.58459/rptel.2023.18032>
- Woods, P., Gapp, R., & King, M. A. (2016). Generating or developing grounded theory: Methods to understand health and illness. *International Journal of Clinical Pharmacy*, 38(3), 663–670. <https://doi.org/10.1007/s11096-016-0260-2>
- Zaugg, H., & Rackham, S. (2016). Identification and development of patron personas for an academic library. *Performance Measurement and Metrics*, 17(2), 124–133. <https://doi.org/10.1108/PMM-04-2016-0011>
- Zbiek, R. M., Heid, M. K., Blume, G. W., & Dick, T. P. (2007). Research on technology in mathematics education. In F. K. Lester (Hrsg.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (S. 1169–1207). Information Age Publishing.
- Zeller, M., & Barzel, B. (2010). Die Rolle von Computeralgebra beim Lernen elementarer Algebra. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2010, 44. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik vom 08. bis 12. März 2010 in München*.

Verfasser

Robert Weinhandl
Johannes Kepler Universität Linz
School of Education – Abteilung für MINT Didaktik
Altenberger Straße 96
4040 Linz
robert.weinhandl@jku.at

Selina Baldinger
Johannes Kepler Universität Linz
School of Education – Abteilung für MINT Didaktik
Altenberger Straße 96
4040 Linz
selina.baldinger@jku.at

Viktoria Riegler
Johannes Kepler Universität Linz
School of Education – Abteilung für MINT Didaktik
Altenberger Straße 96
4040 Linz
viktoriam.riegler@jku.at

Edith Lindenbauer
Pädagogische Hochschule Oberösterreich
Fachbereich Mathematikdidaktik
Kaplanhofstraße 40
4020 Linz
edith.lindenbauer@gmx.at

Markus Kapplmüller
Johannes Kepler Universität Linz
School of Education – Abteilung für MINT Didaktik
Altenberger Straße 96
4040 Linz
markus.kapplmueller@jku.at

Carina Schobersberger
Johannes Kepler Universität Linz
School of Education – Abteilung für MINT Didaktik
Altenberger Straße 96
4040 Linz
carina.schobersberger@jku.at