

Formative Begleitung von Maker Education in der Unterrichtsentwicklung

Ein Selbsteinschätzungsinstrument zur Erhebung von Lehrpersonenkompetenzen

Samuel Müller ^{1,2}, Charlotte Báez ¹, Marcel Jent ¹ und Josef Buchner ¹

Abstract: Makerorientiertes Lernen ist ein konstruktionistischer Ansatz, um informatische Bildung in der Schule begreifbar zu machen und algorithmisches Denken durch digitale Fabrikation und Physical Computing zu fördern. Da die nachhaltige Implementierung dieser Bildungstechnologien oft an starren Strukturen scheitert, bedarf es zunehmend agiler Ansätze. Um die Professionalisierung von Lehrpersonen in allgemeinen schulischen Professionalisierungsprozessen und im Speziellen in agilen Unterrichtsentwicklungsteams formativ zu evaluieren und sie dabei zu unterstützen, resilienter auf schnelle technologische Umbrüche im Schulalltag zu reagieren, sind valide Selbsteinschätzungsinstrumente essenziell. Dieser Beitrag präsentiert ein als formativer Baustein eines Projekts mit Design-Based-Research-Ansatz (DBR) an den nationalen Schweizer Lehrplan adaptiertes Instrument zur Selbsteinschätzung der wahrgenommenen Making-Kompetenzen. Auf Basis zweier Pilotstudien (N=118; N=77) wurde der gesamte, sieben Dimensionen umfassende Fragebogen empirisch überprüft und wird hier vollständig dokumentiert. Während das Instrument Kompetenzen in voller Breite erfasst, fokussiert die inhaltliche Diskussion auf digitale Fabrikation und informatische Bildung. Es wird demonstriert, wie das Erhebungsinstrument die wahrgenommene Kompetenzentwicklung in der Praxis messbar macht, die schulspezifische Implementierung von makerorientiertem Lernen agil steuert und die Transformation der Unterrichtskultur im Sinne digitaler Bildung und Resilienz evidenzbasiert begleitet.

Keywords: Maker Education, Agile Schulentwicklung, Erhebungsinstrument, Selbsteinschätzung, Informatische Bildung, Wahrgenommene Kompetenz, Resilienz

1 Einleitung

Makerorientiertes Lernen hat sich als zentraler konstruktionistischer Ansatz etabliert, um abstrakte Konzepte der informatischen Bildung in der Schule greifbar zu machen [Pa93]. Durch den Einsatz digitaler Fabrikation wird nicht nur allgemeine Kreativität gefördert, sondern insbesondere das algorithmische Denken als Schlüsselkompetenz adressiert [BLB24]. Da die nachhaltige Implementierung derart komplexer Technologien und der

¹ Pädagogische Hochschule St.Gallen, Institut Digitale und Informatische Bildung, Müller-Friedberg-Strasse 34, CH-9400 Rorschach, {samuel.mueller, charlotte.baez, marcel.jent, josef.buchner}@phsg.ch,  <https://orcid.org/0009-0006-5595-8242>,  <https://orcid.org/0000-0003-1085-8441>,  <https://orcid.org/0009-0005-5539-9105>,  <https://orcid.org/0000-0001-7637-885X>

² Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Informatik, Rudower Chaussee 25, 12489 Berlin-Adlershof, samuel.a.mueller@student.hu-berlin.de

Transfer von isolierten Leuchtturmprojekten in die Breite jedoch oft an starren Strukturen scheitert [AW05; Ho19; Wi02], bedarf es agiler Ansätze der Schulentwicklung [BBM08; Hi20]. Um im Sinne von digitaler Bildung und Resilienz anpassungsfähig gegenüber technologischen Umbrüchen zu bleiben [Eh20], benötigen diese agilen Teams zwingend valide, formative Daten über die eigenen fachlichen Unsicherheiten [Fa22; Ho13]. Um die Professionalisierung in solchen Teams datengestützt zu steuern, fehlt es jedoch bislang an geeigneten quantitativen Erhebungsinstrumenten im deutschen Sprachraum. Wie Mersand aufzeigt, ist die bisherige Forschung zur Implementierung von Makerspaces stark durch qualitative Einzelfallstudien geprägt [Me21]. Diese liefern zwar tiefgreifende Einblicke, zeichnen jedoch oft kein übergeordnetes Bild über verschiedene schulische Kontexte hinweg [Me21]. Für die evidenzbasierte Steuerung standortübergreifender Teams werden zwingend skalierbare, quantitative Daten benötigt.

Zur Schliessung dieser methodischen Lücke dient ein quantitatives Erhebungsinstrument, das als formativer Baustein eines Design-Based-Research-Ansatzes (DBR) [Re04] im Rahmen der IT-Bildungsoffensive des Kantons St. Gallen (Teilprojekt «Modellschulen Volksschule») adaptiert wurde. Das Instrument erfasst nicht die objektive Performanz, sondern die wahrgenommene Kompetenz, die Selbstwirksamkeitserwartung [Ba97]. Ausgehend von einem fremdsprachigen Fragebogen wurde das Instrument systematisch an den nationalen Lehrplan der Schweiz angepasst, wobei der inhaltliche Fokus gezielt, auf den für die informatische Bildung relevanten Skalen der digitalen Fabrikation liegt.

Die zentralen Forschungsfragen lauten:

1. Welche statistische Güte weist das adaptierte Instrument zur Erfassung der wahrgenommenen Making-Kompetenzen bei Lehrpersonen auf?
2. Wie lässt sich das Instrument als formatives Erhebungsinstrument zur evidenzbasierten Steuerung agiler Unterrichtsentwicklungsteams nutzen?

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Maker Education als Zugang zur informatischen Bildung

Makerorientiertes Lernen ist weit mehr als ein technikangereichertes Basteln; es fusst lerntheoretisch tief auf dem Konstruktivismus nach Seymour Papert [Pa93]. Dieser Ansatz postuliert, dass Lernprozesse besonders dann tiefgreifend und nachhaltig sind, wenn Lernende physische und für sie persönlich bedeutsame Artefakte in der realen Welt konstruieren [Pa93]. Im Kontext der modernen Schule entfaltet die Maker Education ihr volles didaktisches Potenzial insbesondere als handlungsorientierter Zugang zur informatischen Bildung. Durch den Einsatz von digitaler Fabrikation (wie 3D-Druckern oder Lasercuttern) und Physical Computing (wie Mikrocontrollern und Sensoren) schlägt "Making" eine essenzielle und greifbare Brücke zur Informatik [BLB24]. Wenn Lernende

abstrakte informatische Konzepte programmieren und diese über technologische Bauteile in der physischen Welt erlebbar machen, wird das algorithmische Denken ("Computational Thinking") im wörtlichen Sinne begreifbar [BLB24]. Dieser kreative Prozess führt gleichzeitig zu einer grundlegenden Demokratisierung von Erfindungen und Technologie [Bl13].

Für die Lehrperson erfordert dieses ergebnisoffene, interdisziplinäre Setting einen fundamentalen Rollenwechsel im Unterrichtsaltag. Die Lehrperson vermittelt nicht mehr nur Wissen, sondern wird zur moderierenden Lernbegleitung [BLB24]. Diese neue Rolle verlangt ein spezifisches "Maker-Mindset" [Do13], in dem Fehler als produktiver Teil eines iterativen Lern- und Designprozesses verstanden werden. Weiter verlassen Lehrpersonen durch die neue Technologie und die veränderte Didaktik ihre gewohnte fachliche Komfortzone, was eine hohe Resilienz und eine starke Selbstwirksamkeitserwartung voraussetzen.

2.2 Wahrgenommene Kompetenz und Selbstwirksamkeit

Das hier diskutierte Instrument erfasst naturgemäss nicht die objektive Performanz, sondern die wahrgenommene Kompetenz (Selbstwirksamkeitserwartung) der Lehrpersonen [Ba97]. Genau dieses subjektive Zutrauen in die eigenen Fähigkeiten, und nicht das tatsächliche Fachwissen, bestimmt massgeblich, wie viel Anstrengung und Ausdauer Lehrpersonen in die Implementierung von Innovationen investieren [SS00]. Gemäss Tschannen-Moran und Hoy [TH01] ist diese Selbstwirksamkeitserwartung folglich der entscheidende Prädiktor dafür, ob Lehrpersonen innovative Bildungstechnologien wie Maker Education tatsächlich in ihren Unterricht adaptieren.

2.3 Agile Unterrichtsentwicklung und datengestützte Steuerung

Während die individuelle Selbstwirksamkeit von Lehrpersonen eine zwingende Basis bildet, greift sie für die nachhaltige Verankerung komplexer Bildungstechnologien zu kurz. Da traditionelle Schulstrukturen weitreichende Innovationen oftmals ausbremsen [AW05], muss die Implementierung zwingend auf organisationaler Ebene flankiert werden. Um neue Maker-Konzepte in den regulären Schulalltag zu überführen, erweisen sich iterative, designbasierte Vorgehensweisen [Re04] in Kombination mit kooperativen Netzwerken [BBM08] und agilen Projektmanagement-Methoden [Hi20] als empirisch wirksamste Strategien.

Damit diese agilen Unterrichtsentwicklungsteams ihre Zyklen aus Planung, Erprobung und Re-Design jedoch zielgerichtet steuern können, verweist die Implementierungsforschung auf das Konzept der datengestützten Schulentwicklung («Data Driven Development») [Ho19]. Theorien zur Schule als lernender Organisation betonen, dass kollektive Reflexionsprozesse zwingend durch ein valides Daten-Feedback über den eigenen Entwicklungsstand im Kollegium ausgelöst werden müssen [Ho19].

An genau dieser Stelle verknüpft sich das hier diskutierte Erhebungsinstrument mit der Schulentwicklung: Es fungiert nicht als isoliertes Bewertungsinstrument für Einzelleistungen, sondern bildet für die Teams die notwendige, strukturelle «Infrastruktur der Innovation» [Ho19]. Er liefert den Teams somit die evidenzbasierte Entscheidungsgrundlage, um ihre eigene Unterrichtsentwicklung kritisch zu evaluieren, "blinde Flecken" aufzudecken und passgenaue Weiterbildungsmaßnahmen zu justieren [Fa22].

3 Methode

3.1 Forschungskontext und Untersuchungsdesign

Die vorliegende Studie beschreibt das methodische Untersuchungsdesign einer mehrstufigen Instrumentenvalidierung. Diese methodische Arbeit findet jedoch nicht isoliert statt, sondern ist als begleitende Evaluationsmassnahme in den Forschungskontext eines mehrjährigen Schulentwicklungsprojekts eingebettet (Teilprojekt «Modellschulen Volksschule» der IT-Bildungsoffensive des Kantons St. Gallen).

Das übergeordnete Schulentwicklungsprojekt verfolgt das Entwicklungsziel, makerorientiertes Lernen in der Primar- und Sekundarstufe I in die Schulkultur der beteiligten Schulen zu integrieren und diese gewonnenen Erkenntnisse flächendeckend zur Verfügung zu stellen. Die konkrete Umsetzung obliegt dabei den Schulen: Ob dies durch die Einrichtung dedizierter Makerspaces, punktuell im regulären Fachunterricht oder durch eine Kombination aus beidem geschieht, liegt im Ermessen der jeweiligen Schule. Da eine nachhaltige Verankerung in der Breite jedoch zwingend forschungsbasierte Entwicklungsansätze [Re04] erfordert, wird das Gesamtprojekt durch einen Design-Based-Research-Ansatz (DBR) gerahmt. In dessen iterativen Zyklen werden die unterschiedlichen schulspezifischen Making-Arrangements als theoriegeleitete Lehr-Lernumgebungen empirisch evaluiert und kontinuierlich weiterentwickelt.

Um die Unterrichtsentwicklungsteams an den Schulen in diesem Prozess formativ begleiten zu können, fehlte es jedoch bislang an einem geeigneten quantitativen Erhebungsinstrument. Das hierfür angewandte spezifische Forschungsdesign der Validierungsstudie gliedert sich exakt in drei methodische Schritte: Phase 1 umfasst die Übersetzung und Instrumentenadaption, Phase 2 die Pilotierung 1 und Phase 3 die Pilotierung 2.

3.2 Phase 1: Instrumentenadaption und diskursive Expertenvalidierung

Da im deutschsprachigen Raum bislang kein quantitatives Instrument zur Verfügung stand, dass die fachlichen und überfachlichen Facetten der Maker Education für Lehrpersonen umfassend abbildet, wurde auf einen internationalen Ansatz

zurückgegriffen. Die Wahl fiel auf das englischsprachige Instrument von Fan [Fa22], welches ursprünglich Kernkompetenzen für die Maker Education in Taiwan identifizierte, da es die entscheidende Schnittstelle zwischen technologischer Anwendung und pädagogisch-didaktischer Umsetzung operationalisiert.

Eine reine wörtliche Übersetzung für den lokalen Bildungskontext war jedoch nicht ausreichend. Aus diesem Grund wurde der Fragebogen theoriegeleitet übersetzt und in einem iterativen Prozess kulturell sowie sprachlich an die Terminologie der nationalen Vorgaben (Lehrplan 21) für die informatische und technische Bildung in der Primar- und Sekundarstufe adaptiert. Als Ausgangspunkt diente das Originalinstrument mit 41 Items in sechs Dimensionen. Davon wurden 23 Items in sprachlich und inhaltlich an den Schweizer Schulkontext adaptierter Form übernommen, während 18 Items entfielen – 17 aufgrund mangelnder inhaltlicher Passung und eines, weil es sich auf ein landesspezifisches Bildungsprogramm des Ursprungslandes bezog. Ein übernommenes Item zum Programmieren wurde in zwei Items (block- und textbasiert) aufgeteilt, sodass die adaptierte Kompetenzskala 24 Items umfasst. Ergänzend wurde sie um die eigens für den lokalen Kontext konstruierte Dimension der kontextuellen Voraussetzungen erweitert, die sowohl die schulische Ausstattung als auch die Kompetenzen der Lernenden erfasst. Um die Inhalts- und Augenscheinvalidität dieses ersten Entwurfs methodisch abzusichern und das Instrument auf die Spezifika des makerorientierten Unterrichts zuzuschneiden, durchlief der Fragebogen einen iterativen Prozess in drei aufeinanderfolgenden Überarbeitungsschleifen durch unterschiedliche Expert:innen-Gremien.

Die Erfassung des Feedbacks erfolgte nicht quantitativ, sondern im Rahmen diskursiver Validierungsgespräche. Die Ergebnisse wurden unmittelbar in die Umformulierung der Items eingearbeitet:

1. **Interne Fachvalidierung:** In einem ersten Schritt wurde das Instrument durch das eigene Projektteam, bestehend aus Dozierenden und Forschenden des Instituts Digitale und Informatische Bildung der Pädagogischen Hochschule St. Gallen (PHSG), systematisch geprüft. Der Fokus lag auf der theoretischen Schärfe der Konstrukte sowie auf der korrekten Integration informatikdidaktischer Konzepte.
2. **Praxisvalidierung und Augenscheinvalidität:** In einem zweiten Schritt wurde der Fragebogen mit einer Gruppe von praxiserfahrenen Lehrpersonen diskutiert, die an den beteiligten Schulen als Multiplikator:innen mit Aufgaben der Unterrichtsentwicklung betraut sind. Durch die Expertise dieser Praktiker:innen wurde sichergestellt, dass die Items die Lebensrealität im Schulalltag abbilden und für die Lehrpersonen verständlich sind.
3. **Externes Sounding-Board:** Abschliessend wurde das adaptierte Instrument im Rahmen der Rigi-Tagung (überregionalen wissenschaftlichen Fachtagung) mit einem erweiterten, interinstitutionellen Gremium von Fachdidaktiker:innen unterschiedlicher Pädagogischer Hochschulen diskutiert und kritisch gespiegelt.

Durch dieses rigorose, mehrstufige Feedbackverfahren konnten Redundanzen in den Items eliminiert, mehrdeutige Formulierungen geklärt und inhaltlich unpassende Items verworfen werden, bevor das Instrument in die breite empirische Pilotierung überführt wurde.

3.3 Phasen 2 und 3: Empirische Pilotierung und Datenerhebung

Um die teststatistische Güte (insbesondere die Konstruktvalidität und Reliabilität) des diskursiv validierten Instruments zu überprüfen, wurden im Rahmen des Schulentwicklungsprojekts zwei aufeinanderfolgende quantitative Erhebungsphasen durchgeführt. Um den Ablauf methodisch nachvollziehbar zu machen, ist hierbei festzuhalten, dass zwischen diesen beiden Pilotierungen eine theoriegeleitete und statistische Bereinigung des Instruments stattfand. Die Datenerhebung erfolgte in beiden Phasen über einen standardisierten Online-Fragebogen. Die befragten Lehrpersonen wurden instruiert, ihre wahrgenommene Kompetenz (Selbstwirksamkeitserwartung) in Bezug auf die Umsetzung von Maker Education im Unterricht auf einer sechsstufigen Likert-Skala (von «trifft überhaupt nicht zu» bis «trifft völlig zu») einzuschätzen.

- **Phase 2 (Pilotstudie 1, N = 118):** Die erste quantitative Erhebung fand in der initialen Integrationsphase des Schulentwicklungsprojektes zur Integration makerorientierten Lernens statt. Die Stichprobe umfasste 118 Lehrpersonen (75% weiblich) aus drei beteiligten Projektschulen, von denen 40% bereits über Vorerfahrungen im Einsatz von makerorientiertem Lernen verfügten. Die Befragten standen am Beginn ihres schulinternen Entwicklungsprozesses. Die Daten dieser ersten Kohorte dienten primär der explorativen Überprüfung der Skalenstruktur.
- **Instrumentenüberarbeitung (Zwischenschritt):** Nach der ersten Pilotierung erfolgte auf Basis einer explorativen Faktorenanalyse die theoriegeleitete Schärfung der Skalen. Ein zentraler Schritt war dabei die klarere Abgrenzung der Dimensionen, wie etwa die Trennung der Fertigungsmethoden von den Grundkenntnissen informatischer Bildung sowie die situative Einbettung der *kontextuellen Voraussetzungen*.
- **Phase 3 (Pilotstudie 2, N = 77):** In einer zweiten Welle wurde das bereinigte und erweiterte Instrument im Rahmen eines fachspezifischen Netzwerktreffens an einer neuen Kohorte erprobt. Diese Stichprobe umfasste 77 Lehrpersonen (52% weiblich) mit einem engen Bezug zum Fachbereich Medien und Informatik sowie zur Fachdidaktik, wobei in dieser Gruppe 53% Vorerfahrungen im makerorientierten Unterrichten aufwiesen. Diese Erhebung diente der systematischen Überprüfung der angepassten Faktorenstruktur und der Erweiterung der Evidenzbasis bezüglich der teststatistischen Güte des Fragebogens.

4 Ergebnisse

Die empirische Überprüfung des theoriegeleitet adaptierten Selbsteinschätzungsinstruments lieferte wertvolle Erkenntnisse sowohl für die teststatistische Güte als auch für dessen praktische Anwendbarkeit in der Unterrichts- und Schulentwicklung. Um den Validierungsprozess transparent darzulegen, werden im Folgenden zunächst die explorativen Erkenntnisse der ersten Pilotierungsphase skizziert, aus denen theoriegeleitete Skalenanpassungen abgeleitet wurden. Anschliessend wird die finale Faktorenstruktur der zweiten Pilotierung inklusive des vollständigen Item-Katalogs präsentiert.

4.1 Pilotierung 1: Explorative Faktorenanalyse und theoriegeleitete Ausdifferenzierung

Die internen Konsistenzen der Skalen zeigten über das gesamte Instrument hinweg bereits zu diesem Zeitpunkt erfreuliche Basis-Reliabilitäten (Cronbachs $\alpha = .88$). Aufgrund der moderaten Stichprobengrösse und mit dem Ziel, möglichst trennscharfe und für die formative Rückmeldung eigenständig interpretierbare Subskalen zu gewinnen, wurde eine explorative Faktorenanalyse mittels Hauptkomponentenanalyse mit orthogonaler Varimax-Rotation und Kaiser-Normalisierung durchgeführt (Itemausschluss bei Faktorladungen $< .40$ oder Doppelladungen $> .30$). Dieses Vorgehen stellt geringere Verteilungs- und Stichprobenanforderungen als faktoranalytische Extraktionsverfahren und ist in der explorativen Skalenentwicklung etabliert. Die Analyse stützte die vom Originalinstrument [Fa22] übernommene Struktur in weiten Teilen, wies jedoch bei einer anfänglichen 6-Faktoren-Lösung punktuelle Unschärfen und Doppelladungen bei einzelnen Items auf. Ergänzende Expert:innen-Bewertungen bestätigten parallel dazu zwar die grundsätzliche Augenschein- und Inhaltsvalidität der Items, wiesen jedoch auf theoriegeleitetes Optimierungspotenzial bei der Skalenabgrenzung hin.

Um das Instrument auf die Dynamik agiler Maker-Projekte abzustimmen, wurden die Dimensionen basierend auf den statistischen und qualitativen Befunden theoriegeleitet geschärft. Für die evidenzbasierte Schulentwicklung ist es essenziell zu unterscheiden, ob Lehrpersonen lediglich eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung in der physischen Gerätebedienung (z. B. 3D-Druck) aufweisen, oder ob sie auch das dahinterliegende algorithmische Denken didaktisch begleiten können. Daher wurde die ursprüngliche Skala konzeptionell in die zwei eigenständigen Dimensionen digitale Fabrikation und analoge Fertigungsprozesse sowie Grundkenntnisse informatischer Bildung aufgespalten.

Zusätzlich wurde bei dieser theoriegeleiteten Bereinigung des Instruments die Notwendigkeit deutlich, die spezifischen Rahmenbedingungen der Lernenden stärker zu gewichten. Folgerichtig wurde die Dimension der *kontextuellen Voraussetzungen* in das Instrument integriert, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass Lehrpersonen ihre eigene Kompetenz stets in direkter Abhängigkeit zu den Voraussetzungen ihrer jeweiligen Lerngruppen reflektieren.

4.2 Pilotierung 2: Validierung der finalen Struktur

Das theoriegeleitet geschärfte Instrument wurde in einer zweiten Pilotstudie ($N = 77$) erneut teststatistisch überprüft. Die Auswertung stützt die vorgenommene Skalenanpassung durch eine auf $\alpha = .92$ gestiegene, exzellente Gesamt-Reliabilität.

Bei der Analyse der Subskalen zeigte sich jedoch, dass die Dimension «Makerkultur» mit einem Wert von $\alpha = .64$ keine ausreichende interne Konsistenz aufwies. Um den teststatistischen Gütekriterien für ein robustes Erhebungsinstrument zu entsprechen, wurde diese Dimension für die finale Version des Instruments ausgeschlossen. Die verbleibenden sieben Subskalen weisen hingegen gute bis sehr gute Reliabilitätswerte in einer Spanne von $\alpha = .74$ bis $\alpha = .88$ auf.

Ein aufschlussreicher Befund zeigte sich zudem bei der Betrachtung struktureller Items: Das Item zur *technischen und räumlichen Ausstattung* lud rechnerisch auf die Skala der *kontextuellen Voraussetzungen* und wurde dort belassen, da es deren Reliabilität stützte.

Zusätzlich lieferte die Überprüfung der Konstruktvalidität ein zentrales Argument für den künftigen Einsatz des Instruments in der formativen Unterrichtsentwicklung: Zwischen der Gesamtskala zur Kompetenzeinschätzung und einer parallel erhobenen Gesamtskala zur Wichtigkeitseinschätzung zeigte sich keine signifikante Korrelation ($r = -.18$, $p > .05$). Dies bedeutet, dass die von den Lehrpersonen wahrgenommene Wichtigkeit einer Maker-Kompetenz nicht automatisch mit einer hohen eigenen Performanzerwartung einhergeht. Genau diese empirisch messbare Diskrepanz deckt blinde Flecken auf und liefert Schulentwicklungsteams die notwendige Evidenz, um zielgerichtete und passgenaue Weiterbildungsmaßnahmen abzuleiten.

4.3 Das entwickelte Erhebungsinstrument

Nach Abschluss der iterativen Validierungsphasen liegt mit dem finalen Fragebogen ein reliables, quantitatives Instrument vor, das die wahrgenommene Making-Kompetenz von Lehrpersonen über sieben Dimensionen hinweg abbildet. Um die Skalenbildung für die Praxis und die weitere Forschung transparent zu machen, wird im Folgenden der gesamte validierte Item-Katalog offengelegt.

Das Instrument umfasst insgesamt 23 empirisch überprüfte Items und kann von verschiedenen schulischen Akteur:innen direkt zur formativen Selbstevaluation eingesetzt werden. Diese finale Itemzahl ist nicht mit den 23 aus dem Originalinstrument übernommenen Items gleichzusetzen: Von den 23 validierten Items entstammen 20 der Adaption des Ausgangsinstruments, drei der neu konstruierten Dimension der kontextuellen Voraussetzungen. Zwischen dem adaptierten Entwurf und der finalen Version verringerte sich der Itempool durch den empirisch begründeten Ausschluss einzelner Items sowie der Dimension «Makerkultur». Im Fragebogen wurden die kompetenzbezogenen Items (Skalen 2 bis 7) mit dem übergeordneten Item-Stamm eingeleitet, inwieweit sich die Lehrpersonen die jeweiligen Kenntnisse, Fähigkeiten und

Fertigkeiten zutrauen. Die Items der Dimension der kontextuellen Voraussetzungen (Skala 1) bezogen sich demgegenüber auf die Passung zur eigenen Schule und zu den Lernenden. Tabelle 1 präsentiert eine Übersicht der sieben validierten Dimensionen, deren spezifische Reliabilitätswerte aus der zweiten Pilotierung sowie die zugehörigen Items.

Dimension / Skala	Cronbachs α	Vollständige Items der Skala
1. Kontextuelle Voraussetzungen	[.77]	1.1 Die technische und räumliche Ausstattung meiner Schule ermöglicht es, makerorientierte Projekte erfolgreich umzusetzen. 1.2 Meine Schülerinnen und Schüler besitzen die grundlegenden Kompetenzen, um eigenständig an Maker-Projekten zu arbeiten. 1.3 Meine Schülerinnen und Schüler sind in der Lage, mit offenen Unterrichtsformen umzugehen.
2. Digitale Fabrikation und analoge Fertigungsprozesse	[.82]	2.1 Grundkenntnisse der digitalen Konstruktion (z.B. digitale 2D- und 3D-Konstruktionen, CAD, ...). 2.2 Grundkenntnisse in Designprozessen. 2.3 Grundkenntnisse der Mechanik und Statik (Bewegungen und Kräfte). 2.4 Grundkenntnisse in Elektronik.
3. Grundkenntnisse informatischer Bildung	[.74]	3.1 Grundkenntnisse im blockbasierten Programmieren (z.B. Scratch, MakeCode, ...). 3.2 Grundkenntnisse im textbasierten Programmieren (z.B. TigerJython, xLogo, Swift Playgrounds,...). 3.3 Grundkenntnisse über neue Technologien (z.B. Künstliche Intelligenz, Virtuelle Realität, etc.).
4. Methodenkompetenzen für Making	[.84]	4.1 Die Kompetenz, um im Makerspace oder in der Werkstatt Sicherheit und Gesundheitsschutz zu gewährleisten und Unfälle zu vermeiden. 4.2 Die Kompetenz, traditionelle Werkzeuge wie Bohrmaschinen oder Schraubenzieher auszuwählen und sicher zu bedienen.

		4.3 Die Kompetenz, digitale Fertigungstechnologien wie 3D-Drucker oder Schneideplotter auszuwählen und sicher einzusetzen. 4.4 Die Kompetenz, um einen geeigneten Makerspace oder eine makerorientierte Lernumgebung einzurichten.
5. Problembasiertes Lehren	[.80]	5.1 Die Fähigkeit, kreative Lösungen auf der Grundlage von Problemstellungen vorzuschlagen. 5.2 Die Fähigkeit, spezifische Produkte basierend auf einer Problemstellung zu erstellen. 5.3 Die Fähigkeit, während eines laufenden Projektes selbstständig fehlende Kompetenzen aufzubauen.
6. Unterrichtsgestaltung	[.82]	6.1 Die Fähigkeit, Unterricht so zu gestalten, dass die Lernenden in Projekten an realen Problemen arbeiten und dabei Lösungen finden. 6.2 Die Fähigkeit, erlebnis- und handlungsorientierte Maker-Aktivitäten zu entwerfen. 6.3 Die Fähigkeit, Unterrichtsinhalte für einen makerorientierten Unterricht zu erstellen.
7. Lehrstrategien und -methoden	[.88]	7.1 Die Fähigkeit, den Inhalt und die Lehr- und Lernmethoden flexibel an die Bedürfnisse der Lernenden anzupassen. 7.2 Lehr- und Lernstrategien, welche die Lernenden zu kreativem Denken anregen. 7.3 Lehr- und Lernstrategien, welche die Lernenden beim Entwerfen und Lösen von Problemen anleiten.

Tab. 1: Dimensionen, Reliabilitäten (standardisierte Cronbachs Alpha, N=77) und Items des finalen Erhebungsinstruments

5 Diskussion und Ausblick

Mit dem vorliegenden Beitrag wurde ein Erhebungsinstrument adaptiert und validiert, welches die wahrgenommene Kompetenz von Lehrpersonen im Bereich der Maker Education empirisch messbar macht. Die Beantwortung der ersten Forschungsfrage zur diagnostischen Güte zeigt, dass nach theoriegeleiteter Schärfung und dem Ausschluss inkonsistenter Konstrukte ein hochreliables Instrument mit sieben empirisch überprüften Dimensionen vorliegt. Da die Skala nun klar zwischen handwerklichen Fertigungsmethoden und informatischer Bildung differenziert, wird die bislang stark durch qualitative Fallstudien geprägte Implementierungsforschung um ein quantitatives Werkzeug ergänzt. Schulen erhalten durch diese Ausdifferenzierung die Möglichkeit, den fachlichen Fokus vertieft zu analysieren und Weiterbildungen im Bereich der Informatik oder der digitalen Fabrikation deutlich zielgerichteter zu planen.

Bezüglich der zweiten Forschungsfrage liefert die empirische Überprüfung zwei hochrelevante Befunde für allgemeine schulische Professionalisierungsprozesse und im Speziellen für agile Unterrichtsentwicklungsteams. Erstens offenbart die statistische Unschärfe des Items zur räumlichen und technischen Ausstattung einen entscheidenden ökologischen Zusammenhang: Lehrpersonen trennen ihre eigene handlungsbezogene Selbstwirksamkeitserwartung nicht von der physischen Lernumgebung. Gerade bei hochtechnisierten Ansätzen wie der digitalen Fabrikation wird das Gelingen des Unterrichts als untrennbar mit den strukturellen Rahmenbedingungen wahrgenommen. Dies stützt etablierte Erkenntnisse der Implementierungsforschung, wonach Personalentwicklung und Organisationsentwicklung bei der Etablierung komplexer Schulinnovationen zwingend synchron und iterativ gedacht werden müssen [AW05; Ho19].

Zweitens zeigt sich das Potenzial des Instruments als formativer Steuerungsmechanismus in seiner Fähigkeit, fachliche Unsicherheiten im Kollegium aufzudecken. Wie die Ergebnisse belegen, korreliert die von den Lehrpersonen wahrgenommene Wichtigkeit einer Maker-Kompetenz nicht zwingend mit der eigenen wahrgenommenen Performanz. Beispielsweise kann die Vermittlung informatischer Bildung im Kollegium als höchst relevant eingestuft werden, während die wahrgenommene Handlungskompetenz im Programmieren gleichzeitig gering ausfällt. Genau diese durch das Instrument empirisch sichtbaren Diskrepanzen decken blinde Flecken auf und liefern agilen Teams im Sinne einer lernenden Organisation [Ho19] den theoriegeleiteten und evidenzbasierten Anlass für passgenaue Weiterbildungsmaßnahmen im Bereich der Informatik oder der digitalen Fertigung.

5.1 Limitationen

Bei der Interpretation der erfassten Daten müssen spezifische methodische Grenzen berücksichtigt werden. Das Instrument erfasst im Sinne der sozial-kognitiven Theorie ausschliesslich die wahrgenommene Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrpersonen,

nicht jedoch deren objektive fachdidaktische Performanz im tatsächlichen Unterrichtsgeschehen. Dies bringt die klassischen Limitationen von Selbsteinschätzungsinstrumenten mit sich, wie etwa unbewusste Tendenzen zur sozialen Erwünschtheit oder eine mögliche Diskrepanz zwischen wahrgenommener und tatsächlicher Handlungskompetenz bei der Umsetzung von Maker-Projekten. Zudem ist die Evidenzbasis mit den Stichprobengrößen der beiden Pilotstudien aus einem spezifischen regionalen Projektkontext als Limitation zu betrachten. Formative Daten aus diesem Selbsteinschätzungsinstrument sollten in der zukünftigen Forschung daher idealerweise mit qualitativen Unterrichtsbeobachtungen trianguliert werden, um diese methodischen Grenzen systematisch aufzugreifen und die Validität der Befunde weiter zu erhärten. Der empirische Nachweis, inwiefern die Nutzung des Instruments die agile Schulentwicklung und die Resilienz des Kollegiums nachhaltig steigert, bleibt Gegenstand künftiger longitudinaler Untersuchungen.

5.2 Ausblick auf zukünftige Forschung und Transferabilität

Für die Weiterentwicklung des Instruments ergeben sich konkrete Anschlussperspektiven. Zur Überprüfung der potenziellen Diskrepanz zwischen wahrgenommener und tatsächlicher Handlungskompetenz sollten künftige Studien die Selbsteinschätzungsdaten gezielt mit objektiven Erhebungsverfahren triangulieren. Dies könnte beispielsweise durch videografierte Unterrichtsbeobachtungen, die didaktische Analyse der im Unterricht entstandenen Maker-Artefakte oder durch korrespondierende Lernendenbefragungen umgesetzt werden. Zudem ist eine Validierung des Instruments an deutlich grösseren, überregionalen und schulformübergreifenden Stichproben erforderlich, um die Generalisierbarkeit der Faktorenstruktur abzusichern und kontextspezifische Unterschiede systematisch zu prüfen.

Innerhalb des vorliegenden Kontexts fungiert das adaptierte Selbsteinschätzungsinstrument bereits als methodisches Werkzeug im Teilprojekt «Modellschulen Volksschule» der IT-Bildungsoffensive des Kantons St. Gallen, einem mehrjährigen Schulentwicklungsprojekt mit Design-Based-Research-Ansatz. In diesem Rahmen wird das Instrument in einer Längsschnittstudie eingesetzt, um die Resilienz und den Kompetenzaufbau der Lehrpersonen im makerorientierten Lernen über mehrere Jahre iterativ zu begleiten und zu evaluieren.

Darüber hinaus bietet das hier präsentierte methodische Design der Instrumentenadaption grosses Transferpotenzial für weitere technologische Forschungsfelder. Das Vorgehen lässt sich als Blaupause nutzen, um künftig benötigte Erhebungsinstrumente für allgemeine schulische Professionalisierungsprozesse, die breite MINT-Förderung oder die anstehende Integration von Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) im fächerübergreifenden Unterricht theoriegeleitet und evidenzbasiert zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- [AW05] Altrichter, H.; Wiesinger, S.: Implementation von Schulinnovationen – aktuelle Hoffnungen und Forschungswissen. *Journal für Schulentwicklung* 9(4)/05, S. 28–36, 2005.
- [Ba97] Bandura, A.: *Self-efficacy: The exercise of control*. W.H. Freeman and Company, New York, 1997.
- [BBM08] Berkemeyer, N.; Bos, W.; Manitus, V.; Müthing, K.: *Unterrichtsentwicklung in Netzwerken. Konzeptionen, Befunde, Perspektiven*. Waxmann, Münster, 2008.
- [BLB24] Baberowski, D.; Leonhardt, T.; Bergner, N.: Digital Fabrication als Brücke zwischen Making und Informatik. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung* 56 (Making & more)/24, S. 314–330, 2024. DOI: 10.21240/mpaed/56/2024.02.05.X.
- [Bl13] Blikstein, P.: Digital fabrication and 'making' in education: The democratization of invention. *FabLabs: Of machines, makers and inventors* 4(1)/13, S. 1–21, 2013. DOI: 10.14361/transcript.9783839423820.203.
- [Do13] Dougherty, D.: The Maker Mindset. In (Honey, M., Hrsg.): *Design, Make, Play: Growing the Next Generation of STEM Innovators*. Routledge, New York, S. 7–11, 2013.
- [Eh20] Ehlers, U.-D.: *Future Skills. Lernen der Zukunft – Hochschule der Zukunft. Zukunft der Hochschulbildung – Future Higher Education*. Springer, Wiesbaden, 2020.
- [Fa22] Fan, S.-C.: An importance–performance analysis (IPA) of teachers' core competencies for implementing maker education in primary and secondary schools. *International Journal of Technology and Design Education* 32(2)/22, S. 943–969, 2022. DOI: 10.1007/s10798-020-09633-7.
- [Hi20] Himpsl-Gutermann, K. et al.: *Medienbildung, Making und Schulentwicklung: Theoretische Überlegungen und Erfahrungen zur Implementierung von Maker Labs an Schulen am Beispiel des EduMakerSpace Favoriten*. *Medienimpulse* 58(4)/20, S. 1–50, 2020. DOI: 10.21243/mi-04-20-26.
- [Ho13] Holtappels, H. G.: Innovation in Schulen – Theorieansätze und Forschungsbefunde zur Schulentwicklung. In (Rürup, M.; Bormann, I., Hrsg.): *Innovationen im Bildungswesen. Analytische Zugänge und empirische Befunde*. VS, Wiesbaden, S. 45–69, 2013. DOI: 10.1007/978-3-531-19701-2_2.
- [Ho19] Holtappels, H. G.: Transfer in der Schulentwicklung. Ansätze und Gelingensbedingungen aus der Perspektive von Schulentwicklungstheorie und -forschung. *DDS – Die Deutsche Schule* 111(3)/19, S. 274–293, 2019. DOI: 10.31244/dds.2019.03.03.
- [Me21] Mersand, S.: The State of Makerspace Research: a Review of the Literature. *TechTrends* 65(2)/21, S. 174–186, 2021. DOI: 10.1007/s11528-020-00566-5.
- [Pa93] Papert, S.: *The children's machine: rethinking school in the age of the computer*. BasicBooks, New York, 1993.
- [Re04] Reinmann, G.: Implementation als Designprozess. In (Reinmann, G.; Mandl, H., Hrsg.): *Psychologie des Wissensmanagements*. Hogrefe, Göttingen, S. 234–247, 2004.

- [SS00] Schmitz, G. S.; Schwarzer, R.: Selbstwirksamkeitserwartung von Lehrern: Längsschnittbefunde mit einem neuen Instrument. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 14(1)/00, S. 12–25, 2000. DOI: 10.1024//1010-0652.14.1.12.
- [TH01] Tschannen-Moran, M.; Hoy, A. W.: Teacher efficacy: Capturing an elusive construct. *Teaching and Teacher Education* 17(7)/01, S. 783–805, 2001. DOI: 10.1016/S0742-051X(01)00036-1.
- [Wi02] Wiechmann, J.: Der Innovationstransfer in der Breite des Schulwesens – Rahmenbedingungen der Zielentscheidungen von Schulen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 5(1)/02, S. 95–117, 2002. DOI: 10.1007/s11618-002-0006-x.