

Entwicklung eines digitalen Mathematikförderprogramms für modulare Lerntherapie

Leon Skoba*, Monika Daseking

*Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie
Helmut-Schmidt-Universität/
Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg, Deutschland
leon.skoba@hsu-hh.de

Darius Endlich*, Wolfgang Lenhard

*Lehrstuhl Psychologie IV
Pädagogische Psychologie
Universität Würzburg
Würzburg, Deutschland*

Kurzfassung – Der vorliegende Beitrag skizziert die Entwicklung und den Aufbau eines digitalen Förderprogramms zur modularen Lerntherapie im Bereich Mathematik für Kinder mit Rechenschwierigkeiten. Darüber hinaus werden die Ergebnisse aus der Erprobung der ersten vorläufigen Version in den Jahrgangsstufen 2 bis 6 präsentiert. Basierend auf bisherigen empirischen Erkenntnissen wurden 15 verschiedene Aufgaben konzipiert, welche sich fünf zentralen Inhaltsbereichen der frühen mathematischen Kernkompetenzen zuordnen lassen: Mengenverständnis, Zählfertigkeiten und Zahlenkonzept, allgemeine Rechenfertigkeiten, visuell-räumliches Vorstellungsvermögen sowie Sachaufgaben und arithmetisches Faktenwissen. Des Weiteren wurde bei der Konzeption des Spiels auf eine adäquate methodische Darstellung sowie ein angemessenes Game-Design geachtet, welches sich an den spezifischen Bedürfnissen der Zielgruppe orientiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das Spieldesign von den teilnehmenden Kindern positiv wahrgenommen wird. Zudem lassen sich mit der vorläufigen Version, bestehend aus drei Aufgaben, erste Hinweise auf die erwarteten Schwierigkeitsniveaus innerhalb der Aufgabenbereiche abbilden. Die ersten Ergebnisse erlauben zudem Aussagen bezüglich der potenziellen Umsetzbarkeit in der Praxis sowie der bevorstehenden Evaluation.

Stichworte – *Computerbasierte Förderung, mathematische Kompetenzen, E-Learning, Lerntherapie*

I. EINLEITUNG

In zahlreichen Untersuchungen konnte die Wirksamkeit einzelner digitaler Anwendungen fürs Lernen nachgewiesen werden [1],[2],[3]. Auch für Kinder und Jugendliche mit Rechenschwierigkeiten liegen wissenschaftliche Belege vor, welche die Effektivität von digitalen Förderprogrammen nachweisen [4],[5], insbesondere für neuere Förderprogramme. Mittlerweile existiert eine Bandbreite zumeist kostenpflichtiger Mathematik-Fördersoftware: von einfachen Lernspielen mit einzelnen Übungen bis hin zu wissenschaftlich basierten Trainingskonzepten. Mögliche Rahmenbedingungen des Einsatzes der Förderprogramme sind mindestens genauso vielseitig und nicht immer klar definiert: ob zuhause, in der Schule oder in der Lerntherapie. Für die Anwender:innen (insbesondere Lerntherapeuten) lässt sich die Qualität der Förderprogramme auf den ersten Blick nicht erkennen. Daher wird häufig auf die ergänzende Anwendung der Förderprogramme verzichtet, da individuelle Erfahrungen gezeigt

haben, dass die Erwartungen im Hinblick auf Anwendung, Gestaltung oder inhaltliche Aspekte nicht erfüllt werden [6]. Zudem sollte ein Förderprogramm für die entsprechende Zielgruppe (Kinder und Jugendliche) so attraktiv gestaltet sein, dass das Interesse zur Nutzung des Programms geweckt wird – sowohl kurz- als auch langfristig [7]. Da sich digitale Anwendungen (u. a. Videospiele) für Kinder und Jugendliche im ständigen Wandel befinden und insbesondere die grafische Darstellung und spielerische Möglichkeiten kontinuierlich weiterentwickelten, könnten ältere Förderprogramme für Kinder und Jugendliche zudem weniger reizvoll gewesen sein. Zwar zeigten Benavides-Varela und Kollegen [4] in einer aktuellen Metaanalyse keinen signifikanten Vorteil von Förderprogrammen mit Videospieldesign gegenüber einfachen digitalen Lernprogrammen ermitteln, jedoch vermuten die Autor:innen, dass sich dies in naher Zukunft durch die Weiterentwicklung der technologischen Möglichkeiten ändern könnte. Avila-Pesantez, Delgadillo und Rivera [8] kommen zu dem Schluss, dass Serious Games ohne ein klar umrissenes Spieldesign die festgelegten Förderziele allerdings nicht erreichen können. Die Autor:innen schlagen einen konkreten Ablauf bei der Entwicklung von Serious Games vor, um eine optimale und effiziente Lernumgebung zu ermöglichen. So müssen in den ersten Phasen unter anderem das Spielkonzept, Spielmechaniken, die Lerninhalte, -strategien und -ziele sowie die didaktische und pädagogische Umsetzung bei der Entwicklung mitberücksichtigt werden. Abschließend sollte mit Hilfe von mehreren Prototypen das Förderspiel auf verschiedene Aspekte wie z. B. Benutzerfreundlichkeit, technische Spielqualität und Erreichen von Lernzielen evaluiert werden.

Die Forschungsgruppe im Projekt AppLeMat – App für modulare Lerntherapie im Bereich Mathematik – hat sich zum Ziel gesetzt, ein digitales und wissenschaftlich fundiertes Mathematikförderprogramm in Form eines Tablet-basierten Spiels zu entwickeln, welches sowohl für die Lehrenden, die Lerntherapeuten, als auch für die Lernenden, insbesondere Kinder mit Rechenschwäche, ergänzend zur Lerntherapie eine förderliche Lernumgebung schafft. Auf dem Weg zur Veröffentlichung des Förderprogramms werden verschiedene Studien mit vorläufigen Pilotversionen durchgeführt, um die Nutzerfreundlichkeit, Funktionalität, das inhaltliche Konzept und

Gütekriterien wie Aufgabenschwierigkeiten, Validität und Reliabilitätsmaße zu untersuchen, ebenso wie die Wirksamkeit des Programms.

II. PROJEKTSKIZZE

Mit diesem Beitrag soll ein Einblick in den Entwicklungsprozess des Mathematikförderprogramms „Eckis Würfelkosmos – Abenteuer in der Zahlengalaxie“ gegeben werden: Zuerst wird sowohl das Spielkonzept als auch das Spieldesign dargestellt, mit dem primären Fokus auf die verschiedenen Inhaltsbereiche, die trainiert werden sollen. Anschließend sollen die Ergebnisse der Erprobung der ersten Pilotversion in Bezug auf Benutzerfreundlichkeit und Aufgabenschwierigkeiten dargestellt werden.

A. Storyline

Das Spiel „Eckis Würfelkosmos – Abenteuer in der Zahlengalaxie“ ist für Kinder mit Rechenschwäche im Alter von acht bis zwölf Jahren konzipiert worden. Die Spielhandlung findet im Weltraum statt. Das Kind spielt eine:n Astronaut:in, die mit der Rakete eine Bruchlandung auf einem Würfel-Planeten erlebt. Auf dem Würfel-Planeten trifft der/die Spieler:in auf einen Nicht-Spieler-Charakter (non-playable character, NPC) Namens „Ecki“ – eine kleine Figur, die als Helfer das Kind dabei begleitet, die Rakete zu reparieren. Gemeinsam mit Ecki muss das Kind verschiedene Orte aufsuchen, weitere Helferfiguren kontaktieren und deren Missionen erledigen, um das Spiel erfolgreich abzuschließen und mit der Rakete nach Hause fliegen zu können. Zusammenfassend lässt sich die Spielmechanik wie folgt darstellen: Der oder die Nutzer:in bearbeitet Mathematikaufgaben, für die er anschließend eine Belohnung in Form von Würfeln und kleinen Gestaltungselementen erhält. Diese Würfel müssen aneinandergelagert werden, damit sich das Spieluniversum vergrößert, neue Inhalte freigeschaltet werden, sowie um in der Story voranzukommen. Sobald alle erworbenen Würfel verbraucht worden sind, müssen weitere Mathematikaufgaben bearbeitet werden, um wieder neue Würfel zu erhalten – der Spielzyklus wiederholt sich. Jede Aufgabe ist einem mathematischen Inhaltsbereich zugeordnet und sowohl grafisch als auch inhaltlich an das Weltraum-Schema angepasst. Dabei kommen neue Herausforderungen und Spielelemente dazu und die Aufgaben passen sich dem Schwierigkeitsniveau des Kindes an und variieren in den Inhaltsbereichen.

B. Überblick über die Inhaltsbereiche

Es existiert eine Vielzahl an empirischen Untersuchungen darüber, welche Bereiche für das frühe Erlernen von Mathematikkompetenzen nützlich sind [9], [10], [11], [12], [13]. Zwischen den Autorinnen und Autoren gibt es Überschneidungen im Hinblick auf einzelne Faktoren (z. B. Zählfertigkeiten; vgl. Aunio und Räsänen [9] und Hirsch et al. [12], wobei sich die Zusammensetzung der Faktoren zum Teil stark unterscheidet, u. a. in Abhängigkeit vom Kontext. Fischer et al. [11] haben festgestellt, dass in den gängigsten deutschsprachigen Diagnostikinstrumenten teilweise andere Bereiche erhoben werden, als in den Förderprogrammen trainiert werden. Da Rechenschwäche kein einheitliches Störungsbild darstellt, empfehlen die Autor:innen, „dass theoriegeleitete Förderprogramme einem modularen Aufbau folgen, bei dem einzelne Bestandteile je nach Bedarf flexibel für die Förderung eingesetzt werden können“ [11, S.36].

Die Konstruktion der einzelner Trainingsbereiche orientierte sich an nationalen Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz für das Fach Mathematik im Primarbereich [14]

sowie an lernpsychologischen Grundlagen und wissenschaftlichen Erkenntnissen zum Erlernen und Fördern von mathematischen Basisfertigkeiten und Rechengrundlagen – es ist eine Kombination aus curricularen und nicht-curricularen Aufgabenbereichen [15], die einem modularen Förderansatz folgt. Inspiriert wurde die Entwicklung von den beiden Förderprogrammen Rechengespiele mit Elfe und Mathis 1 und 2 [16], [17]. Die aktuelle Endversion des Spiels, die voraussichtlich im dritten Quartal des Jahres 2024 veröffentlicht wird, beinhaltet 15 Aufgaben, die theoriegeleitet in fünf Inhaltsbereiche eingeteilt werden können: (1) Mengenverständnis, (2) Zählfertigkeiten und Zahlenkonzept, (3) visuell-räumliches Vorstellungsvermögen, (4) allgemeine Rechenfertigkeiten und (5) Sachaufgaben und arithmetischen Faktenwissen.

1) Mengenverständnis

Der Umgang mit Mengen stellt eine wichtige Voraussetzung für die mathematische Entwicklung in der Grundschule dar [18]. Darunter werden die Erfassung von Mengen und das Vergleichen von Mengen gefasst, ebenso wie das Aufteilen und Zusammenführen von Mengen sowie das Zuordnen der korrespondierenden arabischen Ziffer zu einer Mengendarstellung. Für den Inhaltsbereich *Mengenverständnis* sind drei Aufgaben angesetzt: (1) *Mengenvergleiche*, (2) *Zahlen zuordnen* und (3) *Simultane Mengenerfassung*.

In der Aufgabe *Mengenvergleiche* steht die Erfassung und der Vergleich der Mächtigkeit von Mengen im Vordergrund. Aufgabe der Kinder ist es, Kristalle von Asteroiden zu sammeln. Dabei soll stets jener Asteroid mit den meisten Kristallen ausgewählt werden. Um die Mengenvergleiche korrekt zu lösen, müssen nahe beieinander liegende Anzahlen unterschieden werden. Damit die Mengen visuell unmittelbare miteinander verglichen werden können, werden für die Darstellung von Mengen stets identische Objekte verwendet [19].

In der Aufgabe *Zahlen zuordnen* wird die Verbindung von Mengen und dazugehörigen Zahlen trainiert. Auf dem Bildschirm werden arabische Zahlen von 1 bis 10 dargeboten, die verschiedenen Mengendarstellungen zugeordnet werden sollen. Da die Anzahl der Punktmengen nicht direkt ersichtlich ist, müssen Kinder auf die Strategie des Abzählens zurückgreifen. Durch das wiederholte Abzählen von Punktmengen und der aktiven Zuordnung von arabischen Zahlen zu den Punktmengen wird das Verständnis gefördert, dass die zuletzt gezählte Zahl die Mächtigkeit der entsprechenden Menge repräsentiert [19]. Auf diese Weise erwerben die Kinder ein präzises Anzahlkonzept, das Kinder ohne Rechenschwäche üblicherweise bereits im Kindergarten entwickelt haben.

Mit den Aufgaben zur *Simultanen Mengenerfassung* soll die Fähigkeit trainiert werden, innerhalb kurzer Zeit (max. 2 Sekunden) eine geringe Menge an Objekten visuell zu erfassen, ohne dass auf die Zählfähigkeit zurückgegriffen werden kann [20, S.115ff]. Es werden Objekte in Form von Sternschnuppen präsentiert, die auf dem Bildschirm in Abhängigkeit von der Schwierigkeitsstufe zwischen einer und zwei Sekunden erscheinen werden; je nach Altersgruppe können bis zu sieben Elemente von Personen simultan erfasst werden (Anobile, Arrighi & Burr, 2019).

2) Zählfertigkeiten und Zahlenkonzept

Das Ziel des Inhaltsbereichs *Zählfertigkeiten und Zahlenkonzept* „ist es, eine abstrakte mentale Repräsentation von Zahlen auszubilden und zu festigen.“ [21, S.81] Die Entwicklung eines Zahlenkonzepts sowie das Verständnis von Zahlen soll in diesem Bereich gefördert werden. Es ist, ähnlich wie

Mengenverständnis, ein grundlegender Bestandteil der Basiskompetenzen zum Erwerb der Rechenfertigkeiten, der sich in gängigsten Entwicklungsmodellen wiederfinden lässt [19], [22]. Der Inhaltsbereich Zählfertigkeiten und Zahlenkonzept wird durch folgende Aufgaben abgebildet: (1) *Zahlen verbinden*, (2) *Fehlende Zahl*, (3) *Zahlenstrahl* und (4) *Zählen*.

Bei der Aufgabe *Zahlen verbinden* werden die Kinder dazu aufgefordert Zahlen in einer vorgegebenen Reihenfolge zu verbinden. Es werden Punkte in Form von Sternen präsentiert, die nacheinander angetippt werden. Auf diese Weise entsteht am Ende ein fiktives Sternbild. Mit diesen Aufgaben soll das ordinale Zahlenverständnis trainiert werden, was zu den numerischen Kernkompetenzen zählt und in den gängigsten Förderprogrammen zu Rechenstörung wiederzufinden ist [11], [23].

Mit der Aufgabe *Zahlenstrahl* soll die zahlenräumliche Vorstellung trainiert und auf längere Sicht eine mentale Repräsentation eines relationalen Zahlenstrahls ausgebildet werden. Eine mentale Repräsentation des Zahlenstrahls dient den Kindern als eine wichtige Grundlage beim Rechnen [24], [25]. Kucian und Kollegen [24] konnten zeigen, dass sich bereits nach einem fünf-wöchigen Training mit einem Computerspiel zum Zahlenstrahl die Fehleranfälligkeit bei der Bearbeitung der Aufgabe verringert hatte, was für eine Entwicklung einer linearen Zahlenraumvorstellung spricht. Darüber hinaus konnte eine Verbesserung der Rechenfertigkeiten beobachtet werden.

In der Aufgabe *Fehlende Zahl* werden mehrere Zahlen gleichzeitig in einer bestimmten Reihenfolge visuell präsentiert und dabei mindestens eine Stelle ausgelassen (z. B. 2, 4, 6, X, 10). Die Aufgabe der Kinder ist es, eine Zahl zu bestimmen, die die abgebildete Zahlenreihe korrekt vervollständigt (in diesem Beispiel 8). Um diese Aufgabe bewältigen zu können, bedarf es sowohl eines ordinalen als auch eines relationalen Zahlenverständnisses. Während beim Zahlenstrahl die Linien und Markierungen dem Kind eine räumliche Orientierung geben, ist es bei dieser Aufgabe erforderlich die Intervallabstände zwischen den Zahlen zu bestimmen [26].

Die Fähigkeit des *Zählens* ist eine grundlegende Fertigkeit mit der auch die ersten Rechenoperationen, wie Addition und Subtraktion durchgeführt werden können [11], [19], [27]. Gleichzeitig müssen andere grundlegende Basisfertigkeiten vorab entwickelt sein, damit das Zählen fehlerfrei gelingt: Zum einen muss die Eins-zu-Eins-Zuordnung zwischen dem Zahlwort und Objekt sicher beherrscht werden, damit ein Abzählen von mehreren Dingen erfolgen kann. Zum anderen muss auch das Prinzip der Kardinalität verstanden werden – das Wissen darüber, dass die Zahl am Ende des Zählvorgangs für eine Größe steht.

3) Sachaufgaben und arithmetisches Faktenwissen

Mathematische Fähigkeiten beschränken sich nicht auf den isolierten Umgang mit Mengen und Zahlen. Darüber hinaus ist es wichtig, über mathematisches Faktenwissen zu verfügen und mathematische Fähigkeiten auf verschiedene Szenarien zu übertragen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, widmet sich ein Inhaltsbereich den *Sachaufgaben und arithmetisches Faktenwissen*. Stern [28] stellt heraus, dass ein Training von Sachaufgaben dabei helfen kann, das mathematische Verständnis zu erweitern. Der Inhaltsbereich setzt sich zusammen aus Aufgaben zu den Bereichen (1) *Sachaufgaben* und (2) *Größenvergleich*.

Der Bereich *Sachaufgaben* dient dazu, mathematische Fertigkeiten in einem realistischen Alltagskontext anzuwenden. Im Gegensatz zu Textaufgaben, die zwar eine mathematisch sinnvolle Lösung erlauben, jedoch mitunter sehr realitätsfern konstruiert sind, ergeben Sachaufgaben stets ein sinnvolles episodisches Situationsmodell. Durch das Trainieren jener Anforderungen, die für eine Umsetzung von Texten in mathematische Situationsmodelle erforderlich sind, kann das mathematische Verständnis entschieden erweitert werden [28].

In der Aufgabe *Größenvergleich* werden zwei Mengenangaben einer physikalischen bzw. monetären Einheit präsentiert. Aufgabe der Kinder ist es, die beiden Mengen durch das Berühren der korrekten Operatoren ($>$, $<$, $=$) zu vergleichen. Dabei lernen die Kinder, dass eine Zahl durch die Verbindung mit einer Maßeinheit eine Bedeutung erhält (obwohl 1.000 eine größere Zahl als 5 ist, sind 1.000 g weniger als 5 kg). Das Spiel orientiert sich am Themenbereich „Größen und Messen“ der nationalen Bildungsstandards für den Primarbereich [14].

4) Visuell-räumliches Vorstellungsvermögen

Obwohl in den S3-Leitlinien des AWMF [29] das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis als auch in den Bildungsstandards für das Fach Mathematik der KMK eines der zentralen inhaltlichen mathematischen Kompetenzen das räumliche Vorstellungsvermögen (Leitidee „Raum und Form“) [14] als ein wichtiger Förderbereich aufgeführt ist, so findet sich dieser kaum in den gängigsten deutschsprachigen Förderprogrammen für Kinder mit Rechenschwäche wieder [11]. Angestrebt sind 3 Aufgabenbereiche: (1) *Anzahl an Bausteinen*, (2) *Formen legen*, (3) *Visuelle Suche*.

In der Aufgabe *Anzahl an Bausteinen* werden einfach bis komplexe Figuren präsentiert, die aus einzelnen Würfeln aufgebaut sind; die Aufgabe des Kindes besteht darin die Anzahl der Würfel zu bestimmen. Hierfür müssen nicht sichtbare Würfel erschlossen und in der Vorstellung vervollständigt werden. Angelehnt ist die Aufgabe einerseits aus geläufigen Aufgabenstellungen aus dem Bereich der Intelligenzdiagnostik (Untertest „Dreiecke“ des K-ABC) [30], andererseits an den nationalen Bildungsstandards für den Primarbereich [14], um den Inhaltsbereich „Über räumliches Vorstellungsvermögen verfügen“ zu trainieren.

In der Aufgabe *Formen legen* sollen geometrische Formen aus Einzelementen zusammengefügt werden. Dafür werden eine Zielfigur und die einzelnen Bausteine der Zielfigur dargestellt. In einem Drag-und-Drop-Verfahren haben die Kinder die Möglichkeit, die einzelnen Elemente an vorgegebenen Positionen abzulegen und somit die Zielfigur nachzubauen. Den Empfehlungen der nationalen Bildungsstandard für den Primarbereich folgend [14], sollen die Kinder in der Aufgabe *Formen legen* die Inhaltsbereiche „Über räumliches Vorstellungsvermögen verfügen“, „Geometrische Figuren erkennen, benennen und darstellen“ sowie „Geometrische Abbildungen erkennen, benennen und darstellen“ trainieren.

Aufgaben zur *visuellen Suche* verfolgen den Ansatz der Förderung der visuellen Diskriminationsfähigkeiten und systemischen Suche. Innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne soll ein Kind entscheiden, welches der vorgegeben Auswahlmöglichkeiten sich vom Zielbild unterscheidet. Nur eine der Auswahlmöglichkeiten differenziert sich vom Zielbild, die Übrigen zeigen das Zielbild aus einer anderen Perspektive. Das Zielbild ähnelt einem Sonnensystem – eine Figur befindet sich in der Mitte, während andere Figuren (Kugeln verschiedener Farben und Positionen) auf ovalen Laufbahnen angebracht

sind. Die hier entwickelten Aufgaben zur visuellen Suche orientiert sich an der Mechanik von Testaufgaben zur Erfassung von visuell-räumlichen Fähigkeiten im Space-Untertest aus dem Developmental Test of Visual Perception – Third Edition [31].

5) Allgemeine Rechenfertigkeiten

In dem Inhaltsbereich *allgemeine Rechenfertigkeiten* sollen die vier Grundrechenarten in drei Aufgaben trainiert werden: (1) *Addition und Subtraktion*, (2) *Multiplikation* und (3) *Division*.

Die drei Aufgaben in diesem Inhaltsbereich weisen eine Besonderheit auf, die sie von den übrigen Aufgaben aus den anderen Inhaltsbereichen unterscheidet. Die Aufgaben verfügen über eine spezielle Mechanik, die als Supporter-Level bezeichnet wird. In Supporter-Level werden verschiedene Rechenstrategien mit Hilfe von Beispielaufgaben dargestellt (z. B. Addition mit Hilfe von Mengendarstellung) [32], die die Kinder unterstützen sollen, die Aufgaben richtig zu lösen. Die Rechenstrategien werden dem Kind erst präsentiert, nachdem es eine vordefinierte Anzahl an Fehlern macht. Zusätzlich zu den Beispielaufgaben erhält das Kind von dem NPC „Ecki“ eine zusätzliche Hilfestellung zur richtigen Anwendung der Rechenstrategie. Erst nachdem mehrere Aufgaben im Supporter-Level richtig gelöst wurden, werden die Rechenstrategien ausgeblendet und das Kind kann die Einzelaufgaben ohne zusätzliche Unterstützung lösen. Die Supporter-Level dienen ausschließlich dem Verständniszweck und der Strategiefestigung, die Lösungswahrscheinlichkeit fließt nicht in die adaptive Schwierigkeitsanpassung der Aufgaben mit ein. So kann die Lerntherapeutik die Supporter-Level dafür nutzen, um mit dem Kind Lösungsstrategien zu festigen.

C. Game Design

Eckis Würfelkosmos kann als ein Serious Game definiert werden: Neben den typischen unterhaltsamen Spielelementen wird als konkretes Ziel verfolgt, die Mathematikfähigkeiten von Kindern mit Rechenschwäche zu verbessern [33], [34]. Digitale Lernspiele, wie Serious Games, haben einen positiven Einfluss auf die Motivation zum Lernen und zum Üben von Mathematik [35], [36], [37], [38]. In neueren Studien konnte sogar ein stärkerer Einfluss als bei herkömmlichen Lernmethoden festgestellt werden, sofern eine ausgewogene Mischung aus (Video-)Spielelementen und pädagogischen Konzepten gegeben ist [39]. Digitale Förderprogramme können für Kinder mit Rechenschwierigkeiten eine geeignete Maßnahme darstellen, da diese häufig unter Motivationsproblemen leiden und sogar Ängste vor Mathematik entwickeln [40]. Um für diese spezifische Zielgruppe eine motivierende Lernumgebung zu kreieren, werden verschiedene Spielmechaniken eingebaut und das Design altersentsprechend gestaltet. Um die Grenzen dieser Arbeit nicht zu überschreiten, wird lediglich auf die zentralen motivationsfördernden Aspekte des Spiels eingegangen.

1) Adaptive Lernumgebung.

Alle 15 Aufgaben sind in mehrere Schwierigkeitsstufen untergliedert. Je höher die Schwierigkeitsstufen, desto komplexer werden die Aufgabenanforderungen. In Abhängigkeit von der Lösungswahrscheinlichkeit passen sich die Schwierigkeitsstufen dem Fähigkeitsniveau des Kindes an. Damit das Kind in die nächsthöhere Stufe kommt, muss eine vordefinierte Anzahl an Aufgaben richtig gelöst werden. Umgekehrt, wenn eine gewisse Anzahl an Aufgaben falsch oder nicht in

der vorgegebenen Zeit gelöst wird, sinkt die Schwierigkeitsstufe und einfachere Aufgaben werden dem Kind präsentiert. Bevor ausreichend Daten vorliegen, um mit Hilfe der IRT die Adaptivität der Schwierigkeiten individuell anzupassen, wurde vorab durch das Projektteam ein allgemeiner Algorithmus festgelegt.

Neben der passiven adaptiven Schwierigkeitsanpassung innerhalb der Aufgabenbereiche während des Spielens besteht die Möglichkeit seitens der lerntherapeutischen Fachkraft unter Verwendung eines Backends manuell zwischen den Aufgaben eine Auswahl zu treffen. So kann eine erfahrene Lerntherapeutik entscheiden – in Abhängigkeit vom Fähigkeitsprofil des Kindes – welche Aufgaben intensiver und welche Aufgaben in bestimmten Lernphasen gar nicht geübt werden.

2) Feedback und Belohnungssystem.

Die Feedbackqualität kann maßgeblich zum Erfolg oder Misserfolg von Spiel- und Lernerfahrung beitragen; insbesondere das elaborierte Feedback [41]. So muss auch die Art und Weise des Feedbacks in Abhängigkeit von der Dauer und dem Schwierigkeitsgrad des Lernspiels konzipiert werden [42]. Gezielte Hinweise und Instruktionen, die auf Vorwissen und bereits erlernten Strategien aufbauen, können das Lernen positiv beeinflussen [43]. „Eckis Würfelkosmos“ soll ergänzend zur Lerntherapie verwendet werden – so haben die Lerntherapeuten die Möglichkeit gemeinsam mit dem Kind die einzelnen Aufgaben zu bearbeiten und Strategien und Vorwissen aufzubauen, die anschließend im Lernspiel benötigt werden. Innerhalb einer Aufgabe wird nach einer vordefinierten Anzahl an Fehlern von dem NPC „Ecki“ ein aufgabenspezifischer Hinweis gegeben, der dem Kind helfen soll, die Einzelaufgabe richtig zu lösen. Je häufiger ein Kind Fehler innerhalb einer Aufgabe (z. B. Anzahl an Bausteinen) macht, desto spezifischer und konkreter werden die Hinweise; teilweise mit Hinweisen auf die benötigte Lösungsstrategie (= elaboriertes Feedback). Für die Aufgabe „Anzahl an Bausteinen“ erhalten Kinder, denen diese Aufgabe noch schwerfällt, bereits auf der 2. Ebene des automatischen Hilfsystems die Möglichkeit, die dargebotene Figur eigenständig zu rotieren. Auf diese Weise erhalten sie die Möglichkeit, die Figur von allen Seiten zu betrachten. Auf Ebene 3 des Hilfsystems werden die einzelnen Bausteine der Figur Zug um Zug abgezählt, sowohl visuell als auch auditiv.

Das Ziel des Förderprogramms ist es Kinder dazu zu motivieren, regelmäßig zu üben, um erlernte Inhalte zu automatisieren und zu festigen. Aus diesem Grund erhalten die Kinder nach jeder bearbeiteten Aufgabe eine Belohnung in Form von Bausteinen oder anderen Spielaccessoires, unabhängig von der Akkuratheit der bearbeiteten Einzelaufgaben. Zusätzlich bestärkt „Ecki“ das Üben des Kindes mit positiv formulierten Aussagen.

III. ZIELESETZUNG UND FRAGESTELLUNGEN

Im Projektverlauf wurden verschiedene Versionen entworfen, erprobt und weiterentwickelt. Die erste Pilotversion (Stand vom November 2022) beinhaltet drei Aufgabenbereiche und eine rudimentäre Anlage der Spielwelt, in der die Spielenden mit den Belohnungen erste Elemente bauen konnten. Bei der Erprobung der ersten Pilotversion standen die Überprüfung der Benutzerfreundlichkeit für die entsprechende Zielgruppe sowie eine erste Beurteilung der Validität im Vordergrund. Die Validität des Förderprogramms soll anhand von Unterschieden in der Bearbeitungszeiten und Akkuratheit in Abhängigkeit von der Schwierigkeitsstufe innerhalb

des Spiels, sowie zwischen den Spielen und Spielern analysiert werden.

Folgende Fragestellungen lassen sich aus den Zielen der ersten Erprobung formulieren:

1. Benutzerfreundlichkeit – Wie benutzerfreundlich ist die Pilotversion für die Zielgruppe?

2. Überprüfung der Validität

2.1 Zeigen sich erwartete Unterschiede in der Bearbeitungszeit und in der Akkuratheit in Abhängigkeit von der Schwierigkeitsstufe innerhalb der Aufgaben?

2.2 Zeigen sich erwartete Unterschiede in der Bearbeitungszeit und in der Akkuratheit zwischen Kindern mit verschiedenen Leistungskonzepten?

2.3 Zeigen sich erwartete Unterschiede in der Akkuratheit zwischen den verschiedenen Aufgaben?

IV. METHODEN

A. Messinstrumente und Durchführung

1) Erste Pilotversion

Die erste Pilotversion bestand aus drei Aufgaben: Mengenvergleiche (Spielname „Kristalle“), Simultane Mengenerfassung (Spielname: „Sternschnuppen“), Anzahl an Bausteinen (Spielname: „Blockwelten“). Jedes Kind bearbeitete 15 Einzelaufgaben pro Aufgabe. In Abhängigkeit von der Akkuratheit der Bearbeitung der Einzelaufgaben konnten die Kinder unterschiedlich hohe Schwierigkeitslevel erreichen. Jede Einzelaufgabe hat ein vorgegebenes Bearbeitungszeitlimit, auch in Abhängigkeit vom Schwierigkeitslevel. Wurde in der vorgegebenen Zeit keine Antwort gegeben, so wurde diese Einzelaufgabe als falsch gewertet und die nächste Einzelaufgabe präsentiert. Nach jeder vollständig absolvierten Aufgabe (= 15 Einzelaufgaben) erhielt das Kind eine festgelegte Anzahl an Bauelementen als Belohnung, die später im Baumodus eingesetzt werden konnten. Die Aufgabenbeschreibung wurde durch den Nicht-Spieler-Charakter (non-playable character, NPC) „Ecki“ erklärt. Nach Bearbeitung aller Einzelaufgaben aus allen drei Aufgaben konnte der Baumodus genutzt werden. In dem aktuellen Baumodus hat das Kind die Möglichkeit mit den erspielten Bausteinen und Gegenständen seine Welt individuell zu gestalten. Für jede Einzelaufgabe wurde deren Richtigkeit sowie deren Bearbeitungszeit erfasst. Das einmalige Absolvieren der drei Aufgaben inklusive Spielen im Baumodus nahm ca. 15 Minuten in Anspruch.

2) Rechentest

Zur Messung der allgemeinen Rechenleistung wurden drei Untertests des Heidelberger Rechentests (HRT 1-4) [44] verwendet, der sich bereits in anderen Untersuchungen zur Evaluation von Förderprogrammen im Bereich Rechnen bewährt hatte [45]; die Güterkriterien sind zufriedenstellend (Retest-Reliabilität: $r_{tt} = .87-.93$; kriteriumsbezogene Validität mit der Mathematikschulnote: $r = -.67$) Folgende Untertests wurden durchgeführt: Addition, Subtraktion und Ergänzungsaufgaben. Das Leistungsniveau der Teilnehmenden kann anhand von normierten T-Werten bestimmt werden. Die Bearbeitung der Untertests inklusive Anleitung betrug ca. 10 Minuten.

3) Fragebogen zur Benutzerfreundlichkeit

Die subjektive Einschätzung der Kinder zur Benutzerfreundlichkeit des Prototyps wurde mit einem selbstkonzipierten Fragebogen anhand einer bipolaren fünf-stufigen Likert-Skala, ergänzt durch unterstützende Verwendung von

Smileys, erhoben (1 = maximale Zustimmung; 5 = maximale Ablehnung). Dabei wurden die folgenden vier Inhaltsbereiche erfasst: Aufgabenschwierigkeit (z. B. „Wie schwierig oder wie leicht fandest du die erste Aufgabe „Kristalle“?“), Design (z. B. „Wie hat dir die Welt gefallen, die du selber bauen durftest?“), Handhabung/Verständlichkeit der App (z. B. „Wie gut hat dir Ecki die erste Aufgabe („Kristalle“) erklärt?“) und allgemeiner Spaßfaktor der App („Wie gerne würdest du die App noch mal spielen?“). Der Fragebogen wurde den Kindern vorgelesen und Zug um Zug gemeinsam bearbeitet, um sicherzustellen, dass alle Kinder die Fragen korrekt verstehen. Die Bearbeitungszeit des Fragebogens betrug ca. fünf Minuten.

4) Ablauf

Die Daten der vorliegenden Studie wurden im Einzelsetting (für Kinder, die am lerntherapeutischen Angebot teilnahmen) sowie im Gruppensetting (in der Schulklasse) erhoben. Bei der Gruppentestung wurde die Klassenstufe als einzige demographische Variable erfasst, um den HRT auswerten zu können; darüber hinaus wurden keine weiteren personenbezogenen Daten erhoben (anonyme Untersuchung). Zu Beginn wurden die teilnehmenden Kinder von der jeweiligen Testleitung angeleitet, die drei Untertests des HRT zu bearbeiten. Anschließend wurde die Pilotversion auf einem Tablet präsentiert und die Kinder konnten eigenständig die Aufgabenbereiche (Reihenfolge der Aufgaben: Mengenvergleiche, simultane Mengenerfassung, Bausteine zählen) bearbeiten und anschließend im Baumodus ihre erspielten Bausteine verbauen. Zum Schluss wurde der Fragebogen zur Benutzerfreundlichkeit ausgefüllt. Die gesamte Erhebung dauerte ca. 30 Minuten.

B. Stichprobe

An der Erprobung der ersten Pilotversion nahmen insgesamt $N = 29$ Kinder teil. Knapp ein Drittel der Kinder nahm am lerntherapeutischen Angebot teil (31 %). Der Großteil der Kinder besuchte die vierte Klasse (75,9 %), die übrigen Kinder sind über die zweite, dritte, fünfte und sechste Klasse verteilt. 20 Kinder besuchten die gleiche Grundschule in Unterfranken (Teilstichprobe 1), die restlichen Kinder wurden zufällig in lerntherapeutischen Praxen rekrutiert (Teilstichprobe 2). Für drei Kinder, die sich in Lerntherapie befanden, konnten keine T-Werte ermittelt werden, da diese eine höhere Klassenstufe besuchten, als in der Normierung des HRT vorgesehen ist. Sie wurden dennoch in die Studie einbezogen, da ihre erreichten Rohwerte in den Untertests deutlich niedriger waren als die Rohwerte der übrigen Kinder in Lerntherapie. Es kann daher angenommen werden, dass ihre Leistungen als unterdurchschnittlich eingeordnet werden können. Innerhalb der Gesamtstichprobe ($W_{Add} = 0.99, p = 0.96$; $W_{Sub} = 0.97, p = 0.52$; $W_{Erg} = 0.95, p = 0.21$) sind die T-Werte für alle drei Untertest normalverteilt. Die Kinder, die an der Lerntherapie teilnahmen, wiesen im Durchschnitt niedrigere T-Werte in den Untertests des HRT 1-4 auf als die Kinder aus der Grundschule (Tabelle I). Der Mann-Whitney-U-Test ergab signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen für alle drei Untertests ($z_{Add} = -3.42, p < .001$; $z_{Sub} = -3.28, p < .001$; $z_{Erg} = -3.29, p < .001$).

TABELLE I: MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN (IN KLAMMERN) FÜR DIE UNTERTESTS IM HRT (T-WERTE).

Gruppe	HRT 1-4 Untertests		
	Addition	Subtraktion	Ergänzungsaufgaben
Gesamtstichprobe ¹ (N = 29)	50.46 (12.15)	53.58 (11.96)	53.38 (13.24)
Teilstichprobe 1 (N = 20)	54.9 (9.65)	57.85 (9.57)	57.7 (11.92)
Teilstichprobe 2 ¹ (N = 9)	35.67 (6.53)	39.33 (7.12)	39.00 (3.63)

¹Für drei Kinder konnten keine T-Werte ermittelt werden, da diese sich in höheren Klassen befanden, für die beim HRT 1-4 keine Normen vorliegen.

C. Statistische Auswertung

Zu Beantwortung der Fragestellungen wurden deskriptive und inferenzstatistische Analysen durchgeführt. Im Hinblick auf die Untersuchung der Benutzerfreundlichkeit wurde sowohl die gesamte Stichprobe betrachtet als auch die Teilstichproben 1 und 2 separat. Aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsannahme wurde zur Überprüfung der Fragestellung 1 der Wilcoxon-Test, ein nichtparametrischer Test, bei einer Stichprobengewählt. Dabei wird der hypothetische Median-Wert von 3 festgelegt, der innerhalb der fünf-stufigen-Likert-Skalierung einen mittleren Wert (neutraler Smiley) darstellt. Die Analyse erfolgt auf Item-Ebene, da die Items für die Untersuchung neu generiert wurden und sich nicht in Skalen zusammenfassen lassen.

In der deskriptiven Statistik zeichnete sich bereits ein deutlicher Unterschied in den Leistungen zwischen der Teilstichprobe 1 und 2 ab, so dass hier auch die Analyse zwischen den Gruppen im Hinblick auf die Bearbeitungszeiten und Akkuratheit verfolgt wurde. Die Bearbeitungszeiten für die Einzelaufgaben wurden vorab bereinigt: Bearbeitungszeiten für falsche Antworten wurden ausgeschlossen, ebenso wie Bearbeitungszeiten, die aufgrund technischer Probleme entstanden waren (z. B. Bearbeitungszeiten, die höher waren als die vorgegebenen Zeiten zum Beantworten einer Einzelaufgabe). Anschließend wurde für jede Aufgabe und für jede Schwierigkeitsstufe ein Mittelwert gebildet. Abschließend wurden die Bearbeitungszeiten mit Hilfe des natürlichen Logarithmus transformiert, um diese an Normalverteilung anzunähern und die Bedeutung von Ausreißerwerten zu reduzieren. Die Akkuratheit einer Schwierigkeitsstufe innerhalb einer Aufgabe lässt sich durch den Quotienten der Anzahl der korrekt gelösten Einzelaufgaben und der Gesamtanzahl der in der jeweiligen Schwierigkeitsstufe bearbeiteten Einzelaufgaben ermitteln.

Hinsichtlich der transformierten Bearbeitungszeiten lässt sich eine Normalverteilung für die einzelnen Schwierigkeitsstufen annehmen, während es bei den Akkuratheitswerten nicht der Fall ist. Daher wurde für die Überprüfung der Fragestellungen 2.1 und 2.2 mit transformierten Bearbeitungszeiten eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen gerechnet, während für die Akkuratheit der Friedman-Test für abhängige Stichproben zum Einsatz kam. Da sich alle drei Aufgaben in ihrer Bearbeitungsart unterscheiden, erfolgt die inferenzstatistische Überprüfung der Fragestellung 2.3 lediglich für die Akkuratheit, da mögliche Unterschiede in den Bearbeitungszeiten auch auf die jeweilige Bearbeitungsart zurückzuführen sind. Für alle durchgeführten Tests innerhalb einer Fragestellung werden die Signifikanzen nach der Sidak-Korrektur angepasst.

V. ERGEBNISSE

A. Benutzerfreundlichkeit

1) Deskriptive Statistiken

Fast alle Fragen wurden im Durchschnitt mit der höchsten Stufe bewertet; nur die Frage zu Schwierigkeitsempfindung für die Aufgabe Blockwelten wurde mit der zweithöchsten Stufe bewertet ($M = 2.1$, $SD = 0.72$). Nur zwei Kinder haben bei jeweils einer Frage eine negative Bewertung abgegeben (beide Kinder in Lerntherapie-Teilstichprobe 2); alle anderen Kinder beantworteten die Fragen positiv bis neutral. Zwischen den beiden Teilstichproben waren die Unterschiede der Mittelwerte marginal, so dass die interferenzstatistische Überprüfung anhand der Gesamtstichprobe stattfand.

2) Inferenzstatistische Analysen

Der Wilcoxon-Test bei einer Stichprobe ergab für alle neun Items signifikante Unterschiede zu dem hypothetischen Medianwert von 3 (= neutrale Bewertung) in Richtung 1 (= maximale Zustimmung bzw. positive Bewertung). Somit wird die Pilotversion von den Testpersonen in der Wahrnehmung der Schwierigkeiten, dem Design, der Handhabung der Aufgaben und im Spaßfaktor positiv wahrgenommen.

B. Bearbeitungszeiten & Akkuratheit

In der Tabelle II (Anhang) sind die durchschnittlichen Bearbeitungszeiten (transformiert und nicht transformiert) sowie die Akkuratheitswerte für alle Levelstrukturen der drei Aufgaben abgebildet, sowohl für die Gesamtstichprobe als auch für die beiden Teilstichproben.

1) Deskriptive Beschreibung – Schwierigkeitsstufen

Es lässt sich ein Anstieg der Mittelwerte der Bearbeitungszeiten für die gesamte Stichprobe innerhalb der Aufgabe Kristalle sowie der Aufgabe Blockwelten beobachten. Bei der Betrachtung der beiden Aufgaben für die jeweiligen Teilstichproben bleibt der lineare Anstieg nur bei der Aufgabe Blockwelten bestehen; bei der Aufgabe Kristalle sinkt bei Kindern in Lerntherapie die Bearbeitungszeit von der ersten Schwierigkeitsstufe ($M = 1603.8$, $SD = 497.2$) auf die zweite Schwierigkeitsstufe ($M = 1461.3$, $SD = 543.3$), wohingegen bei der Teilstichprobe 1 die Bearbeitungszeit von der zweiten Schwierigkeitsstufe ($M = 1810.48$, $SD = 849.8$) auf die dritte Schwierigkeitsstufe ($M = 1781.55$, $SD = 1068.7$) abnimmt. In der Aufgabe Sternschnuppen verändert sich innerhalb der Gesamtstichprobe und in der Teilstichprobe 1 die durchschnittliche Bearbeitungszeit über die ersten beiden Schwierigkeitsstufen kaum; bei der dritten Schwierigkeitsstufe nimmt sie ab. Bei Kindern in Lerntherapie ist die Abnahme der Bearbeitungszeit über alle drei Schwierigkeitsstufen zu beobachten. Für die Akkuratheit lassen sich innerhalb einer Aufgabe kaum einheitliche Veränderungen erkennen; nur bei der Aufgabe Blockwelten zeigen Kinder in Lerntherapie mit zunehmender Schwierigkeit eine kontinuierliche Abnahme an Akkuratheit ($M_{LVL1} = 0.962$, $M_{LVL2} = 0.827$, $M_{LVL3} = 0.645$). Bei den Kindern in der Schulklasse gibt es keine einheitliche Abnahme der Akkuratheit in der Aufgabe Blockwelten zu beobachten ($M_{LVL1} = 0.842$, $M_{LVL2} = 0.919$, $M_{LVL3} = 0.861$). Jedoch lässt sich für alle Stichproben eine Tendenz feststellen: In der Akkuratheit lassen sich Unterschiede zwischen den Aufgaben beobachten; innerhalb der Gesamtstichprobe hat die Aufgabe Kristalle die höchsten Akkuratheitswerte, die Aufgabe Sternschnuppen etwas niedrigere und die Aufgabe Blockwelten die niedrigsten Werte.

2) Deskriptive Beschreibung – Stichprobenvergleich

In fast allen Aufgaben und Schwierigkeitsstufen weisen Kinder aus der Lerntherapie auf deskriptiver Ebene höhere Bearbeitungszeiten auf als Kinder aus der regulären Schulklasse. Ausnahme bildet die zweite Schwierigkeitsstufe der Aufgabe Kristalle; hier benötigen die Kinder aus der Schulklasse im Durchschnitt deskriptiv länger ($M = 1810.48$, $SD = 849.8$), als Kinder, die sich in Lerntherapie befinden ($M = 1461.3$, $SD = 543.3$). Bei der Betrachtung der Akkuratheitswerte haben Kinder in der Teilstichprobe 1 niedrigere Akkuratheitswerte für alle Schwierigkeitsstufen in der Aufgabe Sternschnuppe: Das bedeutet, dass sie im Durchschnitt in der Aufgabe mehr Fehler gemacht haben als Kinder in der Lerntherapie. Die Kinder in Lerntherapie haben außerdem in allen Aufgaben auf der ersten Schwierigkeitsstufe im Durchschnitt deskriptiv höhere Akkuratheitswerte (mehr Einzelaufgaben innerhalb einer Schwierigkeitsstufe gelöst) als Kinder aus der regulären Schulklasse.

3) Inferenzstatistische Analysen – Bearbeitungszeiten

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor Schwierigkeitsstufe und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (Teilstichprobe 1 & 2) ergab für die transformierte Bearbeitungszeiten nur für die Aufgabe Blockwelten signifikante Unterschiede für die Faktoren Schwierigkeitsstufe, $F(2, 46) = 88.742$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .794$ und Gruppe $F(1, 23) = 8.05$, $p = .009$, $\eta_p^2 = .259$, aber keinen signifikanten Effekt für Interaktion der beiden Faktoren $F(2, 46) = .98$, $p = .382$, $\eta_p^2 = .041$.

4) Inferenzstatistische Analysen – Akkuratheit

Die Ergebnisse des Friedman-Tests zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen innerhalb einer Aufgabe in Bezug auf die Akkuratheit. Nach Sidak-Korrektur liegt das angepasste Signifikanzniveau bei $p = .003$. Dies trifft auf alle drei Aufgaben zu (Kristalle: $\chi^2(2) = 10.18$, $p = .006$, Sternschnuppen: $\chi^2(2) = 2.98$, $p = .225$, Blockwelten: $\chi^2(2) = .53$, $p = .768$). Dies deutet darauf hin, dass sich die Akkuratheit der Bearbeitung der Einzelaufgaben von Schwierigkeitsstufe zu Schwierigkeitsstufe innerhalb einer Aufgabe nicht signifikant verändert. Beim Vergleich der einzelnen parallelen Schwierigkeitsstufen zwischen den Aufgaben zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Aufgaben in der Akkuratheit auf der zweiten und dritten Schwierigkeitsstufe (zweite Schwierigkeitsstufe: $\chi^2(2) = 18.39$, $p < .001$, dritte Schwierigkeitsstufe: $\chi^2(2) = 20.7$, $p < .001$); die Post-hoc-Analysen mittels des paarweisen Vergleichs zeigen, dass die Unterschiede in der zweiten ($p < .001$) und dritten ($p < .001$) Schwierigkeitsstufe nur zwischen den Aufgaben Kristalle und Blockwelten signifikant sind. Für die erste Schwierigkeitsstufe ergibt der Friedman-Test keine signifikanten Unterschiede in der Akkuratheit zwischen den Aufgaben $\chi^2(2) = 3.84$, $p = .147$. Das deutet daraufhin, dass die Personen auf der ersten Schwierigkeitsstufe in alle drei Aufgaben ähnlich häufig bzw. selten Fehler machen

VI. DISKUSSION

Das primäre Ziel des vorliegenden Artikels ist es einen Einblick in die Entwicklung eines innovativen Förderprogramms für Kinder mit Rechenschwäche darzustellen. Nach Avila-Pesantez et al. [8] bedarf es eines umfangreichen Entwicklungsprozesses damit ein Serious Game auch die angestrebten Förderziele erreichen kann. Direkt im Anschluss an

die erste Phase, die Analyse, folgt in der Design-Phase die Planung und Entwicklung eines pädagogischen Konzepts, welches ein Spielkonzept (u. a. Spielszenario, Spielmechaniken) etabliert. Das Förderprogramm „Eckis Würfelkosmos – Abenteuer in der Zahlengalaxie“ verknüpft wesentlichen Inhaltsbereiche, die für den Erwerb von mathematischen Basisfertigkeiten notwendig sind [9], [10], [11], [12], [13] mit einem Spielumfeld, welches die Zielgruppe motivieren und zum Lernen anregen soll [39]. Die erste Pilotversion des Förderprogramms wurde mit dem Ziel entwickelt, die Eignung der Verknüpfung von Förderung und Spielsystem für die Zielgruppe zu eruieren.

A. Einordnung der Ergebnisse.

Da es sich hierbei um eine explorative Untersuchung handelt, sollten die Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die erste Pilotversion bei allen Kindern auf verschiedenen Ebenen (Spieldesign, Handhabung/Verständlichkeit, Spaßfaktor, Aufgabenschwierigkeit) als positiv wahrgenommen wird. Dabei sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass die Pilotversion nur 3 von 15 Aufgaben beinhaltet und der Bau- und Storymodus lediglich rudimentär Einblicke in die Grundfunktionen des Förderprogramms geben konnte. Vor diesem Hintergrund kann mit Vorsicht interpretiert werden, dass das Förderprogramm entsprechend der Zielgruppe benutzerfreundlich konzipiert wurde.

Auf die Frage nach der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit konnte beobachtet werden, dass die Aufgabe Blockwelten (Inhaltsbereich: visuell-räumliches Vorstellungsvermögen) von den Kindern schwieriger eingeschätzt wurde als die beiden Aufgaben aus dem Inhaltsbereich Mengenverständnis. Die nachfolgenden Analysen der Bearbeitungszeiten und Akkuratheitswerte konnten die Wahrnehmung der Kinder bestätigen: In der Aufgaben Blockwelten (Anzahl an Bausteinen) haben die Kinder im Vergleich zu den Aufgaben Kristalle (Mengenvergleich) und Sternschnuppen (Simultane Mengenerfassung) im Durchschnitt mehr Zeit zur Bearbeitung der Einzelaufgaben benötigt (höhere Bearbeitungszeiten) als auch mehr Fehler gemacht (niedrigere Akkuratheitswerte). Während die höheren Bearbeitungszeiten möglicherweise auch auf die Bearbeitungsart der Aufgabe zurückgeführt werden können, zeigt die Abnahme der Akkuratheitswerte deutlich, dass die Aufgaben sukzessiv schwieriger werden. Dieses Ergebnis würde sich auch mit der theoretischen Annahme decken, dass Aufgaben aus dem Inhaltsbereich Mengenverständnis grundlegende Voraussetzungen zum Erwerb weiterer komplexerer mathematischer Kompetenzen sind [18], wohingegen die Aufgabe Blockwelten neben der visuell-räumlichen Komponente auch das Zählen als Kompetenz erfordert, die in der Regel auf dem Mengenverständnis aufbaut [11]. Auf die Frage, inwieweit sich die theoretisch hergeleiteten Schwierigkeitsstufen innerhalb einer Aufgabe auch tatsächlich in ihrer Schwierigkeit unterscheiden, wurden ebenfalls die Bearbeitungszeiten und die Akkuratheit von jeder einzelnen Aufgabe genauer betrachtet. Insbesondere bei der Aufgabe Blockwelten konnten signifikante Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen festgestellt werden: Mit höherer Schwierigkeitsstufe stieg auch Bearbeitungszeit. Bei der Aufgabe Kristalle haben die Bearbeitungszeiten zwar ebenfalls zugenommen, jedoch waren hier die Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen nicht ausreichend groß, um signifikante Effekte zu erzielen. Bei der Aufgabe Sternschnuppen haben die Bearbeitungszeiten mit zunehmender Schwierigkeit eher leicht abgenommen (auch wenn nicht sig-

nifikant). Gleichzeitig lässt sich feststellen, dass die Stichprobengröße mit zunehmender Schwierigkeitsstufe bei dieser Aufgabe kleiner wurde. Die Akkuratheit blieb dagegen konstant. Es lässt sich die Vermutung aufstellen, dass gerade Kinder, die in der Aufgabe weiterkommen, schneller die richtige Anzahl an Objekten wahrnehmen können als Kinder, die mehr Fehler machen und dem entsprechend noch in den niedrigen Schwierigkeitsstufen verbleiben. Beim Vergleich der beiden Gruppen lassen sich leichte Unterschiede in den Bearbeitungszeiten erkennen, was sich mit den Ergebnissen von Kuhn et al. [25] deckt: Kinder mit Rechenschwäche benötigen mehr Zeit als Kinder ohne Rechenschwäche. Insgesamt kann sich dies auf fast alle Bereiche übertragen lassen: Kinder in Lerntherapie waren im Vergleich zu den anderen Kindern im Durchschnitt langsamer; signifikant war der Effekt nur bei der Aufgabe Blockwelten. Es kann unter Vorbehalt angenommen werden, dass die Differenzierung der Aufgaben und der jeweiligen Schwierigkeitsstufen in Bezug auf unterschiedliche Leistungsniveaus mathematischer Kompetenzen adäquat ist. Um die aufgestellte These zuverlässig zu überprüfen, sind künftig gezielte Untersuchungen unter streng kontrollierten Bedingungen erforderlich, um potenzielle Schwächen auszuschließen.

B. Limitationen.

Die vorliegende Studie ist mit einigen Limitationen behaftet, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen und für die nachfolgenden Untersuchungen berücksichtigt werden sollten. Die gewählte Stichprobengröße und -auswahl ist noch deutlich begrenzt, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränkt, insbesondere, da der Großteil der Kinder, dieselbe Klasse besuchte. Eine größere und diversere Stichprobe wäre notwendig, um umfassendere und repräsentativere Erkenntnisse zu gewinnen. An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Klassenstufe bzw. das Alter ein erheblicher Faktor für die Bearbeitung der Aufgaben sein kann; Dreiviertel der Kinder besuchten zum Erhebungszeitpunkt die vierte Klasse. So können die fehlenden signifikanten Unterschiede bei der Aufgabe Kristalle dadurch entstanden sein, dass diese Aufgabe für die meisten Kinder sehr einfach zu lösen war; diese These wird durch die hohen Akkuratheitswerte (gleich 1, also keine Fehler) bekräftigt. Ähnlichen Einfluss kann die Lerntherapieerfahrung haben. Für die nachfolgenden Untersuchungen sollte kontrolliert werden, wie lange die Kinder an der Lerntherapie bereits teilnehmen.

Auch kann die Testsituation die Ergebnisse beeinflusst haben: Während die Teilstichprobe 1 im Gruppensetting das Förderspiel erprobt hatte, bearbeiteten die Kinder aus der Teilstichprobe 2 die Aufgaben im Einzelsetting. Die Gruppensituation birgt das Risiko einer Beeinträchtigung der Aufmerksamkeit der Kinder, beispielsweise durch soziale Ablenkungen. Dies könnte sich insbesondere auf die Akkuratheit bei der Aufgabe zur simultanen Mengenerfassung auswirken.

Die aktuelle Untersuchung basiert nur auf drei von 15 Aufgaben des gesamten Förderprogramms und betrachtet auch nur die ersten drei Schwierigkeitsstufen genauer. Die Ergebnisse dieser Studie sind daher möglicherweise nicht vollständig repräsentativ für das gesamte Förderprogramm und die einzelnen Aufgaben, die mehr als nur drei Schwierigkeitsstufen besitzen. Zudem konzentriert sich die Untersuchung auf eine kurzfristige Evaluation, wodurch langfristige Auswirkungen des Förderprogramms auf die mathematischen Fähigkeiten der Kinder nicht berücksichtigt werden konnten.

Trotz einiger Limitationen konnte diese Studie erste Einblicke in den Entwicklungsprozess einer neuen Fördersoftware „Eckis Würfelkosmos – Abenteuer in die Zahlengalaxie“ geben. Die gewonnenen Ergebnisse ermöglichen es, spezifischere Forschungsfragen weiterzuentwickeln, Aufgaben anzupassen und erste Aussagen über die Validität des Förderprogramms zu tätigen.

DANKSAGUNG

Diese Forschungsarbeit in dem Forschungsprojekt *AppLeMat – App für modulare Lerntherapie im Bereich Mathematik* wird durch dtec.bw – Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr gefördert. dtec.bw wird von der Europäischen Union – NextGenerationEU finanziert.

LITERATUR

- [1] Clark, D. B., Tanner-Smith, E. E., & Killingsworth, S. S. (2016). Digital Games, Design, and Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Review of Educational Research, 86*(1), 79–122. <https://doi.org/10.3102/0034654315582065>
- [2] Karakoç, B., Eryılmaz, K., Turan Özpolat, E., & Yıldırım, İ. (2022). The Effect of Game-Based Learning on Student Achievement: A Meta-Analysis Study. *Technology, Knowledge and Learning, 27*(1), 207–222. <https://doi.org/10.1007/s10758-020-09471-5>
- [3] Ok, M. W., Bryant, D. P., & Bryant, B. R. (2020). Effects of Computer-Assisted Instruction on the Mathematics Performance of Students with Learning Disabilities: A Synthesis of the Research. *Exceptionality, 28*(1), 30–44. <https://doi.org/10.1080/09362835.2019.1579723>
- [4] Benavides-Varela, S., Zandonella Callegher, C., Fagioli, B., Leo, I., Altoè, G., & Lucangeli, D. (2020). Effectiveness of digital-based interventions for children with mathematical learning difficulties: A meta-analysis. *Computers & Education, 157*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103953>
- [5] 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. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9125-8>
- [6] Löffler, L., Skoba, L., Richter, M., & Daseking, M. (2022). Einsatz und Praktikabilität von Applikationen und Software zur Förderung von Mathematikschwierigkeiten aus lerntherapeutischer Sicht. *Forschungsaktivitäten im Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr dtec.bw, 1*, 299–304. <https://doi.org/10.24405/14568>
- [7] Lamer, P., Arnab, S., Dunwell, I., Stewart, C., Clarke, S., & Petridis, P. (2017). Essential features of serious games design in higher education: Linking learning attributes to game mechanics. *British Journal of Educational Technology, 48*(4), 972–994. <https://doi.org/10.1111/bjet.12467>
- [8] Avila-Pesantez, D., Delgadillo, R., & Rivera, L. A. (2019). Proposal of a Conceptual Model for Serious Games Design: A Case Study in Children With Learning Disabilities. *IEEE Access, 7*, 161017–161033. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2951380>
- [9] Aunio, P., & Räsänen, P. (2016). Core numerical skills for learning mathematics in children aged five to eight years – a working model for educators. *European Early Childhood Education Research Journal, 24*(5), 684–704. <https://doi.org/10.1080/1350293X.2014.996424>
- [10] Braeuning, D., Ribner, A., Moeller, K., & Blair, C. (2020). The Multifactorial Nature of Early Numeracy and Its Stability. *Frontiers in Psychology, 11*, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.518981>
- [11] Fischer, U., Roesch, S., & Moeller, K. (2017). Diagnostik und Förderung bei Rechenschwäche: Messen wir, was wir fördern wollen? *Lernen und Lernstörungen, 6*(1), 25–38. <https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000160>
- [12] Hirsch, S., Lambert, K., Coppens, K., & Moeller, K. (2018). Basic numerical competences in large-scale assessment data: Structure and

- long-term relevance. *Journal of Experimental Child Psychology*, 167, 32–48. <https://doi.org/10.1007/s13138-018-0131-6>
- [13] Purpura, D. J., & Lonigan, C. J. (2013). Informal Numeracy Skills: The Structure and Relations Among Numbering, Relations, and Arithmetic Operations in Preschool. *American Educational Research Journal*, 50(1), 178–209. <https://doi.org/10.3102/0002831212465332>
- [14] KMK (2022). *Bildungsstandards für das Fach Mathematik. Primarbereich.* (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 15.10.2004, i.d.F. vom 23.06.2022). https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2022/2022_06_23-Bista-Primarbereich-Mathe.pdf
- [15] Ise, E., Dolle, K., Pixner, S., & Schulte-Körne, G. (2012). Effektive Förderung rechenschwacher Kinder: Eine Metaanalyse. *Kindheit und Entwicklung*, 21(3), 181–192. <https://doi.org/10.1026/0942-5403/a000083>
- [16] Lenhard, W. & Lenhard, A. (2010). *Rechenspiele mit Elfe und Mathis I: Ein Mathematikförderprogramm für Kinder der ersten, zweiten und dritten Klassenstufe.* Göttingen: Hogrefe.
- [17] Lenhard, W., Lenhard, A. & Lingel, K. (2010). *Rechenspiele mit Elfe und Mathis II: Ein Mathematikförderprogramm für Kinder der dritten, vierten und fünften Klassenstufe.* Göttingen: Hogrefe.
- [18] Krajewski, K. & Schneider, W. (2006). Mathematische Vorläuferfertigkeiten im Vorschulalter und ihre Vorhersagekraft für die Mathematikleistungen bis zum Ende der Grundschulzeit. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 53, 246-262.
- [19] Krajewski, K., Nieding, G., & Schneider, W. (2008). Kurz- und langfristige Effekte mathematischer Frühförderung im Kindergarten durch das Programm „Mengen, zählen, Zahlen“. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 40(3), 135–146. <https://doi.org/10.1026/0049-8637.40.3.135>
- [20] Landerl, K. & Kaufmann, L. (2008). *Dyskalkulie. Modelle, Diagnostik, Intervention.* Basel: Ernst Reinhard
- [21] Lenhard, A., Lenhard, W., Schug, M. & Kowalski, A. (2011). Computerbasierte Mathematikförderung mit den "Rechenspielen mit Elfe und Mathis I" - Vorstellung und Evaluation eines Computerprogramms für Erst- bis Drittklässler. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 43, 79-88.
- [22] Von Aster, M. G. (2017). Dyskalkulie: Wenn Kinder nicht rechnen lernen. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 165(6), 482–489. <https://doi.org/10.1007/s00112-017-0289-x>
- [23] Freiberger, D., Aringer, C., Büchinger, J., & Furlan, P. (2020). *Training bei Dyskalkulie und Rechenstörungen.* Springer.
- [24] Kucian, K., Grond, U., Rotzer, S., Henzi, B., Schonmann, C., Plangger, F., Galli, M., Martin, E., & von Aster, M. (2011). Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *NeuroImage*, 57, 782–795. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.070>
- [25] Kuhn, J.-T., Raddatz, J., Holling, H., & Dobel, C. (2013). Dyskalkulie vs. Rechenschwäche: Basisnumerische Verarbeitung in der Grundschule. *Lernen und Lernstörungen*, 2(4), 229–247. <https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000044>
- [26] Fritz, A., Ehlert, A., & Leutner, D. (2018). Arithmetische Konzepte aus kognitiv-entwicklungspsychologischer Sicht. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 1(39), 7–41. <https://doi.org/10.1007/s13138-018-0131-6>
- [27] Cordes, S., & Gelman, R. (2005). The young numerical mind: when does it count?. In J. I. D. Campbell (Hrsg.), *The handbook of mathematical cognition* (S. 127–142). Psychology Press
- [28] Stern, E. (2003). Früh übt sich: Neuere Ergebnisse aus der LOGIK-Studie zum Lösen mathematischer Textaufgaben in der Grundschule. In A. Fritz, G. Ricken & S. Schmidt (Hrsg.), *Handbuch Rechenschwäche – Lernwege, Schwierigkeiten und Hilfen* (S. 116–130). Weinheim: Beltz
- [29] AWMF - Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (Online, 2018). S3-Leitlinie: Diagnostik und Behandlung der Rechenstörung. Zugriff am 15.07.2024 unter <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/028-046>
- [30] Kaufman, A. S. & Kaufman, N. L. (2015). *Kaufman assessment battery for children-II: KABC-II.* Pearson.
- [31] Hammill, D. D., Pearson, N. A. & Vorress, J. K. (2014). *Developmental Test of Visual Perception 3 (DTVP 3).* London: Pearson.
- [32] Kaufmann, S., & Wessolowski, S. (2021). *Rechenstörungen: Diagnose und Förderbausteine.* Klett/Kallmeyer.
- [33] Dörner, R., Göbel, S., Effelsberg, W., & Wiemeyer, J. (2016). *Serious Games.* Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-40612-1>
- [34] Szczesna, A., Tomaszek, M., & Wieteska, A. (2012). The Methodology of Designing Serious Games for Children and Adolescents Focused on Psychological Goals. In E. Piętko & J. Kawa (Hrsg.), *Information Technologies in Biomedicine* (Bd. 7339, S. 245–255). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31196-3_24
- [35] Barz, N., Benick, M., Dörrenbächer-Ulrich, L., & Perels, F. (2023). The Effect of Digital Game-Based Learning Interventions on Cognitive, Metacognitive, and Affective-Motivational Learning Outcomes in School: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 94 (2), 199-227. <https://doi.org/10.3102/00346543231167795>
- [36] Chao, T., Chen, J., Star, J. R., & Dede, C. (2016). Using Digital Resources for Motivation and Engagement in Learning Mathematics: Reflections from Teachers and Students. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 2(3), 253–277. <https://doi.org/10.1007/s40751-016-0024-6>
- [37] Fadda, D., Pellegrini, M., Vivanet, G., & Zandonella Callegher, C. (2022). Effects of digital games on student motivation in mathematics: A meta - analysis in K - 12. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(1), 304–325. <https://doi.org/10.1111/jcal.12618>
- [38] Wouters, P., Van Nimwegen, C., Van Oostendorp, H., & Van Der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 249–265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>
- [39] Caserman, P., Hoffmann, K., Müller, P., Schaub, M., Straßburg, K., Wiemeyer, J., Bruder, R., & Göbel, S. (2020). Quality Criteria for Serious Games: Serious Part, Game Part, and Balance. *JMIR Serious Games*, 8(3), 1–14. <https://doi.org/10.2196/19037>
- [40] Baten, E., Pixner, S., Desoete, A. (2019). Motivational and Math Anxiety Perspective for Mathematical Learning and Learning Difficulties. In Fritz, A., Haase, V.G., Räsänen, P. (Hrsg.), *International Handbook of Mathematical Learning Difficulties* (S.457–467). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97148-3_28
- [41] Van Der Kleij, F. M., Feskens, R. C. W., & Eggen, T. J. H. M. (2015). Effects of Feedback in a Computer-Based Learning Environment on Students' Learning Outcomes: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 85(4), 475–511. <https://doi.org/10.3102/0034654314564881>
- [42] Imbellone, A., Marinensi, G., & Medaglia, C. M. (2016). Instructions and Feedback in Connection with the Duration and the Level of Difficulty of a Serious Game. In A. De Gloria & R. Veltkamp (Hrsg.) *Games and Learning Alliance* (S. 51–60). Springer.
- [43] Benton, L., Joye, N., Sumner, E., Gauthier, A., Ibrahim, S., & Vasalou, A. (2023). Exploring how children with reading difficulties respond to instructional supports in literacy games and the role of prior knowledge. *British Journal of Educational Technology*, 54(5), 1314–1331. <https://doi.org/10.1111/bjet.13318>
- [44] Haffner, J., Baro, K., Parzer, P., & Resch, F. (2005). *Heidelberger Rechentest: HRT 1-4.* Göttingen: Hogrefe.
- [45] Wißmann, J., Heine, A., Handl, P., & Jacobs, A. M. (2013). Förderung von Kindern mit isolierter Rechenschwäche und kombinierter Rechen- und Leseschwäche: Evaluation eines numerischen Förderprogramms für Grundschüler. *Lernen und Lernstörungen*, 2, 91–109. doi:10.1024/2235-0977/a000033

ANHANG.

TABELLE III: MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN (IN KLAMMERN) FÜR DIE BEARBEITUNGSZEITEN (BZ), TRANSFORMIERTE BEARBEITUNGSZEITEN (LOG BZ) UND DIE AKKURATHEIT INNERHALB DER DREI AUFGABEN DES PROTOTYPEN.

<i>Gesamtstichprobe</i>	<i>Aufgaben: Kristalle</i>			<i>Aufgaben: Sternschnuppen</i>			<i>Aufgaben: Blockwelten</i>		
	<i>LVL 1</i>	<i>LVL 2</i>	<i>LVL 3</i>	<i>LVL 1</i>	<i>LVL 2</i>	<i>LVL 3</i>	<i>LVL 1</i>	<i>LVL 2</i>	<i>LVL 3</i>
BZ in ms	1512.3 (595.3)	1702.1 (775.5)	1838.5 (973.1)	1309.5 (504.3)	1300.3 (498.3)	1154.8 (342.7)	5121.7 (1399.0)	7620.4 (2023)	10799.4 (2116.9)
Log BZ	7.26 (0.35)	7.34 (0.45)	7.40 (0.48)	7.12 (0.33)	7.11 (0.36)	7.01 (0.28)	8.51 (0.26)	8.91 (0.26)	9.27 (0.20)
Akkuratheit	0.9538 (0.089)	1	0.9872 (0.069)	0.9179 (0.124)	0.9343 (0.094)	0.9204 (0.117)	0.879 (0.189)	0.89 (0.128)	0.8112 (0.233)
N	29	29	29	29	28	23	29	29	25
<i>Teilstichprobe 1</i>									
BZ in ms	1471.17 (642.2)	1810.48 (849.8)	1781.55 (1068.7)	1208.2 (509.1)	1267.83 (512.1)	1126.69 (354.9)	4884.08 (1395.6)	6745.73 (1396.5)	10280.27 (1961.6)
Log BZ	7.22 (0.37)	7.39 (0.49)	7.35 (0.52)	7.04 (0.32)	7.07 (0.39)	6.98 (0.30)	8.46 (0.27)	8.80 (0.22)	9.22 (0.19)
Akkuratheit	0.947 (0.994)	1	1	0.881 (0.134)	0.917 (0.103)	0.908 (0.124)	0.842 (0.214)	0.919 (0.106)	0.861 (0.144)
N	20	20	20	20	19	15	20	20	20
<i>Teilstichprobe 2</i>									
BZ in ms	1603.8 (497.2)	1461.3 (543.3)	1965 (758.7)	1534.6 (438)	1369 (490.3)	1207.5 (335.3)	5650 (1330.2)	9564.2 (1878.7)	12876 (1368.4)
Log BZ	7.34 (0.31)	7.23 (0.35)	7.52 (0.39)	7.3 (0.29)	7.17 (0.32)	7.07 (0.25)	8.62 (0.22)	9.15 (0.19)	9.46 (0.10)
Akkuratheit	0.9689 (0.064)	1	0.9589 (0.123)	1	0.97 (0.062)	0.9438 (0.105)	0.9622 (0.075)	0.8267 (0.156)	0.645 (0.388)
N	9	9	9	9	9	8	9	9	5

Anmerkungen: Teilstichprobe 1: Kinder aus der vierten Klasse in Unterfranken, Teilstichprobe 2: Kinder in Lerntherapie LVL1: erste Schwierigkeitsstufe, LVL2: zweite Schwierigkeitsstufe, LVL3: dritte Schwierigkeitsstufe