

# Computerbasierte Mathematikförderung mit den „Rechenspielen mit Elfe und Mathis I“

## Vorstellung und Evaluation eines Computerprogramms für Erst- bis Drittklässler

Alexandra Lenhard<sup>1</sup>, Wolfgang Lenhard<sup>2</sup>, Melanie Schug<sup>2</sup> und Anna Kowalski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Psychometrica, Bibergau

<sup>2</sup>Universität Würzburg, Lehrstuhl Psychologie IV

**Zusammenfassung.** „Rechenspiele mit Elfe und Mathis I“ (W. Lenhard & A. Lenhard, 2010) ist ein computerbasiertes Mathematik-Trainingsprogramm für die erste bis dritte Grundschulklasse, das sich an den nationalen Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz orientiert und zahlreichen lernpsychologischen Prinzipien folgt. 87 Schüler der ersten und zweiten Klassenstufe führten das Trainingsprogramm über einen Zeitraum von zehn Wochen durch. Dabei wurde jeweils eine Schulstunde in Mathematik pro Woche durch eine Trainingssitzung mit dem Computerprogramm ersetzt, bei der die Kinder in Kleingruppen arbeiteten. Die 116 Schüler der Kontrollgruppe erhielten in der gleichen Zeit regulären Mathematikunterricht. Nach einem Matching der Ausgangsleistung zeigte sich in der Experimentalgruppe in beiden Klassenstufen im Vergleich zur Kontrollgruppe ein signifikant größerer Lernfortschritt bei einer Effektstärke von  $d = .59$  (1. Klasse) bzw.  $d = .62$  (2. Klasse). Eine nutzbringende Anreicherung konventionellen Mathematikunterrichts durch die Rechenspiele erscheint folglich möglich. Schlüsselwörter: Mathematik, computerunterstützter Unterricht, Arithmetik, Training

Computer based math training with “Rechenspiele mit Elfe und Mathis I” [Math Games with Elfe and Mathis I]: Presentation and evaluation of a computer program for first to third graders

**Abstract.** “Rechenspiele mit Elfe und Mathis I” [Math Games with Elfe and Mathis I] (W. Lenhard & A. Lenhard, 2010) is a computer-based mathematical training program for use in elementary school which follows the national educational standards and takes into account multiple learning principles. 87 students from first and second grades participated over a 10-week period with one training session per week instead of regular math lessons. The 116 students in the control condition attended regular math lessons, and the invested learning time was kept constant between the two groups. Initial math performance was similar in the two groups; the increase in mathematical competence was significantly higher in the experimental group than in the control group, with effect sizes of  $d = .59$  (grade 1) and  $d = .62$  (grade 2). The results show that the program can be used effectively to enrich conventional math instruction.

Key words: computer-based training, mathematics instruction, arithmetic

Mathematik ist ein Unterrichtsfach, an dem sich wohl wie an keinem anderen die Geister scheiden: Mathematik liebt man, oder man verzweifelt daran. Das Beherrschen des aktuellen Stoffs stellt in der Mathematik in der Regel stärker als in anderen Fächern eine notwendige Voraussetzung für den Erwerb weiterer Fertigkeiten dar. Kinder, die beispielsweise aufgrund ungenügender mathematischer Basisfertigkeiten oder fehlender Automatisierung einmal in Rückstand geraten sind, erleben dieses Fach deshalb vermutlich sukzessive stärker als unüberwindbares Hindernis (Stern, 2003). Als Folge davon steigt auch die Unlust, sich mit dem Fach weiterhin zu beschäftigen.

### Chancen des Einsatzes computerbasierter Förderung

Die besondere Anforderung an eine geeignete Wissensvermittlung im Fach Mathematik besteht deshalb sowohl in der ausreichenden Berücksichtigung des aktuellen Leistungsstandes des Kindes als auch in der Überwindung motivationaler Probleme, um eine ausreichend intensive Beschäftigung mit den fachlichen Inhalten zu ermöglichen. Die Zuhilfenahme geeigneter Computerförderprogramme scheint uns aus verschiedenen Gründen eine Lösung für beide Aspekte zu bieten.

Das erste wichtige Argument für die Verwendung computerbasierter Förderprogramme liegt in ihrer Adaptivität, d. h. im Idealfall passen sie sich hinsichtlich Zeitbedarf und Schwierigkeitsgrad dem Leistungsniveau des Kindes an (vgl. Kullik, 2004). Diese Individualisierung wird im regulären Lehrbetrieb an Schulen nur selten verwirklicht, da in einer Schulklasse normalerweise mit einem bestimmten Tempo und Schwierigkeitsgrad fortgeschritten wird. Schlechte Schüler werden hier also gegebenenfalls überfordert, gute Schüler unterfordert.

Zweitens stellt der Computer im Allgemeinen für Schüler ein überaus attraktives Lernmedium dar (vgl. C.-L. C. Kulik & J. A. Kulik, 1991; Leutner, 2006, S. 599; Schoppek & Tulis, 2010; Woolfolk, 2008, S. 728). Dies liegt zum einen daran, dass Computerprogramme besonders kindgerecht gestaltet werden können. Zum anderen sind Computer häufig eher mit Spielen als mit Lernen assoziiert, sodass computerbasierte Förderung als spielerische Abwechslung zum alltäglichen Lernbetrieb erlebt wird. Vor allem in den niedrigeren Klassen zeigt sich beim Arbeiten mit dem Computer außerdem oft noch ein Neugierigkeitseffekt.

Außer diesen zwei wichtigen Aspekten bietet der Computer noch weitere Vorteile, die Lernen begünstigen. Computerprogramme können beispielsweise nach jeder Aufgabenbearbeitung sofort Rückmeldung darüber geben, ob die Aufgabe richtig bewältigt wurde oder nicht. In zahlreichen empirischen Arbeiten wurde bestätigt, dass die zeitliche Nähe von Rückmeldung eine zentrale Voraussetzung für Wissenserwerb darstellt (z. B. Bangert-Downs, Kulik, Kulik & Morgan, 1991; Platt, 1973; siehe auch Krajewski & Ennemoser, 2010, S. 354 f.). Gerade hier bietet die Schule aber in der Regel nur suboptimale Bedingungen. So erscheint beispielsweise der Lerngewinn durch eine Hausaufgabe, die in der einen Woche gestellt, aber erst in der nächsten Woche korrigiert wird, eher fraglich.

Ein letzter, hier angeführter Vorteil des Mediums Computer eröffnet sich speziell im Hinblick auf leistungsschwache Schüler, die aufgrund wiederholter Misserfolgserlebnisse dem Unterricht bzw. dem Lehrer gegenüber ängstlich eingestellt sind. Solche negativen Emotionen können die kognitive Leistungs- und Lernfähigkeit stark vermindern (z. B. Ashcraft & Faust, 1994; Helmke & Weinert, 1997; Schnabel, 1998). Der Computer ist hingegen ein emotional neutrales Medium: Er ahndet Misserfolge in der Regel höchstens mit kleinen akustischen Signalen. Am Computer kann deshalb angstfrei – wenn auch nicht immer ärgerfrei – gelernt werden.

## Effektivität computerbasierter Mathematikförderung

Anders als in Deutschland sind im anglo-amerikanischen Raum umfassende Evaluationen mathematischer Lernprogramme verfügbar. Slavin und Lake (2008) berichten von 38 experimentellen oder quasi-experimentellen Evaluationsstudien, Li und Ma (2010) führen 46 verschiedene Primärstudien auf. Der Median der Effektstärke liegt laut Slavin und Lake (2008) bei  $d = .22$ , Li und Ma (2010) beziffern die gewichtete Effektstärke auf  $d = .28$  mit durchweg

positiven Effekten in allen Primärstudien. Computerunterstützter Mathematikunterricht scheint folglich tendenziell besser abzuschneiden als herkömmlicher Unterricht (siehe auch Leutner, 2006, S. 599).

Demgegenüber gestaltet sich die Situation in Deutschland grundlegend anders: Obwohl der Computer als Lernwerkzeug vielseitige und effektive Möglichkeiten zur binnendifferenzierenden Förderung im Klassenverband eröffnet (Jürgen, Glöer & Wellen, 1999), ist Deutschland der Staat der *OECD*, in dem der Computer am seltensten im Unterricht eingesetzt wird (Prenzel et al. 2007). Ein Grund hierfür liegt unter anderem möglicherweise darin, dass zwar eine Fülle an mathematischer Lernsoftware auf dem Markt verfügbar ist, aber wissenschaftliche Effektivitätsnachweise in der Regel fehlen. So ergibt beispielsweise die Suchanfrage nach mathematischer Lernsoftware auf Amazon.de (Stand Juni 2010) über 40 verschiedene Produkte alleine für die ersten beiden Schulklassen. Bei der Recherche nach evaluierter Mathematiksoftware fanden wir hingegen nur sechs im Unterricht anwendbare und zumindest minimal evaluierte deutschsprachige Programme<sup>1</sup>. Das Programm *Number Race* (Wilson et al., 2006) wurde für die Therapie von Kindern mit Dyskalkulie konzipiert und an einer klinischen Stichprobe ohne Kontrollgruppe evaluiert. *Euro-Mulli* und *Euro-Divi* wurden in den 90er Jahren von Kullik und Jardon entwickelt (Kullik, 2007) und trainieren die schriftliche Multiplikation und Division. Kullik (2004) berichtet von einer Evaluation der Programme, ohne dass genauere Ergebnisse verfügbar sind. Auch gelang es uns nicht, lauffähige Versionen der Programme zu finden. *Blitzrechnen – Kopfrechnen 1 + 2 und 3 + 4* (Wittmann & Müller, 2007a, b) wurden an einer Stichprobe von sechs Förderschülern ohne Kontrollgruppe überprüft (Knorr, 2007). Das unseres Wissens einzige aktuelle Programm mit hinreichenden Effektivitätsbelegen ist das nicht im Handel erhältliche Programm „Merlins Rechenmühle“ (Schoppek & Tullis, 2006, 2010), das ab der zweiten Jahrgangsstufe angewandt werden kann und sich schwerpunktmäßig mit Sachaufgaben und arithmetischen Aufgabenstellungen beschäftigt. Es wurde bereits in einer Reihe von Untersuchungen quasiexperimentell evaluiert und zeigte durchgängig positive Resultate.

Es liegt uns fern, bei dieser Aufstellung Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Zusammenfassend kann man jedoch sagen, dass die Befundlage auf diesem Gebiet für den deutschsprachigen Bereich mehrheitlich ungenügend ist und sich die Suche nach geeigneten Programmen schwierig gestaltet – ein Aufwand, den viele Schulen scheuen (vgl. Biffi, 2002).

## Überblick über „Rechenspiele mit Elfe und Mathis I“

Die vorliegende Studie soll helfen, die oben angesprochene Lücke im deutschen Bildungssektor zu schließen. Zu

<sup>1</sup> Ausgeschlossen wurden Laborprototypen, die nicht öffentlich verfügbar sind sowie Programme, die vor 1990 erschienen und nicht mehr in Anwendung sind. Die Recherche erfolgte mittels der Datenbanken Psyn dex, FIS Bildung, per Internet-Recherche, Presse-Berichte, über den Buchhandel und durch Sichtung der Literatur.

diesem Zweck möchten wir eine erste Evaluationsstudie eines von uns entwickelten Computerprogrammes vorstellen, nämlich der Lernsoftware *Rechenspiele mit Elfe und Mathis I* (W. Lenhard & A. Lenhard, 2010; im Folgenden *Rechenspiele I* genannt). Die *Rechenspiele I* orientieren sich an den nationalen Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz für das Fach Mathematik in der Grundschule. Außerdem setzen sie wichtige lernpsychologische Ansprüche an computerbasierte Förderprogramme um. Sie wenden sich vor allem an Kinder der ersten drei Grundschulklassen, können aufgrund ihres adaptiven Charakters teilweise aber auch schon für vorschulische Förderung eingesetzt werden. Im Anschluss an eine Förderung mit den *Rechenspielen I* kann von der dritten bis etwa zur fünften Klasse mit den *Rechenspielen mit Elfe und Mathis II* (W. Lenhard, A. Lenhard & Lingel, 2010) gearbeitet werden. Im vorliegenden Artikel berichten wir allerdings ausschließlich die Ergebnisse einer ersten Evaluationsstudie zu den *Rechenspielen I*.

Die *Rechenspiele I* bestehen aus 17 verschiedenen Einzelspielen, die jeweils in drei verschiedenen Schwierigkeitsstufen existieren. Die Spiele verteilen sich inhaltlich auf die fünf Bereiche *Mengen*, *Zahlen*, *Sachaufgaben*, *Bilder* und *Rechnen* (siehe Tab. 1).

In den Spielen des Inhaltsbereichs *Mengen* wird trainiert, Mengen zu erfassen, zu vergleichen, aufzuteilen und zusammenzuführen und einer Menge die entsprechende

arabische Ziffer zuzuordnen. Der Erwerb dieser Fertigkeiten stellt eine wichtige Voraussetzung für die mathematische Entwicklung in der Grundschule dar (Krajewski & Schneider, 2006).

Das Ziel des Inhaltsbereichs *Zahlen* ist es, eine abstrakte mentale Repräsentation von Zahlen auszubilden und zu festigen. So sollen Kinder beispielsweise lernen, dass Zahlen bestimmte Eigenschaften haben und zueinander in Relation stehen. Die Spiele dienen also dem Aufbau eines fortgeschrittenen, flexiblen Verständnisses des Zahlensystems, das über die reine Zählfunktion von Zahlen hinausgeht.

Der Bereich *Sachaufgaben* dient dazu, mathematische Fertigkeiten in quasirealistischen Szenarien anzuwenden. Die vielfältigen Anforderungen, die das Umsetzen von Texten in mathematische Situationsmodelle stellt, können dazu beitragen, das mathematische Verständnis entscheidend zu erweitern (Stern, 2003).

Im Inhaltsbereich *Bilder* werden Aufgaben dargeboten, die bildliches und räumliches Vorstellungsvermögen trainieren sollen (zur Trainierbarkeit visuell-räumlicher Fertigkeiten siehe auch Souvignier, 2001). Aktuelle Forschungsergebnisse belegen, dass das bildliche und räumliche Wahrnehmungs- und Vorstellungsvermögen eng mit mathematischen Fähigkeiten verknüpft ist (z. B. de Hevia & Spelke, 2009; Hubbard, Piazza, Pinel & Dehaene, 2005).

Table 1. Tabellarischer Überblick über den Aufbau von *Rechenspiele I*

Inhaltsbereich	Inhalt	Itempool	Pro Durchlauf und Schwierigkeitsstufe dargebotene Aufgaben
Mengen	Mengenvergleich	1 405	15
	Simultane Mengenerfassung	396	10
	Zahlen zuordnen	1 680	10
	Mengen aufteilen/zusammenführen	2 576	15
Zahlen	Zahleigenschaften	1 503	15
	Relationen	1 490	15
	Zahlen verbinden	104	8 bis 10
	Zahlenstrahl	414	10
Sachaufgaben	Längenvergleich	1 342	15
	Sachaufgaben	60	6
	Metakognition	60	5
Bilder	Formen legen	118	10
	Anzahl an Bausteinen	72	10
Rechnen	Addition	1 081	10
	Subtraktion	1 119	10
	Multiplikation	567	10
	Division	520	10
Gesamt	17 Teilspiele	14 516	

Anmerkungen: Die tatsächlich durchgeführten Inhalte hängen vom gewählten Lernprofil ab. So sind beispielsweise Aufgaben zur Division und Multiplikation in der ersten Klassenstufe deaktiviert.

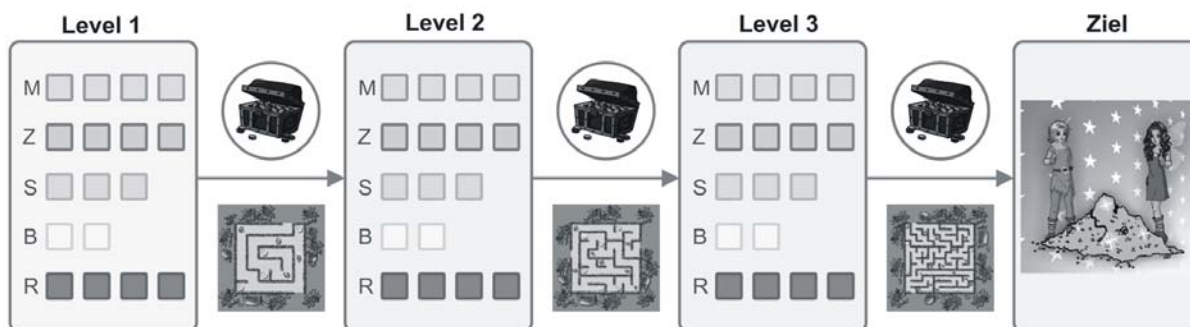


Abbildung 1. Überblick über den Ablauf des Trainings: Auf jeder Schwierigkeitsstufe gibt es insgesamt 17 Spiele zu den Inhaltsbereichen Mengen (M), Zahlen (Z), Sachaufgaben (S), Bilder (B) und Rechnen (R). Wurden alle Spiele einer Schwierigkeitsstufe bewältigt, so kann über das Labyrinth zum nächsten Schwierigkeitsgrad aufgestiegen werden. Am Ende wartet auf das Kind der große Elfenchatz.

Der letzte Inhaltsbereich *Rechnen* dient der Einübung der vier Grundrechenarten. Deren Automatisierung reicht zwar alleine nicht zur Entwicklung eines tieferen Verständnisses für mathematische Konzepte aus, spielt aber in der Entwicklung mathematischer Kompetenzen im Grundschulalter eine wichtige Rolle (Mercer & Miller, 1992; van Luit & Naglieri, 1999).

Inwiefern eine spezielle Software zur Förderung mathematischer Inhalte geeignet ist, wird besonders von der Kombination aus geeigneten Förderinhalten, Rückmeldungsqualität und motivationsfördernden Elementen bestimmt (Leutner, 2006; Li & Ma, 2010). Wir haben deshalb bei der Entwicklung der *Rechenspiele mit Elfe und Mathis* versucht, einen möglichst hohen Anteil an Rückmeldung und motivierenden Elementen einzubauen, ohne dass durch

diese Elemente die Konzentration auf das Wesentliche, nämlich das Üben von Mathematikaufgaben, verloren geht (Vermeidung des *seductive detail effect* und Reduktion von *extraneous load*; Harp & Mayer, 1997; Krajewski & Ennemoser, 2010; S. 344 ff.; Mayer, 2008; Rey & Nieding, 2010, S. 75 f.). Die Spiele sind in eine kleine Rahmenhandlung aus dem Elfenland eingebettet. Ein wichtiges motivierendes Element der Rahmenhandlung besteht darin, dass sich die beiden Titelfiguren zusammen mit dem Spieler auf die Suche nach dem Elfenchatz machen. Dieser kann allerdings erst erreicht werden, wenn alle Einzelspiele auf allen Schwierigkeitsstufen durchlaufen wurden, die für das Leistungsniveau des jeweiligen Spielers vorgesehen sind (siehe Abb. 1). Somit wird eine das Spiel überspannende Motivation erzeugt, bis zum Ende weiter zu spielen.

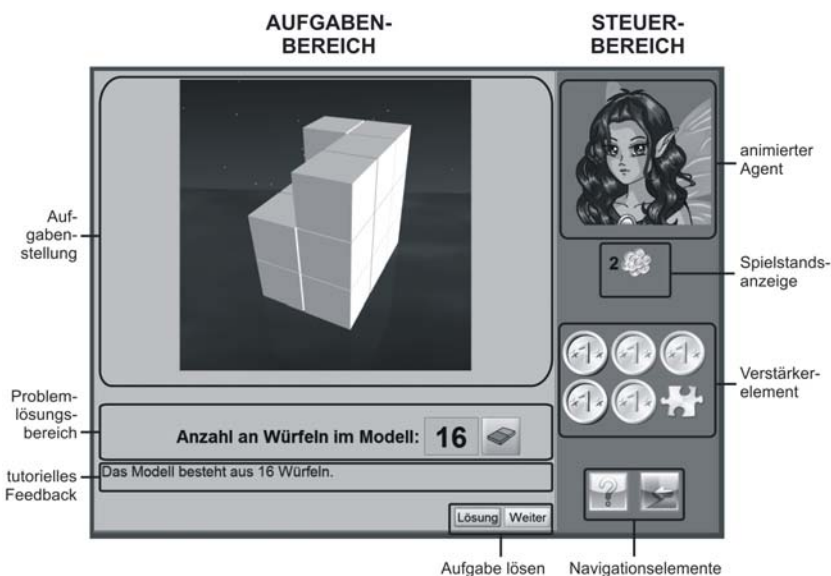


Abbildung 2. Darstellung eines Teilspiels. Bei jedem Spiel befindet sich in der Leiste am rechten Rand der Steuerbereich mit den Verstärker- und Navigationselementen. Im Aufgabenbereich wird die Aufgabendarstellung präsentiert. Im diesem Beispiel besteht die Aufgabe darin, die Anzahl an Würfeln eines Modells zu erfassen.

Während der Aufgabenbearbeitung tritt die Rahmenhandlung komplett in den Hintergrund. Auf dem Bildschirm wird dabei jeweils nur eine einzelne Aufgabe ohne Klangeffekte und bewegte Bilder dargestellt. Außerdem ist der Bildschirm bei allen Spielen auf die gleiche Weise in einen Aufgaben- und einen Steuerbereich unterteilt (siehe Abb. 2). Somit kann die Aufmerksamkeit des Kindes voll auf die Aufgabenbearbeitung fokussiert werden.

Ob eine Aufgabe richtig oder falsch beantwortet wurde, wird jeweils direkt nach der Aufgabenbearbeitung durch ein akustisches Signal zurückgemeldet. Wurde eine Aufgabe zweimal falsch beantwortet, kann außerdem Hilfe bei der Lösung angefordert werden.

Wir haben im Spielablauf zwei verschiedene, voneinander relativ unabhängige Verstärkersysteme eingebaut. Erstens erhält ein Kind je nach Anteil der richtigen Lösungen pro Unterspiel bis zu 5 Elfentaler. Zweitens besteht ein Ziel darin, bei jedem Spiel eine vorab festgelegte Lösungsquote zu überschreiten.



Der Spieler erhält dann nämlich zusätzlich ein Puzzleteil für eine Labyrinthkarte (siehe auch Abb. 1). Erst wenn alle Puzzleteile erworben wurden, gelangt das Kind zum großen Elfenschatz. Die Lösungsquote kann dabei je nach Leistungsstand des Kindes individuell konfiguriert werden. Somit können für jedes Kind hohe, aber gleichzeitig erreichbare Ziele gesetzt werden. Der Lernzuwachs wird dadurch maximiert (Locke & Latham, 1990).

Der Vorteil zweier voneinander getrennter Belohnungssysteme – Elfentaler und Puzzleteile – besteht darin, dass zwar einerseits ein Spiel, für das kein Puzzleteil erreicht wurde, wiederholt, d.h. stärker geübt werden muss. Andererseits kann auch ein leistungsschwaches Kind in diesem Spiel Belohnung in Form von Elfentalern erreichen. Der aktuelle Spielstand eines Kindes an Talern und Puzzleteilen kann jederzeit während des Spieles abgerufen werden. Zusätzlich lässt sich abfragen, welcher Prozentsatz an Aufgaben eines bestimmten Inhaltsbereiches bereits gelöst wurde.

Bevor ein Kind eine höhere Schwierigkeitsstufe erreicht, müssen alle Spiele des vorangegangenen Schwierigkeitsniveaus bewältigt worden sein. Die Abstufung stellt deshalb einen weiteren informationalen Verstärker dar, der dem Kind den eigenen Lernfortschritt signalisiert. Das Programm kann dabei individuell so konfiguriert werden, dass ein einzelner Spieler nur jene Spiele durchlaufen muss, die für sein Leistungsniveau und seinen aktuellen Lernfortschritt weder eine Über- noch eine Unterforderung darstellen.

## Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Untersuchung war der Nachweis, dass das computerbasierte Mathematik-Übungsprogramm *Rechenspiele I* in den ersten beiden Klassenstufen erfolgreich in den Mathematikunterricht integriert werden kann. Zu diesem Zweck wurde geprüft, ob Kinder, die mit den *Rechenspielen I* gefördert werden, bei gleicher investierter Lernzeit einen höheren Fortschritt erzielen als Kinder, die regulären schulischen Mathematikunterricht besuchen. Aufgrund des eingeschränkten Umfangs war es uns in dieser Untersuchung leider nicht möglich, die einzelnen Wirkmechanismen voneinander zu isolieren. Vielmehr sollte das generelle Vorhandensein positiver Effekte – und damit verbunden auch das Potenzial des Einsatzes von Lernsoftware in Unterricht und Förderung – aufgezeigt werden.

## Methode

### Stichprobe

An der Untersuchung nahmen sechs Klassen der ersten Klassenstufe und vier Klassen der zweiten Klassenstufe teil, die aus Grundschulen in Schwaben und Unterfranken rekrutiert wurden. Vorab wurde die Genehmigung der Schulbehörden und der Eltern eingeholt. Zwei Kinder erhielten kein Einverständnis ihrer Eltern zur Teilnahme und

nahmen deshalb an keiner Testung oder Förderung teil. In einer der ersten Klassen der Experimentalgruppe konnte wegen längerer Krankheit der Klassenlehrerin die Fördermaßnahme nicht durchgeführt werden. Diese Klasse musste deshalb aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen werden. Kinder, die häufiger als zwei Mal gefehlt hatten, sowie Klassenwiederholer wurden aus der statistischen Analyse ausgeschlossen. Hiervon betroffen waren ein Kind der ersten und zwei Kinder der zweiten Klasse. Davon abgesehen gab es in der Untersuchung keinen Drop-Out.

In der Stichprobe verblieben in der ersten Klasse 42 Kinder in der Experimental- und 70 Kinder in der Kontrollgruppe. In der zweiten Klasse waren es 54 Kinder in der Experimental- und 47 in der Kontrollgruppe. Die Erstklässler waren im Durchschnitt 7 Jahre 0 Monate alt, bei den Zweitklässlern betrug das Durchschnittsalter 8 Jahre 2 Monate. Bedeutsame Unterschiede zwischen Experimental- und Kontrollgruppe hinsichtlich Geschlechtsverteilung und Alter gab es in keiner Klassenstufe.

## Ablauf des Trainings

Das Training mit den *Rechenspielen I* fand im zweiten Schulhalbjahr in einem Zeitraum von zehn Wochen statt. Dabei wurde in der Experimentalgruppe jeweils eine Schulstunde Mathematik pro Woche durch ein Training mit den *Rechenspielen I* ersetzt. Da in den Schulen der zweiten Klassenstufe die Pfingstferien in diesen Zeitraum fielen, erhielten diese Klassen insgesamt nur acht Trainingseinheiten. In der ersten Klassenstufe fanden neun bzw. zehn Trainingseinheiten statt. Vor der ersten Sitzung erhielten alle Kinder eine allgemeine Einführung in die Funktionsweise des Computerprogramms. Danach setzten sich die Kinder selbstständig mit dem Programm auseinander und wurden nur bei Schwierigkeiten durch die anwesenden Lehrkräfte unterstützt. Da nicht für jedes Kind ein eigener Rechner zur Verfügung stand, arbeiteten die Kinder jeweils paarweise oder in Dreiergruppen. Dabei wechselten sie sich mit der Aufgabebearbeitung ab. Aus diesem Grund konnte die Leistungsanforderung nicht, wie eigentlich in den *Rechenspielen* vorgesehen, für jedes Kind individuell konfiguriert werden. Es wurden deshalb voreingestellte Schwierigkeitsprofile für die erste bzw. zweite Klassenstufe verwendet, die auf die Lerninhalte der Curricula abgestimmt sind. Auch mussten einige motivierende Programmeffekte, wie z.B. animierte Audioinstruktionen, deaktiviert werden, da durch die Arbeit in Kleingruppen keine Kopfhörer eingesetzt werden konnten. Am Ende jeder Trainingseinheit wurden die aktuellen Spielstände jeder Gruppe auf einem Wechseldatenträger gespeichert und zu Beginn der nächsten Einheit erneut aufgerufen. Somit war es den Kindern möglich, kontinuierlich im Übungsprogramm voranzuschreiten.

Die Kinder der Kontrollgruppe erhielten im gleichen Zeitraum regulären schulischen Mathematikunterricht, der nicht durch Computerprogramme angereichert war.

## Erhobene Variablen

Die Mathematikleistung aller Kinder wurde jeweils vor und nach dem Förderzeitraum mit einem standardisierten Testverfahren erhoben. Für die Schüler der ersten Klassenstufe kam dabei der DEMAT 1+ (Krajewski, Küspert & Schneider, 2002) zum Einsatz, die Schüler der zweiten Klassenstufe wurden mit dem DEMAT 2+ (Krajewski, Liehm & Schneider, 2004) getestet. Die Tests der DEMAT-Reihe wurden verwendet, da es sich um curricular valide Testverfahren handelt. Beide Verfahren umfassen jeweils 36 Items, die thematisch den Bereichen Zahlbegriff, Mengenverständnis, Grundrechenarten und Sachaufgaben zugeordnet werden können.

Zwischen dem Vor- und Nachtest lag in beiden Klassenstufen ein identischer Zeitraum von zwölf Wochen. Zum Prätest wurde Form A, zum Posttest Form B der Verfahren verwendet.

Neben den Leistungsmaßen wurden auch Variablen zur Lernfreude und -motivation sowie zum akademischen Selbstkonzept erhoben, die an die entsprechenden Erhebungsinstrumente der 2001 durchgeführten Internationalen Grundschul- und Leseuntersuchung in ihrer nationalen Erweiterung (IGLU-E; Bos et al., 2005) angelehnt und auf die Klassenstufen angepasst waren. Hierbei mussten die Kinder beispielsweise auf einer vierstufigen Symbolskala beantworten, wie gerne sie Mathematik lernen und wie gut sie sich selber einschätzen.

## Auswertung

Da es sich beim DEMAT 1+ und DEMAT 2+ um zwei verschiedene Testverfahren handelt, wurden die Ergebnisse der Klassenstufen getrennt ausgewertet. Aus den Rohwerten der Prä- und Posttests wurden Folgedifferenzen gebildet. Die Folgedifferenzen von Experimental- und Kontrollgruppe wurden mittels *t*-Tests miteinander verglichen. Das statistische Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha = .05$  festgelegt.

## Ergebnisse

Um die Vergleichbarkeit von Experimental- und Kontrollgruppe vor Förderbeginn zu untersuchen, wurden zunächst die Vortestergebnisse der Experimental- und Kontrollgruppe in den beiden Klassenstufen getrennt voneinander überprüft (siehe Tab. 2).

Ein signifikanter Vortestunterschied zeigte sich nur in der zweiten Klasse ( $t[99] = 3.09, p = .002$ ). Er war auf eine schwächere Leistung der Experimentalgruppe zurückzuführen. Die Ungleichheit von Experimental- und Kontrollgruppe in der zweiten Klassenstufe stellt ein methodisches Problem dar, das statistisch nicht gänzlich befriedigend gelöst werden kann. Es besteht zumindest in der zweiten Klassenstufe die Möglichkeit, dass stärkere Leistungsverbesserungen in der Experimentalgruppe auf Ef-

Tabelle 2. Mathematikleistung im Vor- und Nachtest (Rohwerte) in Abhängigkeit von Gruppe und Klassenstufe

Klassenstufe	Kontrollgruppe			Experimentalgruppe			<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>		
	<i>N</i>	Prä <i>M(SD)</i>	Post <i>M(SD)</i>	Diff <i>M(SD)</i>	<i>N</i>	Prä <i>M(SD)</i>					Post <i>M(SD)</i>	Diff <i>M(SD)</i>
alle	70	20.9 (7.8)	27.6 (6.9)	6.7 (5.8)	42	21.2 (6.5)	29.4 (5.4)	8.2 (4.6)	110	1.48	.07	.29
	47	18.9 (7.7)	24.6 (6.6)	5.6 (5.1)	54	13.8 (8.8)	21.7 (8.7)	7.9 (5.6)	99	2.10	.02	.42
gematched	33	20.7 (6.6)	27.1 (6.3)	6.4 (6.0)	33	20.7 (6.6)	29.5 (5.4)	8.8 (4.7)	32	2.40	.01	.59
	32	17.1 (8.1)	22.7 (6.6)	5.5 (6.0)	32	17.1 (8.1)	26.1 (6.5)	9.0 (5.3)	31	2.57	.01	.62

Anmerkungen: Die Tabelle gibt Mittelwert und Standardabweichung der Vor- und Nachtestwerte sowie der Folgedifferenzen in der Kontroll- und Experimentalgruppe wieder. Die Hypothesentests wurden in der ungematchten Gruppe mittels unabhängiger *t*-Tests der Folgedifferenzen gerechnet (einseitige Testung). In der gematchten Stichprobe wurde abhängig ausgewertet. Die Berechnung der Effektstärken erfolgte ebenfalls auf der Grundlage der intraindividuellen Folgedifferenzen. Für die ungematchte Stichprobe ist als Effektstärke Cohens' *d* angegeben. Für die verbundene Stichprobe wurde sie aus den Teststatistiken gemäß Dunlap, Cortina, Vaslow und Burke (1996, S. 171) geschätzt (Berechnung mittels Jacobs, 2005).

fekte zurückzuführen sind, die nicht primär durch die Art der Förderung verursacht werden, sondern z. B. durch Regression zur Mitte. Wir haben uns deshalb für ein zweistufiges Vorgehen entschieden.

In der ersten Analyse wurde für jedes Kind die Folgedifferenz aus den Nach- und Vortestergebnissen gebildet und für jede Klasse getrennt mit einem unabhängigen  $t$ -Test (einseitige Testung) ausgewertet. Während sich in der ersten Klasse nur ein Trend zugunsten der Experimentalgruppe abzeichnete ( $t[110] = 1.48, p = .07, d = .29$ ), schnitt die Experimentalgruppe in der zweiten Klassenstufe signifikant besser ab als die Kontrollgruppe ( $t[99] = 2.10, p = .02, d = .42$ ).

Um auszuschließen, dass das bessere bzw. tendenziell bessere Abschneiden der Experimentalgruppen auf andere als auf förderbedingte Effekte zurückzuführen ist, wurde in einem zweiten Schritt in jeder Klassenstufe anhand der Vortestergebnisse ein Matching von Experimental- und Kontrollgruppe durchgeführt. Jedem Kind der Experimentalgruppe wurde dabei ein Kind der Kontrollgruppe mit gleichem Gesamtergebnis im Vortest zugeordnet. Waren mehrere Kinder mit gleicher Punktzahl vorhanden, so wurde die Zuordnung per Zufall (d. h. ohne Kenntnis der Leistungsverbesserung) vorgenommen. Kinder, die auf diese Weise nicht zugeordnet werden konnten, schieden aus der weiteren Auswertung aus. (Die Vortestergebnisse von Experimental- und Kontrollgruppe waren demnach in der gematchten Stichprobe identisch.) Alle folgenden Analysen wurden mit verbundenen Stichproben durchgeführt.

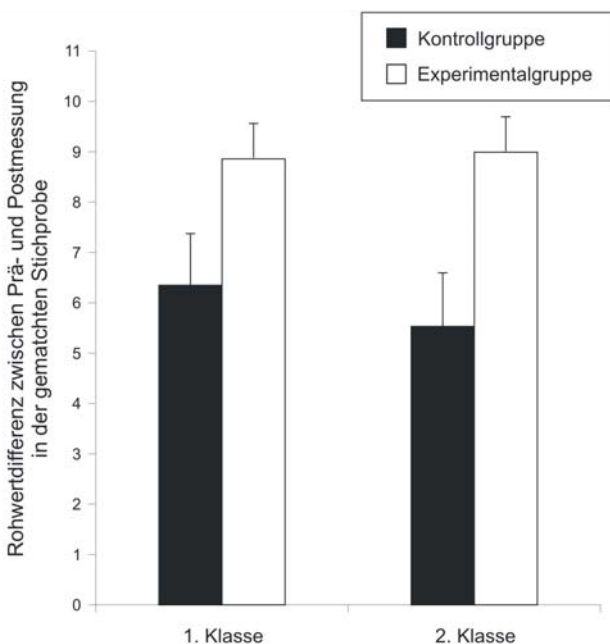


Abbildung 3. Mittlere Fördereffekte (Rohwertdifferenz zwischen Prä- und Posttest) in Abhängigkeit von Gruppe und Klassenstufe in der gematchten Stichprobe. Zur Darstellung der Fehlerbalken wurden Standardfehler herangezogen.

Es verblieben nach dem Matching in der ersten Klasse jeweils 33 Kinder in Experimental- und Kontrollgruppe, in der zweiten Klasse waren es je 32 Kinder. Weder hinsichtlich des Alters noch hinsichtlich der Geschlechterverteilung gab es Unterschiede zwischen Experimental- und Kontrollgruppe. In den gematchten Stichproben erzielten Kinder der Experimentalgruppe in beiden Klassenstufen signifikant höhere Leistungszuwächse als Kinder der Kontrollgruppe. In der ersten Klasse konnte ein Effekt von  $d = .59$  zugunsten der Experimentalgruppe beobachtet werden ( $t[32] = 2.40, p = .01$ ), in der zweiten Klassenstufe lag der Effekt in vergleichbarer Größenordnung ( $t[31] = 2.57, p = .01, d = .62$ ; jeweils einseitige Testung, siehe Abb. 3).

Die Analyse von akademischem Selbstkonzept, Lernfreude und Lernmotivation erbrachte keine signifikanten Ergebnisse. Der Grund hierfür lag darin, dass die Kinder bereits in der Prämessung enorm hohe Werte in den erfassten Variablen zeigten. Verbesserungen konnten aufgrund dieser Deckeneffekte nicht erfasst werden.

## Diskussion

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, positive Effekte der Förderung mit den *Rechenspielen mit Elfe und Mathis I* auf die Mathematikleistung von Erst- und Zweitklässlern nachzuweisen. Hierfür wurde der Schulunterricht im Fach Mathematik bei einem Teil der Kinder durch das Förderprogramm angereichert, während der andere Teil der Kinder in der gleichen zur Verfügung stehenden Zeit regulären Mathematikunterricht erhielt. Nach einem Matching der Ausgangsleistung in Mathematik zeigten Kinder, die mit den *Rechenspielen I* gefördert worden waren, signifikant größere Verbesserungen der Mathematikleistung als Kinder, die lediglich regulären Mathematikunterricht erhalten hatten. Die Effektstärke lag in den gematchten Stichproben in beiden Klassenstufen bei etwa  $d = .6$ . Mithin lässt sich feststellen, dass in beiden Klassenstufen durch den Einsatz des Förderprogramms etwa gleich hohe Leistungszuwächse erzielt werden konnten.

Einschränkend muss berichtet werden, dass die Experimentalgruppe in der ersten Klasse bei ungematchten Stichproben nur tendenziell bessere Lernfortschritte zeigte als die Kontrollgruppe. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass das Computerprogramm in der vorliegenden Untersuchung nicht, wie oft üblich, mit einer Kontrollbedingung verglichen wurde, in der keine mathematische Förderung stattfand. Stattdessen erhielten die Kinder der Kontrollgruppe regulären schulischen Mathematikunterricht. Geht man davon aus, dass dieser bei der Vermittlung mathematischer Fertigkeiten erfolgreich ist, so war unter der Annahme der Wirksamkeit der Rechenspiele höchstens mit kleinen bis mittleren Effekten zu rechnen. In der Tat liegen die Effektstärken der ungematchten Stichproben etwa in der Größenordnung, die in englischsprachigen Metaanalysen (Lin & Ma, 2010; Slavin & Lake, 2008) berichtet wird.

Die Effekte werden vermutlich auch dadurch limitiert, dass es sich mit nur acht bis zehn Schulstunden um eine

zeitlich stark befristete Anreicherung des Unterrichts handelte, die darüber hinaus teilweise unter suboptimalen Bedingungen stattfinden musste. So war beispielsweise keine der Schulen mit zeitgemäßen Computern ausgestattet. Auch die Anzahl an Rechnern war an allen Schulen ungenügend. Die Kinder mussten deshalb, anders als ursprünglich vorgesehen, in Zweier- oder Dreiergruppen arbeiten. Es konnten also nicht, wie eigentlich im Programm vorgesehen, individualisierte Schwierigkeitsprofile verwendet werden. Außerdem mussten die Audioinstruktionen deaktiviert werden.

Trotz dieser Schwierigkeiten bei der Durchführung waren die teilnehmenden Kinder in der Regel mit enorm hoher Motivation bei der Sache und bearbeiteten auch schwierige Aufgaben mit Ausdauer. Das Erreichen einer höheren Schwierigkeitsstufe hatte für viele Kinder einen enorm belohnenden Charakter. Durch die Arbeit in Kleingruppen entwickelte sich teilweise ein reger positiver Austausch zwischen den Kindern, der möglicherweise sogar die Tatsache wett machte, dass nicht jedes Kind am eigenen Computer arbeiten konnte.

Von den fünf beteiligten Lehrkräften in den Experimentalgruppen gaben vier am Ende der Trainingssitzungen sehr positive Rückmeldungen zu den *Rechenspielen I*. Eine Lehrerin der Experimentalbedingung merkte beispielsweise an, dass ihre Schüler durch das Training im Mathematikunterricht zunehmend eigenständiger gearbeitet und bei schwierigen Aufgaben ausdauernder nach eigenen Lösungswegen gesucht hätten.

## Mögliche Wirkmechanismen

Aufgrund des eingeschränkten Umfangs der vorliegenden Untersuchung, war es uns leider nicht möglich, einzelne Wirkfaktoren zu isolieren. Über die Ursachen, die zu einem größeren Lernfortschritt der Experimentalgruppen beigetragen haben, kann deshalb an dieser Stelle nur spekuliert werden. Sicherlich sind die *Rechenspiele* dem Mathematikunterricht nicht hinsichtlich der Vermittlung neuer Inhalte und Techniken überlegen. Vielmehr handelt es sich um ein Programm, bei dem bereits bekannte Inhalte eingeübt werden. Deshalb möchten wir an dieser Stelle auch betonen, dass die *Rechenspiele I* keinesfalls als Ersatz für Mathematikunterricht, sondern als sinnvolle Ergänzung zu betrachten sind.

Zu Beginn des Artikels haben wir bereits mehrere lernpsychologische Mechanismen erwähnt, die im Programm umgesetzt wurden und deshalb möglicherweise zu dessen Erfolg beitragen. So erhalten Kinder beispielsweise zeitnahe Rückmeldung über Erfolg oder Misserfolg. Außerdem können sie jederzeit Informationen über den aktuellen Leistungsstand abfragen (informationaler Verstärker).

Wichtig erscheinen uns auch die motivationalen Elemente des Programms. Dazu zählen zum Beispiel die äußere Gestaltung, die verschiedenen Arten von Belohnung, die überspannende Rahmenhandlung sowie der Abwechslungsreichtum. Letzterer wird vor allem dadurch er-

zielt, dass im Unterschied zum Mathematikunterricht (und auch zu vielen Lernprogrammen für Mathematik) in relativ kurzer Zeit viele verschiedene Inhaltsbereiche durchlaufen werden. Somit kann gegebenenfalls das Interesse länger aufrecht erhalten werden. In den erfassten motivationalen Variablen zeigten die Kinder der Experimentalgruppe zwar keine signifikant höheren Werte als die Kinder der Kontrollgruppe. Allerdings wiesen die erhobenen Variablen bereits im Prätest starke Deckeneffekte auf, sodass Erhöhungen der Motivation nicht erfasst werden konnten. Dass größere Lernfortschritte dennoch zumindest zum Teil ihre Ursache in einer höheren Motivation der Experimentalgruppe haben, halten wir aber für wahrscheinlich.

Auch der generelle Neuigkeitseffekt des Mediums Computer trägt möglicherweise dazu bei, das Interesse länger aufrecht zu erhalten. Wenn dies der Fall ist, sollten sich in höheren Klassen etwas kleinere Effektstärken ergeben, da viele Kinder dann bereits an das Arbeiten mit dem Computer gewöhnt sind. Tatsächlich ergaben erste Überprüfungen der Wirksamkeit der *Rechenspiele mit Elfe und Mathis II* (W. Lenhard, A. Lenhard & Lingel, 2010) in den Klassenstufen drei und vier etwas niedrigere Effektstärken.

Zu guter Letzt könnte als möglicher Wirkfaktor auch vermutet werden, dass am Computer eventuell mehr Aufgaben in der gleichen Zeit bewältigt werden können als im Unterricht. Dabei geben wir allerdings zu bedenken, dass in den Experimentalgruppen bis zu 30% der Zeit alleine für das Ein- und Ausschalten der Computer sowie für das Abspeichern der Ergebnisse investiert wurde. Mit herkömmlichen Arbeitsblättern können unseres Erachtens eher mehr Aufgaben pro Stunde bearbeitet werden. Den Wirkfaktor der effektiveren Zeitnutzung halten wir deshalb für eher unwahrscheinlich.

## Methodische Limitierungen der Studie

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muss auf verschiedene methodische Limitierungen der Untersuchung hingewiesen werden. So besteht ein grundlegendes Problem dieser – wie auch vieler anderer – Evaluierungsstudien im quasiexperimentellen Design. Eine zufällige Zuweisung von Kindern zu Experimental- und Kontrollgruppe konnte aus organisatorischen Gründen nicht bewerkstelligt werden. Dieses Dilemma könnte allenfalls durch die Rekrutierung sehr vieler Schulklassen oder durch die zusätzliche Erhebung weiterer möglicher Störvariablen (z. B. Intelligenz, Arbeitsgedächtnis) bewältigt werden. Hierfür standen uns leider nicht genug Ressourcen zur Verfügung.

Trotz des Matchings der Ausgangsleistungen kann außerdem nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass in den fünf Experimentalklassen auch abgesehen von der Förderung mit den *Rechenspielen I* effektiver unterrichtet wurde als in den Kontrollgruppen. Allerdings hätte sich in diesem Fall ein Leistungsunterschied zugunsten der Experimentalgruppe unseres Erachtens auch schon vor dem



Förderzeitraum zeigen sollen. Das war allerdings nicht der Fall. Vielmehr berichtete eine Lehrerin der Kontrollgruppe, dass sie versuchte, während des Förderzeitraums besonders intensiven Unterricht zu betreiben, um gegenüber der Experimentalgruppe nicht in Rückstand zu geraten.

Auch eine Follow-Up-Erhebung konnte bislang wegen mangelnder Ressourcen nicht durchgeführt werden. Wir können also zum momentanen Zeitpunkt keine Aussagen darüber machen, wie lange die positiven Effekte des Computertrainings anhalten. Des Weiteren kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht optimal beantwortet werden, inwiefern die in den Rechenspielen trainierten Fertigkeiten auch auf andere, nicht trainierte mathematische Fertigkeiten generalisieren. Da sowohl die verwendeten Testverfahren, die *Rechenspiele I*, als auch der Unterricht für sich in Anspruch nehmen, sich stark an den vorgegebenen Bildungsinhalten zu orientieren, können wir vorerst lediglich davon ausgehen, dass es sich bei den Trainingseffekten um einen nahen Transfer handelt.

## Ausblick

In unserer Untersuchung haben wir festgestellt, dass die Anreicherung des Mathematikunterrichts in der ersten und zweiten Klassenstufe mit den *Rechenspielen I* die Leistungsentwicklung der Kinder im Fach Mathematik positiv beeinflussen kann. Ähnliche Erfolge lassen sich nicht nur für computerbasierte Förderprogramme im Fach Mathematik, sondern beispielsweise auch im Fach Deutsch (W. Lenhard, 2009) nachweisen. Trotzdem ist der Weg von der Entwicklung eines Programmes bis zum Einzug ins Klassenzimmer steinig.

Basierend auf den Erfahrungen dieser und anderer schulischer Untersuchungen am Computer (W. Lenhard, 2008; W. Lenhard & Schneider, 2006) mussten wir beispielsweise feststellen, dass die Nutzung des Potenzials computerbasierter Förderung in der Regel schon an der technischen Ausstattung der Schulen scheitert – ein Faktum, welches auch die Durchführung von Evaluationen computerbasierter Förderprogramme erheblich erschwert. Eine besondere Herausforderung stellen die sicherheitstechnischen Vorrichtungen an den Schulen dar, die es häufig nicht zulassen, Software zu installieren oder die vorhandenen Rechner zu aktualisieren. Die sich hieraus ergebenden Probleme treffen in der Regel lokal installierte Programme und Webapplikationen gleichermaßen. Der unserer Ansicht nach praktikabelste Ansatz besteht deshalb darin, Programme einzusetzen, die komplett von einem Datenträger startbar sind und bei denen kein Eingriff in das Computersystem notwendig ist.

Auch Lehrerinnen und Lehrer werden zurzeit noch nicht ausreichend darauf vorbereitet, neue Medien für die Gestaltung von Lehr- und Lernprozessen zu nutzen (Kos & Schaale, 2001). Bisweilen ist im pädagogischen Bereich sogar eine Abneigung gegen den Einsatz von Computern aufgrund potenziell negativer Auswirkungen spürbar (vgl. Petko, 2008). In populärwissenschaftlichen Werken wer-

den diese Auswirkungen zudem teilweise überspitzt und undifferenziert aufbereitet (z. B. Bauerlein, 2008; Spitzer, 2005). Da aber die Arbeit mit Computern einen zentralen Bestandteil der heutigen Gesellschaft und Arbeitswelt darstellt, sollte Computerliteracy mehr als bisher als wichtiger Unterrichtsinhalt begriffen werden.

Ein weiteres Hindernis auf dem Weg von der wissenschaftlichen Entwicklung zur erfolgreichen Nutzung computerbasierter Förderprogramme in den Schulen liegt darin begründet, dass von Wissenschaftlern entwickelte und evaluierte Software häufig nicht den technischen und grafischen Ansprüchen der Nutzer genügt. Da auf dem Softwaremarkt ein großer Preisdruck existiert, konzentrieren sich hingegen die meisten Softwarefirmen darauf, Programme auf hohem technischen und grafischen Niveau zu produzieren. Bei solchen Programmen fehlt dann in der Regel die wissenschaftliche Absicherung des Lernerfolgs, da diese bei der Kaufentscheidung vermutlich häufig die kleinere Rolle spielt.

Das große Potenzial des Einsatzes von Lernsoftware im Unterricht bleibt aus den eben beschriebenen Gründen in Deutschland bislang weitgehend ungenutzt. Wir hoffen deshalb, mit den *Rechenspielen mit Elfe und Mathis* ein Programm vorgelegt zu haben, das dazu beiträgt, diese Lücke zu schließen.

## Literatur

- Ashcraft, M. H. & Faust, M. W. (1994). Mathematics anxiety and mental arithmetic performance: An exploratory investigation. *Cognition and Emotion*, 8, 97–125.
- Bangert-Downs, R., Kulik, C., Kulik, J. & Morgan, M. (1991). The Instructional Effect of Feedback in Test-Like Events. *Review of Educational Research*, 61, 213–238.
- Bauerlein, M. (2008). *The dumbest generation. How the digital age stupefies young Americans and jeopardizes our future (or, don't trust anyone under 30)*. New York: Jeremy P. Tarcher/Penguin.
- Biffi, C. (2002). Evaluation von Bildungssoftware im Spannungsfeld von Objektivität und praktischer Anwendung [Internetdokument]. *MedienPädagogik*, 5. Zugriff am 17.06.2010 <http://www.medienpaed.com/02-1/biffi1.pdf>.
- Bos, W., Lankes, E.-A., Prenzel, M., Schwippert, K., Valtin, R., Voss, A. et al. (Hrsg.). (2005). *IGLU – Skalenhandbuch zur Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Münster: Waxmann.
- De Hevia, M.-D. & Spelke, E. S. (2009). Spontaneous mapping of number and space in adults and young children. *Cognition*, 110, 198–207.
- Harp, S. F. & Mayer, R. E. (1997). The role of interest in learning from scientific text and illustrations: On the distinction between emotional interest and cognitive interest. *Journal of Educational Psychology*, 89, 92–102.
- Helmke, A. & Weinert, F. E. (1997). Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Unterrichts und der Schule. Enzyklopädie der Psychologie* (Themenbereich D, Serie I, Bd. 3, S. 71–176). Göttingen: Hogrefe.
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P. & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews: Neuroscience*, 6, 435–448.
- Jacobs, B. (2005). *Einige Berechnungsmöglichkeiten von Effektstärken*. Verfügbar unter: <http://www.phil.uni-sb.de/~jacobs/seminar/vpl/bedeutung/effektstaerketool.html>.

- Jürgen, W., Glöer, S. & Wellen, P. (1999). Effekte eines computerunterstützten Intensivtrainings zur Automatisierung elementarer Rechenoperationen und dessen Wirkung im Vergleich zu herkömmlichen Materialien. *Sonderpädagogik*, 29 (3), 148–157.
- Knorr, S. (2007). Effekte einer Förderung mit der Lernsoftware „Blitzrechnen“ in der Förderschule. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, 58, 7–17.
- Kos, O. & Schaale, D. (2001). Medien und Informationstechnologien in der Lehrerbildung. *Medienpädagogik*, 4. Zugriff am 17.06.2010 [http://www.medienpaed.com/01-2/kos\\_schaale1.pdf](http://www.medienpaed.com/01-2/kos_schaale1.pdf).
- Krajewski, K. & Ennemoser, M. (2010). Die Berücksichtigung begrenzter Arbeitsgedächtnisressourcen in Unterricht und Lernförderung. In H.-P. Trollenier, W. Lenhard & P. Marx (Hrsg.), *Brennpunkte der Gedächtnisforschung* (S. 337–365). Göttingen: Hogrefe.
- Krajewski, K., Küspert, P. & Schneider, W. (2002). *DEMAT 1+ : Deutscher Mathematiktest für erste Klassen*. Göttingen: Hogrefe.
- Krajewski, K., Liehm, S. & Schneider, W. (2004). *DEMAT 2+ : Deutscher Mathematiktest für zweite Klassen*. Göttingen: Hogrefe.
- Krajewski, K. & Schneider, W. (2006). Mathematische Vorläuferfertigkeiten im Vorschulalter und ihre Vorhersagekraft für die Mathematikleistungen bis zum Ende der Grundschulzeit. *Zeitschrift für Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 53, 246–262.
- Kulik, C.-L. C. & Kulik, J. A. (1991). Effectiveness of computer-based instruction: an updated analysis. *Computers in Human Behavior*, 7, 75–94.
- Kullik, U. (2004). Computerunterstützte Rechentrainingsprogramme. In G. W. Lauth, M. Grünke & J. C. Brunstein (Hrsg.), *Interventionen bei Lernstörungen* (S. 329–337). Göttingen: Hogrefe.
- Kullik, U. (2007). *Wissenschaftlicher Werdegang, Publikationen, Projekte und Softwareentwicklungen* (Internetseite der Universität Köln). Zugriff am 26.10.2010 unter <http://www.hf.uni-koeln.de/31330>
- Lenhard, W. (2008). *Bridging the Gap to Natural Language: Latent Semantic Analysis as a Tool for the Development of Intelligent Tutoring Systems*. Research Report. University Würzburg.
- Lenhard, W. (2009). Der Einsatz intelligenter tutorieller Systeme zur Vermittlung von Leseverständnisstrategien. In W. Lenhard & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnose und Förderung von Leseverständnis und Lesekompetenz* (S. 227–242). Göttingen: Hogrefe.
- Lenhard, W. & Lenhard, A. (2010). *Rechenspiele mit Elfe und Mathis I* [CD-ROM]. Göttingen: Hogrefe.
- Lenhard, W., Lenhard, A. & Lingel, K. (2010). *Rechenspiele mit Elfe und Mathis II* [CD-ROM]. Göttingen: Hogrefe.
- Lenhard, W. & Schneider, W. (2006). *ELFE 1-6: Ein Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler*. Göttingen: Hogrefe.
- Leutner, D. (2006). Programmierter und computerunterstützter Unterricht. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Psychologie* (S. 595–602). Weinheim: Beltz.
- Li, Q. & Ma, X. (2010). A Meta-analysis of the Effects of Computer Technology on School Students' Mathematics Learning. *Educational Psychology Review*, 22, 215–243.
- Locke, E. A. & Latham, G. P. (1990). *A theory of goal setting and task performance*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Mayer, R. E. (2008). Applying the Science of Learning: Evidence-Based Principles for the Design of Multimedia Instruction. *American Psychologist*, 63, 760–769.
- Mercer, C. D. & Miller, S. P. (1992). Teaching students with learning problems in math to acquire, understand, and apply basic math facts. *Remedial and Special Education*, 13, 19–35.
- Petko, D. (2008). Unterrichten mit Computerspielen: Didaktische Potenziale und Ansätze für den gezielten Einsatz in Schule und Ausbildung. *Medienpädagogik*, 15/16. Zugriff am 17.06.2010 unter <http://www.medienpaed.com/15/petko0811.pdf>.
- Platt, J. (1973). Social traps. *American Psychologist*, 28, 641–651.
- Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E. et al. (Hrsg.). (2007). *PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie*. Münster: Waxmann.
- Rey, G.-D. & Nieding, G. (2010). Arbeitsgedächtnis und Cognitive Load. In H.-P. Trollenier, W. Lenhard & P. Marx (Hrsg.), *Brennpunkte der Gedächtnisforschung* (S. 67–106). Göttingen: Hogrefe.
- Schnabel, K. U. (1998). *Prüfungsangst und Lernen: Empirische Analysen zum Einfluß fachspezifischer Leistungsängstlichkeit auf schulischen Lernfortschritt*. Münster: Waxmann.
- Schoppek, W. & Tulis, M. (2006). Merlins Rechenmühle – Eine adaptive Übungssoftware zur individuellen Förderung des Rechnens in der Grundschule. In F. Lösel & D. Bender (Hrsg.), *45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie: Humane Zukunft gestalten* (S. 317). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Schoppek, W. & Tulis, M. (2010). Enhancing arithmetic and word problem solving skills efficiently by individualized computer-assisted practice. *The Journal of Educational Research*, 103, 239–252.
- Slavin, R. & Lake, C. (2008). Effective Programs in Elementary Mathematics; A Best-evidence Synthesis. *Review of Educational Research*, 78, 427–515.
- Spitzer, M. (2005). *Vorsicht Bildschirm! Elektronische Medien, Gehirnentwicklung, Gesundheit und Gesellschaft*. Stuttgart: Klett.
- Southern, E. (2001). Training räumlicher Fähigkeiten. In K. Klauer (Hrsg.), *Handbuch kognitives Training* (S. 293–324). Göttingen: Hogrefe.
- 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). Beltz: Weinheim.
- Van Luit, J. E. H. & Naglieri, J. A. (1999). Effectiveness of the MASTER Program for Teaching Special Children Multiplication and Division. *Journal of Learning Disabilities*, 32, 98–107.
- Wilson, A. J., Dehaene, S., Pinel, P., Revkin, S. K., Cohen, L. & Cohen, D. (2006). Principles underlying the design of „the number race“, an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2. Zugriff am 20.10.2010 unter <http://www.behavioralandbrainfunctions.com/content/2/1/19>.
- Wittmann, E. Ch. & Müller, G. N. (2007 a). *Blitzrechnen – Kopfrechnen Klasse 1 + 2* [CD-ROM]. Leipzig: Klett Grundschulverlag.
- Wittmann, E. Ch. & Müller, G. N. (2007 b). *Blitzrechnen – Kopfrechnen Klasse 3 + 4* [CD-ROM]. Leipzig: Klett Grundschulverlag.
- Woolfolk, A. (2008). *Pädagogische Psychologie*. München: Pearson Studium.

Dr. Wolfgang Lenhard, Melanie Schug, Anna Kowalski

Universität Würzburg  
Lehrstuhl Psychologie IV  
Röntgenring 10  
97070 Würzburg  
E-Mail: wolfgang.lenhard@uni-wuerzburg.de

Dr. Alexandra Lenhard

Psychometrica  
Am Kreuz 14  
97337 Bibergau