



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2012

Calcularis - Rechenschwäche mit dem Computer begegnen

von Aster, Michael ; Käser, Tanja ; Kucian, Karin ; Gross, M

Abstract: Der vorliegende Beitrag belegt, dass Computerspiele nicht per se schlecht für die kindliche Entwicklung sind. Am Beispiel des Lernprogramms Calcularis für Kinder im Grundschulalter wird aufgezeigt, wie individuell und gezielt Schwierigkeiten beim Rechnenlernen angegangen werden können. Erste wissenschaftliche Ergebnisse zur Wirksamkeit von Calcularis werden beschrieben.

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich
ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-64845>
Journal Article

Originally published at:

von Aster, Michael; Käser, Tanja; Kucian, Karin; Gross, M (2012). Calcularis - Rechenschwäche mit dem Computer begegnen. Schweizerische Zeitschrift für Heilpädagogik, (6):32-36.

Michael von Aster, Tanja Käser, Karin Kucian, Markus Gross

Calcularis – Rechenschwäche mit dem Computer begegnen

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag belegt, dass Computerspiele nicht per se schlecht für die kindliche Entwicklung sind. Am Beispiel des Lernprogramms Calcularis für Kinder im Grundschulalter wird aufgezeigt, wie individuell und gezielt Schwierigkeiten beim Rechnenlernen angegangen werden können. Erste wissenschaftliche Ergebnisse zur Wirksamkeit von Calcularis werden beschrieben.

Résumé

Le présent article apporte la preuve que les jeux d'ordinateur en soi ne sont pas nuisibles au développement des enfants. Présenté comme exemple, le logiciel d'apprentissage Calcularis, destiné aux élèves de niveau primaire, démontre concrètement comment les difficultés de calcul peuvent être abordées de façon individuelle et ciblée. Enfin, les premiers résultats scientifiques sur l'efficacité de Calcularis sont également présentés dans cet article.

Computer in Schule und Kinderzimmer? Eine zwiespältige Angelegenheit! Computer können auf die Entwicklung einen durchaus negativen Einfluss haben. Es mehren sich die Anzeichen dafür, dass der Gebrauch elektronischer Medien erhebliche Risiken für die Entwicklung geistiger Funktionen mit sich bringt. Diese Risiken sind z. B. je nach Art der konsumierten Inhalte, Dauer des Konsums und Alter der konsumierenden Person verschieden stark ausgeprägt. Sie schlagen sich nicht zuletzt in der zunehmenden Häufigkeit von Mediensucht nieder. Christoph Türcke stellt in seinem lezenswerten Buch «Hyperaktiv» (2012) überzeugend auch Bezüge zu Symptomen des ADHS und zu negativen Auswirkungen auf die Entwicklung sozialer Bindungen her. Das übermässige Computerspielen engt notwendige Lern- und Erfahrungsräume in Intensität und Vielfalt ein und erschwert damit die Entwicklung altersgerechter Denk- und Regulationsfunktionen. Der Neurowissenschaftler Manfred Spitzer wird nicht

müde, mit Hinweis auf die sich mehrenden Erkenntnisse wissenschaftlicher Studien vor diesen Gefahren zu warnen (Spitzer, 2010). Allerdings gäbe es ohne hoch entwickelte Computertechnologie auch die Methoden der modernen Neurowissenschaften nicht, mit denen es z. B. möglich wurde, vormals unsichtbare geistige Prozesse sichtbar zu machen. Computer sind aus unserem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken, sie zu verteufeln, wird kaum wirksam sein. Es muss zukünftig vielmehr um eine aktive Bewältigung dieser Risiken gehen, die z. B. mittels einer gezielten Mediendidaktik zu einem aktiven, kompetenten und dosierten Gebrauch durch Lehrer, Eltern und Kinder befähigt.

Das Lernen in der Schule birgt auch ohne Computer zahlreiche Risiken für Erfahrungen des Scheiterns und Versagens, der Angst und der Vermeidung. Kinder, die beim Erlernen der Schriftsprache oder der Mathematik hinter die vom Lehrplan gesetzte Erwartung

tung zurückfallen, geraten im Unterricht unter Stress, entwickeln Leistungsängste, fallen weiter zurück und vermeiden aus Angst vor Misserfolg das Lernen überhaupt. Gerade solche Erfahrungen treiben Kinder oft geradezu in die ablenkende Computere Welt. Die vielerorts verbreitete wettbewerbsorientierte Unterrichtskultur verstärkt diese Mechanismen noch: Es gibt keinen Sieger ohne Verlierer. Ob, wie manche Pädagogen oder Pädagoginnen meinen, Verlieren zum Siegen motiviert, ist zweifelhaft und hängt davon ab, ob die Chancen im Wettbewerb fair verteilt sind. Das sind sie, wie wir längst wissen, keinesfalls. Die Lernvoraussetzungen, die Schülerinnen und Schüler in die Schule mitbringen, die Muster ihrer Stärken und Schwächen sind höchst heterogen und verlangen nach Individualisierung von Lernwegen und Lerntempo. Unter dem aktuellen Diktat zur Inklusion lernschwacher Kinder in den Regelunterricht und der gleichzeitigen Begrenztheit pädagogischer Ressourcen mündet diese Zielvorstellung in zwangsläufige Überforderungssituationen bei Lehrkräften.

Können computergestützte Lernprogramme die Lehrperson ersetzen? Natürlich nicht! Berufliche Eignung, fachliches Wissen und pädagogisches Können bilden die Basis für eine positive Lernentwicklung, die sich nur innerhalb einer gelingenden Lehrer-Schüler-Beziehung entfalten kann. Der Computer kann aber, und dies wollen wir hier am Beispiel *Calcularis* begründen, ein geeignetes Hilfsmittel sein, wenn es darum geht, individuell und feinabgestimmt bestimmte Lernschritte zu initiieren und zu üben. Dabei ermöglicht der Computer entlang dem eigenen Lernfortschritt ein unmittelbares und positives Feedback, und die Übungssituation wird von negativem sozialem Quervergleich ab-

geschirmt. Dies ist besonders wichtig für Kinder mit Lernerschwerungen und Teilleistungsstörungen.

Calcularis ist ein computerbasiertes Lernprogramm für Kinder im Grundschulalter, die beim Rechnenlernen Schwierigkeiten haben. Es wurde an der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Universitäts-Kinderspital Zürich und der Firma Dybuster entwickelt. Das Grundkonzept dieses Trainings basiert auf aktuellen entwicklungspsychologischen und neurowissenschaftlichen Konzepten der kognitiven Zahlenverarbeitung und des Rechnens. Es geht dabei von einer hierarchischen Entwicklung mentaler Zahlenrepräsentationen im Kindesalter aus, beginnend mit den bereits früh verfügbaren Repräsentationen von konkreten Mengen, gefolgt von ihren Symbolisierungen durch Zahlworte und das arabische Zahlensystem und dem schliesslich erfolgenden sukzessiven Aufbau innerer mentaler Zahlraumvorstellungen im frühen Grundschulalter (von Aster & Shalev, 2007).

Calcularis ist aus vielen verschiedenen Spielen zusammengesetzt, die sich in zwei Hauptbereiche untergliedern lassen. Der erste Bereich dient der Entwicklung und der Festigung der verschiedenen Zahlenrepräsentationen sowie der Automatisierung von Übersetzungsprozessen zwischen ihnen. Der zweite Bereich befasst sich parallel dazu mit der Entwicklung des arithmetischen Operationsverständnisses und mit dem Aufbau arithmetischen Faktenwissens. Beide Bereiche sind hierarchisch nach grösser werdenden Zahlenräumen aufgebaut. Das bedeutet, dass sowohl das Zahlenwissen als auch die arithmetischen Fähigkeiten zuerst im kleinen Zahlenraum (0–

20) beherrscht werden müssen, bevor die nächst grösseren Zahlenräume (0–100 und 0–1000) erobert werden können. Am Beginn stehen Spiele, die die Erfassung sogenannter Vorläuferfähigkeiten und, wenn er-

forderlich, ihr Training ermöglichen. Hierbei geht es um das Erlernen, Veranschaulichen und Ausführen von Zählprozeduren und um das simultane Erfassen und Schätzen der Grösse von Mengen.

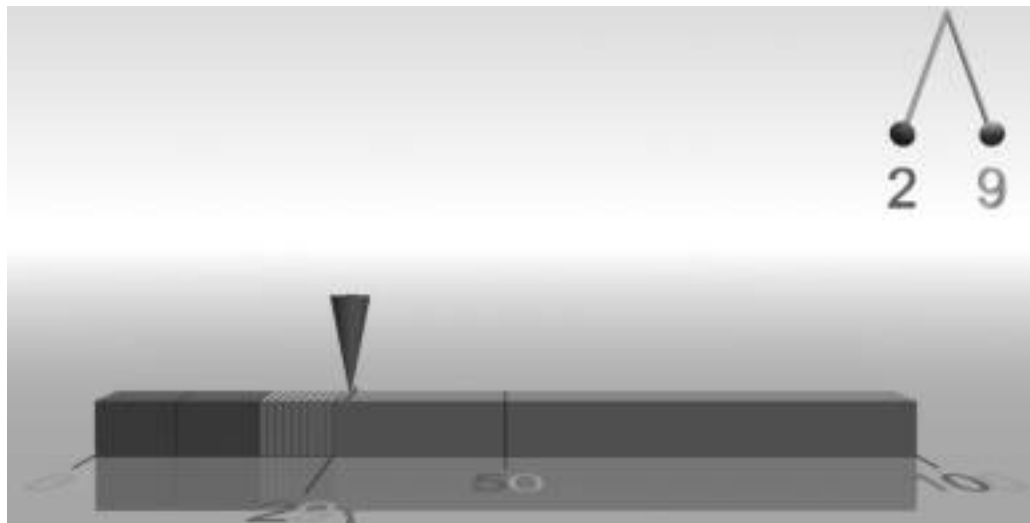


Abbildung 1: Spiel «Landung»: Die Position der Zahl 29 muss auf dem Zahlenstrahl von 0-100 angegeben werden.

Calcularis nutzt die Möglichkeit multisensorischer Kodierungen. So werden zum besseren Verständnis des Stellenwertsystems Einer, Zehner und Hunderter jeweils in verschiedenen Farben dargestellt. Zusätzlich wird jede Zahl als eine Komposition von Einer-, Zehner- und Hunderterblöcken angezeigt. Zum Aufbau und zur Festigung mentaler Zahlenraumvorstellungen wird die Position jeder Zahl ausserdem immer auf einem analogen Zahlenstrahl dargestellt. Diese elementaren Merkmale finden sich in jedem Spiel des Lernprogramms wieder.

Eine weitere wichtige Komponente der Lernsoftware ist ihre Adaptivität, d. h. ihre Fähigkeit, den Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellungen an jedes einzelne Kind individuell anzupassen. Dies macht es möglich, unterschiedliche Vorwissenstruktu-

ren, Arten von Lernproblemen und Lern-tempi der Kinder differenziell und unmittelbar zu berücksichtigen. Eine solche Anpassung an den Lernstand des Kindes minimiert die Fehlerwahrscheinlichkeit, ohne dass das Kind gleichzeitig mit Aufgaben, die es schon beherrscht, gelangweilt wird. Um eine solche Adaptivität des Programms zu erreichen, muss das aktuelle Lern- und Fähigkeitsniveau des Kindes geschätzt werden. Dazu benötigt der Computer eine interne Darstellung des momentanen Wissenstandes. Die *Calcularis*-Software löst dieses Problem folgendermassen: Die vielen verschiedenen, zur Bewältigung der gestellten Aufgaben notwendigen Teilfunktionen wurden operationalisiert und in einem hierarchischen sogenannten Bayes-Netz dargestellt. Mit diesem Bayes-Netz berechnet der Computer fortlaufend

für jede Teilfunktion Wahrscheinlichkeiten, die den Lernstand des Kindes einschätzen lassen. Nach jeder gelösten Aufgabe werden diese Wahrscheinlichkeiten neu berechnet. Macht ein Kind beispielsweise beim Lösen einer Aufgabe einen Fehler, so sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass das Kind die mit dieser Aufgabe assoziierte Fähigkeit schon beherrscht. Die Aufgabenstellungen für das Kind werden auf der Basis dieser berechneten aktuellen Wahrscheinlichkeiten ausgewählt und angepasst. Eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit bedeutet, dass die aktuellen Aufgaben für das Kind zu schwierig sind und nun eine einfachere, quasi vorgeschaltete Fähigkeit trainiert werden sollte. Eine hohe Wahrscheinlichkeit zeigt an, dass das Kind die momentan trainierte Fähigkeit beherrscht und zu anspruchsvolleren Aufgaben weitergehen kann. Um die individuelle Anpassung an das Kind weiter zu optimieren, unterhält *Calcularis* auch eine Fehlerbibliothek mit typischen Fehlermustern, wie beispielsweise Zahlendrehern. Wird ein solches Fehlermuster erkannt, so wird dieses Problem gezielt adressiert und geübt.

Die Wirksamkeit von *Calcularis* wird wissenschaftlich evaluiert. In einer Trainingsstudie mit einer Vorversion von *Calcularis* (Rette *Calcularis*) bei Kindern mit und ohne Rechenschwäche konnte mittels bildgebenden Verfahren (fMRT) gezeigt werden, dass die nach fünf Wochen Training bereits erzielten signifikanten Lernfortschritte auch mit Veränderungen der neuronalen Verarbeitungsmuster assoziiert waren. Diese Veränderungen sprechen für eine verbesserte zahlenräumliche Verankerung und eine effizientere Umsetzung der rechnerischen Denkabläufe (Kucian et al., 2011).

Eine erste Benutzerstudie mit der aktuellen Version von *Calcularis* bei Kindern mit mathematischen Lernschwierigkeiten hat nun weitere vielversprechende Ergebnisse gebracht (Käser et al., 2011; Käser et al., eingereicht). Die 40 teilnehmenden Zweit- bis Fünftklässler wurden für diese Studie in zwei Gruppen eingeteilt: Eine Trainingsgruppe, die 12 Wochen mit *Calcularis* trainierte, sowie eine Wartegruppe, die zuerst 6 Wochen Pause machte und danach für 6 Wochen trainierte. Während der Trainingszeit spielten die Kinder fünfmal pro Woche während jeweils 20 Minuten mit *Calcularis*. Die Rechenfähigkeiten der Kinder wurden vor Beginn des Trainings, nach 6 Wochen und nach 12 Wochen gemessen. Bereits nach 6 Wochen Training zeigten die Kinder gegenüber der Wartegruppe signifikante Leistungsverbesserungen in ihren arithmetischen Fertigkeiten. Die Kinder machten nicht nur weniger Fehler, sondern lösten die Aufgaben auch schneller. Die Effekte waren besonders ausgeprägt beim Subtrahieren. Dies ist insofern interessant, weil bei der Subtraktion das zahlenräumliche Denken besonders gefordert ist. In diesem Ergebnis zeigt sich deshalb, dass das Training die Entwicklung der Zahlenraumvorstellung erfolgreich zu unterstützen scheint. Nach 12 Wochen Training konnte dies auch direkt in entsprechenden Testaufgaben nachgewiesen werden. Die Kinder konnten Zahlen zu ihren analogen Positionen auf einem Zahlenstrahl mit viel grösserer Genauigkeit zuordnen. Derzeit wird *Calcularis* in einer umfangreichen, vom Deutschen Bildungsministerium geförderten Trainingsstudie in Deutschland und der Schweiz weiter auf seine Wirksamkeit geprüft und auch mit einem Kontrolltraining verglichen. Erste Ergebnisse zeigen auch hier bereits vielversprechende Effekte. Be-

fragungen der Kinder und Eltern zeigen im Übrigen auch, dass die Kinder gern und motiviert mit *Calcularis* spielen und üben. So bleibt zu erwarten, dass diese Art des Computerkonsums ausnahmsweise förderliche Effekte auf die Entwicklung entfalten möge.

Prof. Dr. Michael von Aster
DRK Kliniken Berlin Westend
Klinik für Kinder- und Jugend-
psychiatrie, Psychotherapie und
Psychosomatik
Spandauer Damm 130
14050 Berlin
m.aster@drk-kliniken-berlin.de



Tanja Käser
Department of Computer Science
Computer Graphics Laboratory
CAB G83.2
Universitätstrasse 6
8092 Zürich
kaesert@inf.ethz.ch



Dr. Karin Kucian
Zentrum für MR-Forschung
Universitäts-Kinderspital
Steinwiesstrasse 75
8032 Zurich
karin.kucian@kispi.uzh.ch



Prof. Dr. Markus Gross
Department of Computer Science
Computer Graphics Laboratory
CNB G109
Universitätstrasse 6
8092 Zürich
grossm@inf.ethz.ch



Literatur

- Käser, T. et al. (2011). Therapy Software for Enhancing Numerical Cognition. In J. Özyurt (et al.) (eds.), *Interdisciplinary Perspectives on Cognition, Education and the Brain. Hanse Studies, Vol. 7*. Oldenburg: BIS-Verlag.
- Käser, T. et al. (2012). Calcularis – A computer-based training program for enhancing numerical cognition. *Learning and Instruction*. (eingereicht).
- Kucian, K. et al. (2011). Mental Number Line Training in Children with Developmental Dyscalculia. *NeuroImage*, 57(3), 782–795.
- Spitzer, M. (2010). Generation Google. Wie verändern digitale Medien unsere Bildung, Moral und personale Identität? (Editorial). *Nervenheilkunde*, 29(11), 711–716.
- Türcke, C. (2012). *Hyperaktiv! Kritik der Aufmerksamkeitsdefizitkultur*. München: C. H. Beck.
- von Aster, M. G., & Shalev, R. (2007). Number development and developmental Dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49, 868–873.