

Thomas SCHMALFELDT, Zürich & Vincent ALEVEN, Pittsburgh

Individuelle Unterstützung beim Lösen von Zahlenmaueraufgaben mit Intelligent Tutoring Systems

Zahlenmauern im frühen Mathematikunterricht

Zahlenmauern haben sich in den deutschsprachigen Mathematiklehrmitteln der Primarstufe etabliert (Brandenberg et al., 2016; Wittmann & Müller, 2017b). Als reichhaltige Aufgaben ermöglichen sie einerseits das Trainieren von Fertigkeiten in Addition und Subtraktion, andererseits laden sie auch zum Explorieren und Finden von Mustern ein (Spiegel & Selter, 2003; Wittmann & Müller, 2017a). Durch systematisches Probieren können beispielsweise fehlende Zahlen gefunden werden, für die ansonsten Variablen erforderlich wären. Da die Werte auf den einzelnen Steinen zusammenhängen, können die Schüler*innen ihre Ergebnisse zu einem hohen Grad selbst korrigieren. Wenn ein Kind jedoch einen Rechenschritt nicht selbständig durchführen kann oder fortlaufend denselben Fehler macht, benötigt es eine adäquate Hilfestellung, die auf den bereits eingeschlagenen Lösungsweg eingeht und nicht nur die korrekte Zahl vorgibt. Eine Möglichkeit, die Lehrpersonen hierbei zu unterstützen, sind sogenannte Intelligent Tutoring Systems (ITS). In diesem Text wird mit dem Aufbau eines Glossars für die Formulierung von Erklärungen und Hilfestellungen zum Lösen von Zahlenmaueraufgaben der erste Schritt für die Entwicklung eines solchen ITS beschrieben.

Intelligent Tutoring Systems

ITS werden dem Themenreich der künstlichen Intelligenz (KI) zugeordnet. Im vorliegenden Projekt wird das Cognitive Tutor Authoring Tool verwendet (CTAT) (Aleven et al., 2016). Bei diesem ITS werden mittels eines kognitiven Modells die notwendigen Kompetenzen und Regeln zum Lösen von Aufgaben abgebildet. Dies ermöglicht es einerseits, passende Folgeaufgaben basierend auf den bereits erworbenen Kompetenzen auszuwählen. Andererseits können ITS – und dies unterscheidet sie vor allem von anderer Lernsoftware – die individuellen Lösungswege und Strategien der Kinder erkennen und bei den einzelnen Schritten entsprechende Hilfestellungen anbieten (VanLehn, 2006). Die Wirksamkeit von ITS hinsichtlich des Kompetenzaufbaus bei Lernenden wurde mehrfach belegt (Kulik & Fletcher, 2016). Die meisten Studien beziehen sich jedoch auf Stoffinhalte der beiden Sekundarstufen und des tertiären Bereichs. Für den Mathematikunterricht in den ersten beiden Schuljahren sind den Autoren noch keine Studien bekannt. Für die Entwicklung eines intelligenten Tutors mit CTAT kann dieser auf zwei verschiedene Arten programmiert werden. In beiden Fällen wird zunächst

eine Nutzeroberfläche gestaltet, die neben der Aufgabenstellung auch Felder für die Eingabe (in diesem Projekt die Steine der Zahlenmauer) enthält. Bei der Variante mit Example Tracing sind keine Programmierkenntnisse notwendig. Die einzelnen Schritte zum Lösen der Aufgabe werden beim Erstellen des Tutors (fortan steht der Begriff ‚Tutor‘ jeweils für einen intelligenten Tutor) direkt im Nutzerinterface eingegeben und so als Behavior Graph abgebildet (Aleven, McLaren, Sewall, & Koedinger, 2009). Mit diesem Graph können die verschiedenen Lösungsansätze und -varianten einer Aufgabenstellung durch einen Experten oder eine Expertin abgebildet und die entsprechenden Hilfestellungen, die für den Folgeschritt notwendig sind, eingegeben werden. Für die zweite Variante wird die KI-Programmiersprache Nools verwendet, um ein regelbasiertes Modell zu konstruieren, das die Kompetenzen repräsentiert. Dabei werden die Kompetenzen und Regeln so programmiert, dass beim Lösen der Aufgabe jeweils überprüft wird, ob für ein gewähltes Eingabefeld eine zum entsprechenden Zeitpunkt im Lösungsprozess geeignete Eingabe getätigt wird (Aleven, 2010). Die Programmierung mit Nools ist anspruchsvoller und zeitaufwändiger als das Example Tracing, sie ist aber auch wesentlich flexibler. Bei komplexen Aufgaben mit mehreren Lösungswegen können die Graphen sehr umfangreich und unübersichtlich werden, sodass in diesem Fall die Vorteile von Nools überwiegen.

Projektziele und Herausforderungen

Im gesamten Projekt wird das Ziel verfolgt, Kindern mithilfe von ITS beim frühen Mathematiklernen im Kontext der Zahlenmauern ein Unterstützungsangebot bereitzustellen, mit dem sie ihre eigenen Lösungsansätze verfolgen können und adäquate Rückmeldungen und Hilfestellungen erhalten. Diese Tutoren können gut ausgebildete Lehrpersonen nicht ersetzen, jedoch entlasten, sodass diese mehr Zeit für diejenigen Kinder aufwenden können, bei denen der Tutor keine geeignete Hilfe bietet. In dieser Projektphase werden Zahlenmauern mit drei Basissteinen betrachtet, die entweder durch Addition oder Subtraktion gelöst werden können. Der Fokus liegt hierbei auf den Hilfestellungen und den darin verwendeten Begriffen und Sprachbausteinen. Während Lehrpersonen im Unterricht spontan antworten müssen, kann bei ITS eine Formulierung vorab erarbeitet werden. Der Einsatz von ITS in den ersten Schuljahren birgt einige Herausforderungen. Da viele Kinder zu diesem Zeitpunkt nur ungenügend lesen können, dürfen die Hilfestellungen nicht in Textform ausgegeben werden, wie dies bisher bei Tutoren, die mit CTAT erstellt wurden, üblich war. Im Projekt werden daher Ansätze mit Sprachsynthese und Animationen verfolgt.

Ein Risiko beim Einsatz von ITS besteht darin, dass die Kinder das System ausnutzen und sich durch die Hilfestellungen klicken, ohne selbst eine

Denkleistung zu erbringen. Inwiefern dies zutrifft, muss im weiteren Projektverlauf untersucht werden.

Formulierung von Hilfestellungen

Die im Tutor verwendeten Hilfestellungen müssen sowohl fachlich korrekt wie auch für die Kinder gut verständlich sein. Dazu wurden Erklärungen von fünf Mathematikdidaktikexpert*innen videografiert. Eine der eingesetzten Zahlenmauern konnte nur mit Addition, eine nur mit Subtraktion und eine nur mit beiden Operationen gelöst werden. Die Erklärungen wurden transkribiert und analysiert. Dabei konnten zwei Cluster gefunden werden. Das erste umfasst konzeptionelle Hilfestellungen. Beispielsweise wurde erklärt, wie ein geeigneter Stein zu erkennen ist, dessen Zahl als nächstes ausgerechnet werden kann, oder wie entschieden werden kann, welche Operation passend ist. Das zweite Cluster umfasst Anweisungen dazu, wie man den Wert eines entsprechenden Steins berechnen kann. In den Videos wurde stellenweise mit dem Stift oder einem Finger auf einen Stein gezeigt. Zum aktuellen Zeitpunkt ist es noch nicht möglich, im Tutor bei einer Erklärung diejenigen Steine hervorzuheben, auf die sich eine entsprechende Hilfestellung bezieht. Es ist daher von Bedeutung, dass die Elemente der Zahlenmauer sprachlich eindeutig beschrieben werden können. Eine Verwendung unterschiedlicher Begriffe zeigt sich jedoch nicht nur in den analysierten Erklärungen, sondern auch in der Literatur (Brandenberg et al., 2016; Hengartner, Hirt, & Wälti, 2010; Spiegel & Selzer, 2003; Wittmann & Müller, 2017a). So geben die folgenden Begriffe jeweils dieselben Steine an (in Klammern die Begriffe, die zusätzlich in den Videos verwendet wurden):

- unterste Reihe, *Basissteine*, Grundsteine (unterste Reihe, die Steine unten)
 - oberster Stein, Zielstein, Spitzenstein, *Deckstein*, Prüfstein (letzter Stein)
- Auch bei den Zahlen herrscht eine Begriffsvielfalt. So wird in den Videos vom Wert eines Steins, der Zahl eines Steins oder der Zahl auf einem Stein gesprochen oder der Stein wird selbst als Zahl verwendet („Ich zähle die beiden Steine zusammen“). Ein analoges Bild zeigt sich bei den Operationen. So werden in den Videos für die Rechnung $3 + 7$ sinngemäß die Formulierungen „*Rechne 3 plus 7*“, „*Zähle 3 und 7 zusammen*“, „Addiere 3 und 7“ oder „Summiere 3 und 7“ herangezogen. In allen Videos werden die Bezeichnungen nicht einheitlich verwendet. Es ist daher zu erwarten, dass die Lehrpersonen im Unterricht jeweils auch Synonyme verwenden. Die Beispiele zeigen die Breite der verwendeten Sprache auf, die auch bei den anderen Inhalten zu erkennen war. Eine essenzielle Grundlage für die Entwicklung der Tutoren bildet daher ein Glossar mit den verwendeten Begriffen und

Sprachbausteinen. Die oben im Text kursiv angegebenen Begriffe und Bausteine wurden in dieses Glossar aufgenommen und in den bereits entwickelten Tutoren zu den Zahlenmauern verwendet.

Ausblick und Fazit

Die bereits eingangs erwähnte Sprachausgabe mit Sprachsynthese befindet sich derzeit in der Testphase. In CTAT ist es möglich, die Zahlen, die in den verschiedenen Zahlenmauern vorkommen, als Variablen in einen Hilfetext einzufügen, was mit künstlicher Sprachgenerierung ebenfalls umgesetzt werden kann. In einem weiteren Entwicklungsschritt werden die Gesten beim Vorzeigen des Lösungsweges mit einem Finger oder Stift durch Animationen (Zeiger, Hervorhebung), synchronisiert mit der gesprochenen Erklärung, technisch umgesetzt. Inhaltlich liegt das weitere Hauptaugenmerk auf der Entwicklung von Tutoren, die die Kinder bei offenen Aufgaben unterstützen (z. B. systematischem Probieren). Dies ermöglicht es, das Potential der Zahlenmauern weiter auszuschöpfen. Mit der Analyse der Erklärungen und dem Aufbau eines Glossars wurde dazu die Grundlage geschaffen.

Literatur

- Aleven, V. (2010). Rule-Based Cognitive Modeling for Intelligent Tutoring Systems. In J. Kacprzyk, R. Nkambou, J. Bourdeau, & R. Mizoguchi (Eds.), *Studies in Computational Intelligence*. (Vol. 308, pp. 33–62). Springer.
- Aleven, V., McLaren, B. M., Sewall, J. & Koedinger, K. R. (2009). A new paradigm for intelligent tutoring systems: Example-tracing tutors. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 19(2), 105–154.
- Aleven, V., McLaren, B., Sewall, J., van Velsen, M., Popescu, O., Demi, S., Ringenberg, M. & Koedinger, K. (2016). Example-Tracing Tutors: Intelligent Tutor Development for Non-programmers. *International Journal of AI in Education*, 26(1), 224–269.
- Brandenberg, M., Grünigen, S. von, Keller, B., Keller, R., Müller, B. N., Schärli, M. & Walser, M. (2016). *Mathematik 1 Primarstufe*. Lehrmittelverlag Zürich.
- Hengartner, E., Hirt, U. & Wälti, B. (2010). *Lernumgebungen für Rechenschwache bis Hochbegabte*. Klett und Balmer.
- Kulik, J. A. & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of Intelligent Tutoring Systems. *Review of Educational Research*, 86(1), 42–78.
- Spiegel, H. & Selter, C. (2003). *Kinder & Mathematik: Was Erwachsene wissen sollten. Wie Kinder lernen*. Kallmeyer.
- VanLehn, K. (2006). The behavior of tutoring systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 16(3), 227–265.
- Wittmann, E. C. & Müller, G. N. (2017a). *Handbuch produktiver Rechenübungen*. Klett.
- Wittmann, E. C. & Müller, G. N. (2017b). *Das Zahlenbuch 1*. Klett.