

Intelligent Tutoring Systems in der Ausbildung von Lehrpersonen und im Schulfeld

Thomas Schmalfeldt, Professorenstelle für Didaktik der Informatik, Zentrum Bildung und Digitaler Wandel, Fachkoordinator Informatik in der Ausbildung Sekundarstufe I, thomas.schmalfeldt@phzh.ch

Künstliche Intelligenz (KI) kann Lehrpersonen und Dozierende bei bestimmten Aufgaben entlasten, sodass sie mehr Zeit für die individuelle Beratung von Schüler:innen oder Studierenden haben. Eine Problematik beim «Machine Learning» (ML) besteht aber darin, dass das System vorwiegend lernt, wie die Mehrheit der Schüler:innen eine Aufgabe löst. Gerade bei leistungsschwachen Schüler:innen ist hingegen bekannt, dass sie Aufgaben nicht langsamer lösen als ihre leistungsstarken Pendanten. Vielmehr greifen sie auf andere, individuelle Ansätze zurück und es fällt ihnen schwer, fremde Lösungsansätze, wie diese beispielsweise von einem ML-Algorithmus vorgeschlagen werden, nachzuvollziehen.

In unseren Projekten haben wir uns daher für einen KI-Ansatz entschieden, der auf einem kognitiven Modell aufbaut und mit Hilfe von Knowledge Components (KCs) Denk- und Lernkonzepte für die Bearbeitung einer Aufgabe abbildet. Dieses kognitive Modell bildet die Basis für die Entwicklung von sogenannten «Intelligent Tutoring Systems» (ITSs), die sich dem Themenbereich «Artificial Intelligence in Education» zuordnen lassen und es erlauben, dass Lernende bei einer gegebenen Problemlösung ihren eigenen Lösungsweg verfolgen können und dabei adäquate, zielgerichtete Hilfestellungen bekommen.

Für die Entwicklung solcher ITSs stehen verschiedene Entwicklungsumgebungen zur Verfügung. An der PH Zürich wird das Cognitive Tutor Authoring Tool (CTAT) verwendet (Aleven et al. 2016). CTAT ermöglicht es einerseits, passende Folgeaufgaben basierend auf den bereits erworbenen Kompetenzen auszuwählen (‘Outer Loop’). Andererseits können ITSs – und dies unterscheidet sie von anderer Lernsoftware – die individuellen Lösungswege und Strategien der Kinder erkennen und bei den einzelnen Schritten entsprechende Hilfestellungen anbieten (‘Inner Loop’) (VanLehn 2006). Die Wirksamkeit von ITSs hinsichtlich des Kompetenzaufbaus bei Lernenden wurde mehrfach belegt (Kulik u. Fletcher 2016).

Die Entwicklung eines intelligenten Tutors mit CTAT kann auf zwei verschiedene Arten geschehen. Bei der ersten Variante mit Example Tracing sind keine Programmierkenntnisse notwendig. Die einzelnen Schritte zum Lösen der Aufgabe werden beim Erstellen des Tutors direkt im Nutzerinterface eingegeben und so als Behavior Graph abgebildet (Aleven et al. 2009). 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).

Aktuell werden ITSs an der PH Zürich in drei Projekten untersucht und eingesetzt.

1. Ein erstes Projekt richtet sich an die Studierenden der PH Zürich. Bei Modulevaluationen wurde festgestellt, dass viel Studierende Schwierigkeiten mit Stellenwertsystemen haben. Aktuell wird ein Tutor entwickelt, der helfen soll, das konzeptionelle und prozedurale Wissen zu Stellenwertsystemen aufzubauen. Der Tutor soll in der Ausbildung von Primar- und Sekundarlehrpersonen eingesetzt werden. Dieses Projekt wird in Kooperation mit der Universität Hildesheim und der PH Freiburg i. Br. durchgeführt und wird zu einem grossen Teil durch den Forschungsfond der PH Zürich finanziert.
2. In einem zweiten Projekt wird ein Tutor für den Eingangsunterricht in der Mathematik entwickelt. Die im deutschsprachigen Raum weit verbreiteten Zahlenmauern werden in ein ITS implementiert (Schmalfeldt u. Aleven 2022). Da im ITS passende Rückmeldungen und Hilfestellungen gegeben werden können, bekommt die Sprachlichkeit eine entscheidende Rolle. Hierzu werden unter anderem die Erklärungen

und Lösungswege der Studierenden analysiert. Aktuell wird auch der Einsatz des Apprentice Learner (AL) Frameworks (Weitekamp, Harpstead u. Koedinger, Ken R. 2020) vorbereitet. Dabei handelt sich um einen Machine Learning Ansatz, der ein zugrunde liegendes kognitives Modell nutzt, um ITSs zu erstellen. Das AL Framework kann zum Aufbau von Erklärkompetenzen vonseiten der Studierenden eingesetzt werden. Dieses Projekt wird in Kooperation mit der Carnegie Mellon University (CMU) in Pittsburgh durchgeführt und durch die bestehenden Forschungspensen abgegolten. Drittmittelinwerbungen sind ausstehend.

3. In einem dritten Projekt wird ein ITS zum Einstieg in das Programmieren mit einer blockbasierten Sprache entwickelt. Herausfordernd sind hier die Schnittstelle zum Tutor sowie die Menge an Varianten, wie eine konkrete Programmieraufgabe umgesetzt werden kann. Der Tutor soll einerseits in der Ausbildung von Lehrpersonen eingesetzt werden als auch in der Volksschule. Dieses Projekt wird ebenfalls in Kooperation mit der CMU durchgeführt und durch die bestehenden Forschungspensen abgegolten. Drittmittelinwerbungen sind ausstehend.

Alle drei Projekte befinden sich noch in der Phase, in der die Tutoren entwickelt werden. Wir trafen dabei auf folgende Herausforderungen:

- In den mathematikbezogenen Projekten ist eine der Hauptschwierigkeiten die uneinheitliche Verwendung der Sprache und der Darstellungen in den verschiedenen Lehrmitteln. Die Begrifflichkeiten sind entscheidend bei den Erklärungen und bei der Definition der Knowledge Components.
- Bei den Stellenwertsystemen werden im Tutor verschiedene ikonische Darstellungen verwendet, wie sie auch in den Lehrmitteln der Zielstufe vorkommen. Hierfür mussten zusätzliche Interfaceelemente entwickelt werden, die für die Erstellung der Tutoren auch mit CTAT kommunizieren können und das natürliche enaktive Handeln realitätsnah emulieren.
- Aufgaben in Zahlenmauern (wie auch in anderen Gebieten) löst man oft mit systematischem Probieren. Die Herausforderung bei einem Tutor besteht darin, den Zeitpunkt zu erkennen, ab wann ein Weg ungeeignet ist und eine adäquate Rückmeldung notwendig ist.

Mit den drei Projekten möchten wir an der PH Zürich einerseits eine Expertise im Bereich der Entwicklung von ITSs aufbauen. Andererseits möchten wir auch ITSs entwickeln, die in der Ausbildung von Lehrpersonen eingesetzt werden können und so die Qualität der Ausbildung erhöhen.

Aleven, Vincent. 2010. «Rule-Based Cognitive Modeling for Intelligent Tutoring Systems.». In *Advances in Intelligent Tutoring Systems*. Bd. 308, hrsg. v.

Janusz Kacprzyk, Roger Nkambou, Jacqueline Bourdeau und Riichiro Mizoguchi, 33–62. *Studies in Computational Intelligence*. Berlin: Springer.

Aleven, Vincent, Bruce M. McLaren, Jonathan Sewall und Kenneth R. Koedinger. 2009. «A new paradigm for intelligent tutoring systems: Example-tracing tutors.» *International Journal of Artificial Intelligence in Education* 19 (2): 105–54.

Aleven, Vincent, Bruce McLaren, Jonathan Sewall, Martin van Velsen, Octav Popescu, Sandra Demi, Michael Ringenberg und Kenneth Koedinger. 2016.

«Example-Tracing Tutors: Intelligent Tutor Development for Non-programmers.» *Int J Artif Intell Educ* 26 (1): 224–69.

Kulik, James und J. Fletcher. 2016. «Effectiveness of Intelligent Tutoring Systems.» *Review of Educational Research* 86 (1): 42–78.

Schmalefeld, Thomas und Vincent Aleven. 2022. «Individuelle Unterstützung beim Lösen von Zahlenmaueraufgaben mit Intelligent Tutoring Systems - Zahlenmauern im frühen Mathematikunterricht.» In *Beiträge zum Mathematikunterricht 2022*. WTM-Verlag. Im Druck.

VanLehn, Kurt. 2006. «The behavior of tutoring systems.» *International Journal of Artificial Intelligence in Education* 16 (3): 227–65.

Weitekamp, Daniel, Erik Harpstead und Ken R. Koedinger. 2020. «An Interaction Design for Machine Teaching to Develop AI Tutors.» In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, hrsg. v. Regina Bernhaupt, Florian Mueller, David Verweij, Josh Andres, Joanna McGrenere, Andy Cockburn, Ignacio Avellino et al., 1–11. New York, NY, USA: ACM.