

Tim LUTZ, Landau

## **Automatisiertes Feedback in Echtzeit für die Arbeit mit physischen Materialien und ikonischen Darstellungen unter Verwendung von Machine Learning und AR**

Dieser Beitrag stellt eine Augmented Reality Machine Learning Entwicklungsumgebung vor. Handlungen und Interaktionen mit physischen Materialien erhalten Rückmeldung in Form eines digitalen Feedbacks in Echtzeit. Auch ikonische Darstellungen finden Eingang in das Repertoire digitaler Anwendungen.

Im Bereich Mathematikdidaktik kommen immer ausgereifere Methoden zur automatisierten Auswertung von Aufgaben zur Anwendung. Betrachten wir zunächst die Software STACK (Sangwin 2013) als Beispiel neuerer Errungenschaften im Bereich der automatisierten Auswertung algebraischer (symbolischer) Eingaben, um vergleichend zu referenzieren:

**1. Offene Antwortformate:** STACK setzt primär auf offene Antwortformate (leere Textfelder). **2. Unmittelbares Feedback:** STACK ermöglicht ein unmittelbares Feedback, welches fachdidaktisch bekannte typische Fehler in einer Aufgabenbearbeitung erkennt und darauf reagieren kann.

Wie schafft es STACK diese beiden Aspekte umzusetzen? Zu 1. Algebraische Eingaben werden über das CAS System Maxima algebraisch interpretiert. STACK kann somit Eingaben von Aufgabenbearbeitern mit mathematischen Objekten vergleichen und in Beziehung setzen. Zu 2. Voreingegebene logische Feedbackbäume, die abhängig von z.B. CAS Vergleichen betreten und verzweigt werden, sind Teil der Aufgabenprogrammierung und ermöglichen damit adaptives Feedback zur Laufzeit.

Einen Einblick auf eine Erweiterung von STACK um interaktive laufzeitrandomisierte Graphiken gibt Lutz (2019).

### **Offene Antwortformate und unmittelbares Feedback beim Umgang mit physischen Materialien**

Die beschriebenen Möglichkeiten bei STACK sollen auf die Arbeit mit physischen Materialien übertragen werden. Bislang besteht die Schwierigkeit Abläufe und Ergebnisse selbstständiger Arbeit mit physischen Materialien automatisiert zu erfassen und für die Schüler in Form eines unmittelbaren fachdidaktisch fundierten Feedbacks auszugeben.

Eine Antwort findet sich in einer Verknüpfung aus Machine Learning und Augmented Reality. Machine Learning eröffnet die Möglichkeit händisches Material in Lage und Position zu erkennen, ohne dass dafür Material optisch in Form von markerbasierten Systemen verändert werden muss.

Alle im Folgenden vorgestellten Anwendungen werden demnächst über eine Datenbank zur kostenfreien Nutzung zur Verfügung gestellt.

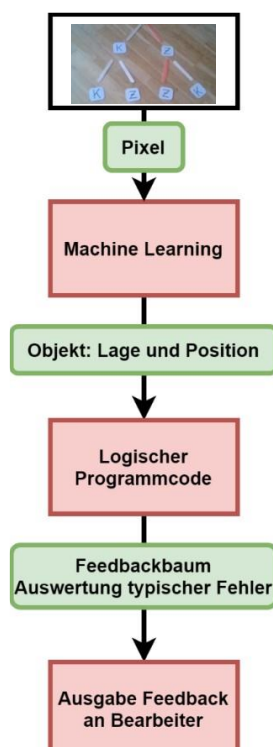
<https://tim-lutz.de/MLARDatenbank>

Um die Funktionen nutzen zu können, muss der Bearbeiter lediglich über ein fotofähiges Endgerät verfügen (Handy, iPad, etc.). Je nach Aufgabenstellung erfolgt die Aufgabenabgabe durch den Bearbeiter durch ein Einzelbild seines Ergebnisses oder durch eine Live-Filmung.

### Vom Foto zum Feedback

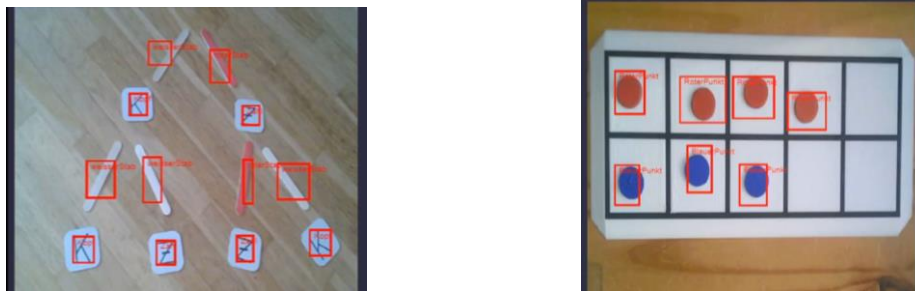
Wie wird nun aus dem vom Benutzer eben erstellten Foto die Ausgabe eines automatisierten Feedbacks generiert?

Die Fotoinformation der realen Situation, also die Pixel, werden an die Machine-Learning Software Komponente weitergeleitet. Sämtliche Berechnungen werden direkt auf dem Gerät des Bearbeiters durchgeführt, sodass der Datenschutz speziell bei den Fotos grundsätzlich gewahrt ist. Die Lage und Position der einzelnen Objekte werden erfasst und an den logischen Programmcode weitergegeben. Der Aufgabenersteller hat als logischen Programmcode einen Feedbackbaum vordefiniert. Ein solcher Feedbackbaum kann beispielsweise erkennen, ob die Aufgabe richtig oder falsch gelöst wurde. Der logische Programmcode erkennt typische Fehler und leitet eine adaptive Rückmeldung ein. Zusätzlich wird die Einschätzung des logischen Programmcodes an die Feedbackfunktion des übergeordneten Lernpfades weitergereicht und bestimmt somit die weitere Art der Ausgabe des Feedbacks an den Bearbeiter. Das Feedback kann sowohl auditiv als auch visuell computergeneriert werden.



**Abb. 2:** Funktionsschema: Vom Bild zum Feedback an den Bearbeiter

## Anwendungsbeispiele der Machine Learning AR Erkennung



**Abb. 2:** AR Erkennung mit eingeblendetem Erkennungsraster:  
**a** Baumdiagramm **b** Wende-Plättchen

### Adaptive Rückmeldung am Beispiel Baumdiagramm (Abb. 2a)

Die AR Erkennung beim Baumdiagramm ermöglicht verschiedene Beobachtungen. Erkannt wird bei den Stäben: Die Anzahl der Stäbe, die Lage der Stäbe, die gewählte Farbseite, die Zuordnung der Stäbe zu den Plättchen. Bei den Plättchen wird erkannt: Die Anzahl der Plättchen, die Lage der Plättchen, die Zuordnung zu den Stäben mit Kopplung an die entsprechende Farbseite, die Erkennung Kopf oder Zahl.

Mit der Gesamtheit und dem Zusammenspiel dieser Erkennungsfunktionen kann die Software einordnen, ob das Baumdiagramm valide ist, d.h. ob die Regeln eines Baumdiagramms eingehalten werden, insbesondere die Anzahl und Lage der Stäbe, sowie die Verwendung von Kopf und Zahl.

### Adaptive Rückmeldung am Beispiel Wende-Plättchen (Abb. 2b)

Die AR Erkennung bei Tätigkeiten mit Wende-Plättchen erfasst die Anzahl der Plättchen, die gewählte Farbseite, die gelegte Anzahl der Plättchen pro Feld. Dabei ist die Gestaltung des Rahmens frei wählbar.

Eine Liste sinnvoller Anwendungsbereiche physischer und ikonischer Plättchen-Darstellungen lässt sich aus dem Überblickswerk von Käpnick und Benölken (2020) ableiten. Das physische Material „Plättchen“ wird dort meist enaktiv, über die ikonische Darstellung hin zur symbolischen Darstellung gedacht.

Käpnick und Benölken machen in ihren die Praxis beschreibenden Parabeln deutlich, wie wichtig es gerade für leistungsschwächere Schüler ist, auch immer wieder die Möglichkeit zu haben, einen realen „Blick zurück“ werfen zu können.

- Bereich: „Zählen“ (insbesondere im Bereich bis 20)
- Umgang mit dem 10er Feld; Probleme und Chancen
- Darstellung unstrukturierter und strukturierter Mengen
- Operativer Begriffserwerb (z.B. gerade / ungerade Anzahlen)
- Darstellung von Einmaleins-Folgen.
- Entfaltung eines kardinalen Zahlenverständnisses
- Verwendung von Stellenwerttafeln

Alle genannten Anwendungsbereiche (in physischer, aber auch ikonischer Form) können mithilfe einer einzigen „Plättchen und N-Felder Rahmen“-Erkennung umgesetzt werden. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen im logischen Programmcode, also z.B. darin, welches Plättchen, welcher Farbe an welchem (relativen) Ort (z.B. in Bezug auf andere Elemente) mit welcher Bedeutung versehen ist.

Die Einbindung von Augmented Reality (mittels Machine Learning) unterstützten Lerneinheiten mit Feedbackausgabe in Echtzeit soll Schüler bei selbstständigem Arbeiten unterstützen, nicht nur bei asynchronen Lehrangeboten.

Die Ebenen enaktiv-ikonisch-symbolisch lassen sich durch die Kombination von symbolisch arbeitenden Systemen wie STACK mit den hier vorgestellten Möglichkeiten von AR fließend feedbackgestützt ineinander überführen.

Vorausschauendes Design bei der Materialentwicklung ermöglicht den Einsatz in gleich mehreren Unterrichtseinheiten. Im gezeigten Beispiel wurden alle Gegenstände mit dem 3D Drucker bicolor erstellt.

### **Ausblick ML Texte**

Über die Arbeit mit physischen Materialien und die Möglichkeit der Einbindung ikonischer Darstellungen hinaus wird im nächsten Schritt die Möglichkeit zur automatisierten Verarbeitung mathematischer Schülertexte mit ML umgesetzt. Dazu werden im Moment Daten aus Untersuchungen von Fahse (2017) reanalysiert.

Alle vorgestellten Bausteine werden demnächst schrittweise in einer Datenbank frei zur Verfügung gestellt. Dies gilt ebenso für die 3D Druckvorlagen. Eine stetige Erweiterung dieser kostenfreien Datenbank ist angedacht.

<https://tim-lutz.de/MLDatenbank>

### **Literatur**

Fahse, C. (2017). Issues of a Quasi-Longitudinal Study on Different Types of Argumentation in the Context of Division by Zero. CERME Group Argumentation.

Gerhäuser, M., Miller, C.; Valentin, B., Wassermann, A. & Wilfahrt, P. (2011). JSXGraph. Dynamic Mathematics Running on (nearly) Every Device. In: The Electronic Journal of Mathematics and Technology 5 (1), S. 26–36.

Käpnick, F. & Benölken, R. (2020). Mathematiklernen in der Grundschule.

Ladel, S., Knopf, J., Weinberger, A. (Hg.) (2018). Digitalisierung und Bildung.

Lutz, T. (2019). GeoGebra and STACK. Creating tasks with randomized interactive objects with the GeoGebraSTACK\_HelperTool. In: Contributions to the 1st International STACK conference.

Sangwin, C. (2013). Computer aided assessment of mathematics.