

Automatische Textanalyse von Schülerantworten auf offene Physikfragen

Fabian Kieser und Peter Wulff

Motivation:

Durch den Einsatz von Digitalen Medien in schulischen Kontexten werden in Zukunft komplex strukturierte Daten von Lernenden anfallen, die mit herkömmlichen statistischen Methoden nicht ausreichend zu analysieren sind. Dieser digitale Wandel bietet eine Möglichkeit für die Physikdidaktik sich sowohl mit neuen statistischen Methoden zu befassen als auch deren Potentiale und Grenzen auszuloten. Aussichtsreich sind die Verfahren des maschinellen Lernens (ML), ein Teilbereich der Künstlichen-Intelligenz-Forschung, bei denen Algorithmen selbständig Muster aus Datenmengen erkennen. Besonderes Potential für die physikdidaktische Forschung bieten die Methoden der modernen Textverarbeitung (Natural Language Processing, kurz: NLP), die ebenfalls auf Techniken des maschinellen Lernens zurückgreifen, um natürliche Sprache computerbasiert zu analysieren.

Ziele: Gegenstand des Forschungsvorhabens sind textbasierte Antworten von Schülerinnen und Schülern auf offene physikalische Problemlöseaufgaben. Physikalisches Problemlösen ist ein komplexer kognitiver Prozess, bei dem offene Antwortformate dazu beitragen können, die physikalischen Problemlösekompetenzen der Lernenden ausführlicher zu erfassen, als beispielsweise geschlossene Multiple-Choice-Items. Über den physikalischen Kontext hinaus können Problemlösekompetenzen in verschiedenen Alltagsbereichen angewendet werden [1]. Aus lerntheoretischer Sicht ist es besonders wirksam, wenn Lernende Lernprodukte selbst kreieren, um Problemlösekompetenzen zu fördern. Allerdings ist die Analyse offener, sog. „constructed-responses“ Antwortformate mit herkömmlichen Methoden nur eingeschränkt möglich. Neue potientiale bieten hier NLP und ML, da diese die Komplexität dieser Antwortformate berücksichtigen. Computerbasierte Auswerteverfahren können ein wertvolles Diagnosetool sein, um die komplexe Datenstruktur von Schülerantworten systematisch zu analysieren und somit zu helfen umfassender die Problemlösekompetenz zu diagnostizieren. Diese Diagnosetools können verwendet werden, um die „Aufgabenkultur“ in naturwissenschaftlichen Kontexten zu öffnen.

Forschungsfragen:

Was sind aussichtsreiche Methoden zur Analyse von Lernprodukten in Textform?

Auf welche Weise können computerbasierte Analyseverfahren Problemlösekompetenz erfassen?

Methoden:

Bag-of-words

Einer der ersten Schritte von Analyseverfahren in der computerbasierten Textverarbeitung ist das Umwandeln von Textpassagen in Vektoren, um sie danach mit Maschine-Learning-Methoden zu analysieren. Im einfachsten Fall werden dabei mit sogenannten Bag-of-words Modellen alle Wörter eines Dokumentes aufgelistet. Anschließend wird die Häufigkeit der Wörter, die in bestimmten Textabschnitten vorkommen, notiert. Dieses Vorgehen kann in einer Matrix, der sogenannten Term-Dokument-Matrix, festgehalten werden (siehe Abb.1). Ausgehend von dieser Matrix können verschiedene Verfahren aus dem maschinellen Lernen, wie zum Beispiel Clustering oder Klassifikation, angewendet werden.

Mit dem Bag-of-words Modell wird weder die Bedeutung noch die Reihenfolge der Wörter berücksichtigt. Dies ist besonders bei Synonymen von Bedeutung, die durch oben beschriebene Modelle nicht verfeinert betrachtet werden.

Trotz der Einfachheit dieser Modelle lassen sich gerade bei Clustering-Verfahren gute Ergebnisse erzielen. Im didaktischen Kontext konnte Sherin (2013) verschiedene Schülervorstellungen zur Entstehung der Jahreszeiten identifizieren [2]. Möglichkeiten für die Analyse von Schülerantworten zu Problemlöseaufgaben bietet der Ansatz des „Idea-Mining“, bei dem durch Analyse von Worthäufigkeiten neue Ideen aus Lösungsvorschlägen zu Problembeschreibungen extrahiert werden [3].

Satz 1: „Tim mag Physik und besonders die Elektrodynamik.“
Satz 2: „Tina mag Physik und hauptsächlich die Relativitätstheorie.“

↓ Term-Dokument-Matrix

Satz	besonders	die	elektrodynamik	hauptsächlich	klaus	mag	physik	relativitätstheorie	tim	und
1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1
2	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1

Abb. 1: Term-Dokument-Matrix

```
Ladung + Bewegung = ?
Out[5]: [('aufgeschaukelt', 0.6407488584518433),
         ('Haengers', 0.6162605881690979),
         ('Aufprallenergie', 0.6055864691734314),
         ('Oel_ausgelaufen', 0.6019180417060852),
Physik + Sterne = ?
Out[26]: [('Astronomie', 0.6718562841415405),
          ('Physik_Chemie', 0.6584092974662781),
          ('Astrophysik', 0.6560604572296143),
Starke Wechselwirkung + Farbladung – elektrische Ladung = ?
Out[58]: [('Grundkraefte', 0.6784241199493408),
          ('Erhaltungssatze', 0.661250114440918),
          ('elektroschwachen Wechselwirkung', 0.6551557779312134),
          ('elektromagnetische Wechselwirkung', 0.6501615047454834),
          ('Gluonen', 0.6472440361976624),
          ('Hadronen', 0.6465184092521667),
          ('Bezugssystemen', 0.6410962343215942),
```

Abb. 2: Physikalisches Vokabular im word2vec Modell

word2vec

Im Bag-of-Words Modell gibt es kein Maß für die Ähnlichkeit zwischen einzelnen Wörtern. Ihre Bedeutung wird nicht berücksichtigt. Um dieser Schwäche entgegenzutreten, werden neuronale Netze trainiert, mit dem Ziel, aus fortlaufenden Texten Vektoren zu finden, die die Bedeutung der einzelnen Worte berücksichtigen [4].

Die resultierenden Vektoren haben beachtliche Merkmale:

- Vektoren von Wörtern mit ähnlicher Bedeutung haben einen geringen Abstand im resultierenden Vektorraum des word2vec Modells.
- Unterschiede in der Bedeutung von verschiedenen Wörtern können ebenfalls in den Vektoren erfasst werden. Es lassen sich Gleichungen der folgenden Form aufstellen:

Königin – Frau + Mann = König

- Syntaktische Ähnlichkeiten (Steigerungsformen oder Zeitformen) werden ebenfalls erfasst.

Da noch kein word2vec Modell spezifisch für die physikalische Sprache trainiert wurde, muss überprüft werden, inwieweit die durch word2vec generierten Vektoren die Semantik von physikalischem Vokabular abbilden (vgl. Abb. 2).

Question-Answering

Interessantes didaktisches Potential bieten neben dem Bag-of-Words auch Question-Answering-Modelle. Sie werden anhand von Texten und Frage-Antwort-Paaren trainiert, um aus vorgegebenen Texten, Antworten auf bestimmte Fragen zu finden. Für die deutsche Sprache steht unter anderem das Modell: „xlm-roberta-large-squad“ des Berliner Startups deepset zur Verfügung. Füttert man das Modell mit physikalischen Wikipedia-Kapiteln, so kann das Modell Fragen zu physikalischen Kontexten beantworten. Beispielhaft sind die Potentiale und Limitationen des Verfahrens in Abbildung 3 dargestellt.

Frage	Antwort
Was ist ein Elektron?	kugelförmig. Die Atomhülle oder Elektronhülle
Was ist ein Atom?	Sie bestehen aus einem Atomkern und einer Atomhülle.
Wer war Isaac Newton?	Der Verfasser der Philosophiae Naturalis Principia Mathematica,
Wie groß ist ein Atom?	Aufgrund ihrer extrem geringen Größe
Wer erfand die Glühbirne?	Edison
Wer erschuf die Relativitätstheorie?	Albert Einstein
Ist die Sonne oder der Mond schwerer?	Max Waldmeier
Ist das Proton oder das Elektron schwerer?	Ernst Rutherford,

Abb. 3: Question-Answering im physikalischen Kontext

Ausblick:

Für das kommende Sommersemester ist eine Studie mit Studierenden der Vorlesung „Physikalische und physikdidaktische Grundlagen der E-Lehre“ der Pädagogischen Hochschule in Heidelberg geplant. Beispielhaft ist eine textbasierte Aufgabe zum physikalischen Problemlösen in Abbildung 4 zu sehen. Diese Aufgabe hat den Vorteil, dass sie in Alltagssprache formuliert ist und somit Lernende auf verschiedenen Niveaus Texte zur Aufgabenstellung produzieren können. Anhand von Aufgaben dieses Typs wird untersucht, inwieweit sich oben beschriebene Methoden eignen, um textbasierte Schülerantworten zu analysieren. Untergeordnet ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Lassen sich verschiedene Expertisenlevel der Problemlösenden identifizieren?
- Lassen sich verschiedene physikalische Prinzipien, die zu Lösungsstrategien herangezogen werden, erkennen? (**Idea-Mining**)
- Welche Fragen an Texte von Lernenden können computerbasiert ausgewertet werden? (**Question-Answering**)

efrage Suche nach Fragen, Themen und Nutzern... Frage stellen

Wartet der Strom hinter der Steckdose?

Mir ist schon öfters aufgefallen, dass wenn ich ein Gerät in die Steckdose stecke, es sofort funktioniert. Weshalb ist das so? Wartet der Strom hinter der Steckdose und ist deshalb sofort da? Oder ist der so schnell vom Kraftwerk da?

Danke für die Aufklärung!

Abb. 4 Beispielaufgabe zum textbasierten physikalischen Problemlösen
Quelle: <https://www.gutefrage.net/frage/wartet-der-strom-hinter-der-steckdose>
Zuletzt abgerufen am 10.03.2022

Literatur:

- [1] Peter Reinhold, Gunter Lind, Gunnar Friegle (1999): Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* Jg. 5, Heft 1, S. 41-62.
- [2] Sherin, Bruce (2013): A Computational Study of Commonsense Science: An Exploration in the Automated Analysis of Clinical Interview Data. In: *Journal of the Learning Sciences* 22 (4), S. 600-638. DOI: 10.1080/10508406.2013.836654.
- [3] Thorleuchter, Dirk; van Poel, Dirk den; Prinzie, Anita (2010): Mining ideas from textual information. In: *Expert Systems with Applications* 37 (10), S. 7182-7188. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.04.013.
- [4] Mikolov, Tomas; Chen, Kai; Corrado, Greg; Dean, Jeffrey (2013): Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/1301.3781v3>.

Kontakt:

Fabian Kieser
Pädagogische Hochschule Heidelberg
Telefon 06221-477270
kieser@ph-heidelberg.de

