

Kognitive Verarbeitung physikalischer Diagramme

Lars-Jochen Thoms, Karin Siferlinger, Raimund Girwidz

Ludwig-Maximilians-Universität München, Theresienstraße 37, 80333 München
l.thoms@lmu.de, karin.siferlinger@campus.lmu.de, girwidz@physik.uni-muenchen.de

Kurzfassung

Diagramme, insbesondere Kurven- und Liniendiagramme, finden Anwendung bei der physikalischen Wissensvermittlung. Jedoch erfordern Erstellung und Verarbeitung von Diagrammen fachspezifische Fertigkeiten, die erst erlernt werden müssen. Neben domänenspezifischem Vorwissen helfen verfügbare Schemata bei der Informationsgewinnung aus Diagrammen. Mittels Eye-Tracker wurden die Blickpfade von Novizen und Experten bei der Arbeit mit Diagrammen aufgezeichnet. Die Kontrastierung von Erfolgreichen und Nichterfolgreichen zeigt deutliche Unterschiede hinsichtlich der Arbeits- und Vorgehensweisen und der Beschreibung der dargestellten Sachverhalte. Der Erfolg der Art der Beschreibung hängt stark vom jeweiligen Sachinhalt ab.

1. Einleitung

Die kognitive Verarbeitung von Diagrammen lässt sich allgemein in vier aufeinanderfolgende Phasen unterteilen (Ballstaedt, 1997):

- Präattentive Verarbeitung
- Attentive Verarbeitung
- Elaborative Verarbeitung
- Rekonstruktive Verarbeitung

Diesen Verarbeitungsschritten entsprechende vier Phasen finden sich ebenfalls bei der kognitiven Verarbeitung von Texten und Abbildern. Hier wurde gezielt die Phase der attentiven Verarbeitung untersucht. Eine aufmerksame Verarbeitung erfordert immer eine Aufgabenstellung, Frage oder Suche, unter der ein Bild verarbeitet wird.

Vorwissen, Schemata

Die Auswertung eines Diagramms ist abhängig von domänenspezifischem Vorwissen, erlernten Darstellungskonventionen und verfügbaren Schemata. Mit Hilfe eines Schemas wird der jeweilige Diagrammtyp erkannt, die Informationssuche gesteuert und die visuelle in quantitative oder qualitative Information überführt.

Sakkadische Augenbewegungen

Die Informationsentnahme erfolgt sequenziell in einer Abfolge von Fixationen und Augensprüngen (Sakkaden). Dabei ist zwischen automatischer und willentlicher Steuerung zu unterscheiden. Bestimmte optische Reize führen zu automatisch gesteuerten Sakkaden und Fixationen (Popout-Effekt) und überlagern willentlich gesteuerte, aufgaben- oder interessenorientierte Blickbewegungen.

Drei Ebenen der Informationsverarbeitung

Wainer (1992) unterscheidet drei Ebenen der Informationsverarbeitung die durch drei Frageebenen initiiert werden:

- Elementare Fragen erfordern Datenextraktion wie das Ablesen von Einzelwerten.
- Fragen auf einer mittleren Ebene beziehen Vergleiche von Einzelwerten oder Teilen der Daten mit ein.
- Fragen auf höchster Ebene erfordern ein tieferes Verständnis der dargestellten Daten und beziehen Vergleiche zwischen Trends und Gruppen mit ein.

Diese drei Ebenen müssen nicht zwangsweise sukzessiv aufeinander aufbauen. Vielmehr kann eine Fragestellung mehrere Ebenen berühren.

2. Methode

Zur Untersuchung der kognitiven Verarbeitung physikalischer Diagramme wurden 70 Personen bei der Arbeit mit Diagrammen von einem Eye-Tracker beobachtet. Dies waren größtenteils Studenten im sechsten Fachsemester eines Lehramtsstudiengangs, wobei ca. die Hälfte Physik als Unterrichtsfach belegt hatte (Alter: $M=23,44$; $SD=2,89$; $Min=15$; $Max=36$; Geschlecht: 34 männlich, 36 weiblich; Fachsemester: $M=6,25$; $SD=2,11$; $N=68$).

Unmittelbar vor der Testdurchführung wurden mit einem Kurzfragebogen biografische Daten, Vorerfahrungen zum Umgang mit Diagrammen und inhaltliches Vorwissen erfasst.

Der Aufbau des Testmaterials orientiert sich an den drei Stufen der Informationsverarbeitung. In drei Sets zu verschiedenen Sachinhalten (Widerstände, Gasgesetze, Spektrometrie) werden jeweils die drei Stufen nacheinander gefordert.

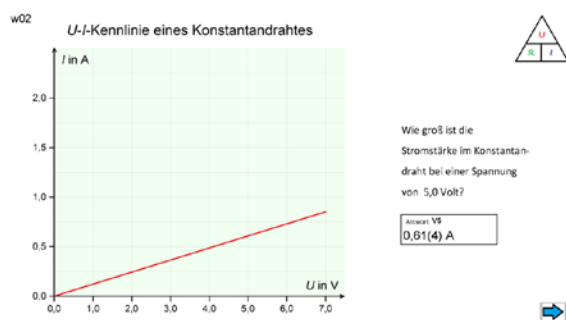


Abb.1: Aufgabenbeispiel mit Musterlösung.

Um Übungseffekte während der Bearbeitung zu kontrollieren, wurde die Abfolge der Sachinhalte variiert. Die Gruppe WGS behandelte die Themen in der Reihenfolge Widerstände, Gasgesetze, Spektrometrie und die Gruppe GWS in der Reihenfolge Gasgesetze, Widerstände, Spektrometrie. Beide Gruppen waren gleich groß ($n=35$).

Unterschiedliche Sachinhalte bringen Unterschiede in den Diagrammen mit sich hinsichtlich der Kurvenform, der dargestellten Größen und deren Einheiten, der Skalierung der Achsen, der Dezimal- und Ganzzahlstellen sowie der Anzahl an Hilfslinien und Zwischenskalenteilen.

Die Aufgaben des Testmaterials verlangten Antworten im offenen Format durch Tastatureingabe. Im Anforderungsbereich I sollten Werte abgelesen werden. Die Antworten wurden als richtig gewertet, wenn der Zahlenwert in einem vordefinierten Toleranzbereich lag. In den Anforderungsbereichen II und III lagen die Antworten in Textform vor und wurden im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) bewertet (siehe Abschnitt 3.4).

Die Aufzeichnungen des Eye-Trackers ermöglichten tiefere gehende Analysen hinsichtlich der Abfolge von Blickpfaden, Fixationen und Sakkaden. Somit lassen sich Ursachen für das Auftreten von Fehlern erkennen.

Zuletzt wurde eine Kontrastierung von Erfolgreichen und Nichterfolgreichen durchgeführt. Die Kontrastierung sollte für die drei Anforderungsbereiche getrennt erfolgen. Die Einteilung in Erfolgreiche und Nichterfolgreiche sollte anhand des Mittelwertes des Antwortratings der jeweiligen Aufgabenbereiche erfolgen. Die Skalenreliabilität dieser Kriterien war jedoch unbefriedigend. Dies lag einerseits daran, dass einige Aufgaben zwei Anforderungsbereiche berühren und andererseits daran, dass die Antwortqualität stark vom Sachinhalt moderiert wird. Eine explorative Faktorenanalyse bestätigte diese Vermutung, sodass die Bewertung des Bearbeitungserfolgs für die Aufgabenbereiche II und III getrennt für die verschiedenen Sachinhalte durchgeführt wurde. Kontrastiert wurde jeweils das erfolgreichste Drittel mit dem am wenigsten erfolgreichen Drittel. Zuvor musste jedoch die Stichprobe auf $N=50$ reduziert werden, da etwaige Defekte der Videoaufzeichnungen hier zu einem Ausschluss geführt haben.

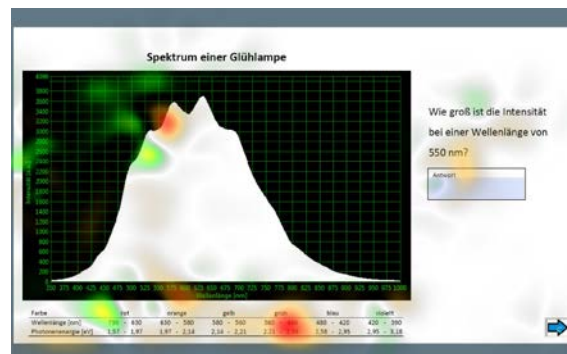


Abb.2: Aufgabenbeispiel aus Themenbereich Spektroskopie, Anforderungsbereich I. Kontrastierung der Fixationen: Erfolgreiche (grün) gegen Nichterfolgreiche (rot).

3. Ergebnisse

3.1. Reihenfolgenunterschiede

Im Vergleich der Gruppen GWS und WGS zeigte sich nur bei einer Aufgabe ein Unterschied (siehe Abb. 1). Beim einfachen Ablesen eines Ordinatenwertes zu einem gegebenen Abszissenwert einer Widerstandskennlinie konnten nur 80 % der Gruppe WGS ein richtiges Ergebnis angeben, in der Gruppe GWS dagegen 97 %. In der Gruppe WGS war diese Aufgabe die erste zu bearbeitende Aufgabe überhaupt. In der korrespondierenden ersten Aufgabe des Themas Gasgesetze dagegen zeigten sich keine Unterschiede (89 % bzw. 91 %), obwohl oder gerade weil die Aufgabenschwierigkeit hier höher war, da zu einem Ordinatenwert der zugehörige Abszissenwert abgelesen werden musste.

3.2. Typische Fehler

Aus den Aufzeichnungen des Eye-Trackers lassen sich typische Fehlerquellen erkennen:

- Achsenbeschriftungen werden nicht beachtet. Dies kann dazu führen, dass schlicht die falsche Achse abgelesen wird.
- Die Aufgabenstellung wird nicht aufmerksam gelesen.
- Deutlich erkennbar ist ein *Aufsuchen nach Zahlenwert*. Das heißt, dass eine Zahlenangabe aus der Aufgabenstellungen auf einer Achse gesucht wird, um dann den korrespondierenden Wert der anderen Achse abzulesen. Wenn beide Achsen den gleichen Wertebereich abdecken, kann es dazu kommen, dass die falsche Achse abgelesen wird. Interessanterweise kam es vor, dass die Achsenbeschriftungen nachträglich kontrolliert wurden, der falsche Zahlenwert jedoch beibehalten wurde.
- Häufig wurde die Achsenkalibrierung nicht beachtet oder ignoriert und es fand eine Orientierung an Zwischenskalenteilen und Hilfslinien statt, sodass ein falscher Wert angenommen wurde.

Es ist zu beachten, dass starke intraindividuelle Differenzen auftreten und Fehler nicht durchgängig begangen werden. Das Auftreten von Fehlern ist individuell stark sachinhaltsabhängig.

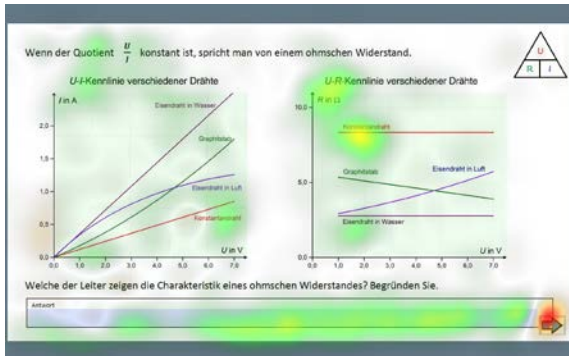


Abb.3: Aufgabenbeispiel aus Themenbereich Widerstände, Anforderungsbereich II. Kontrastierung der Fixationen: Erfolgreiche (grün) gegen Nichterfolgreiche (rot).

3.3. Kontrastierung

Im Vergleich der Fixationen der Erfolgreichen mit denen der Nichterfolgreichen zeigt sich deutlich, dass die Erfolgreichen häufiger, länger und genauer die Achsen betrachten und die Nichterfolgreichen auf aufgabenirrelevante Bereiche schauen (Abb. 2).

Bei einer Aufgabe zum Auswerten von einzelnen Widerstandskennlinien haben die Erfolgreichen ein zweites Diagramm (U - R -Kennlinie) zurate gezogen. Diese Zusatzinformation wurde von den Nichterfolgreichen nicht aufgenommen (Abb. 3).

Wenn überprüft werden sollte, ob zwei Diagramme den gleichen Sachverhalt darstellen, gingen Erfolgreiche deutlich strategischer und zielgerichteter vor. Üblicherweise wurden Wertpaarvergleiche durchgeführt. Zunächst an den Enden eines Kurvenverlaufs und dann in der Mitte eines Kurvenverlaufs. Die Nichterfolgreichen blickten die meiste Zeit auf die Achsenbeschriftungen (Abb. 4).

3.4. Qualitative Inhaltsanalyse der Antworten

Eine induktive Kategorienbildung aus den gegebenen Antworten lieferte vier Hauptkategorien: Die erste Hauptkategorie betrifft die Art der *Beschreibung* des gegebenen Sachverhalts, die zweite Hauptkategorie beschreibt einen *Wissenstransfer*, die dritte Hauptkategorie betrifft die Art der Herausstellung von *Zusammenhängen* und die vierte Hauptkategorie bezieht sich direkt auf *inhaltliche Aspekte* der Aufgabe und gibt somit einen Indikator für den Bearbeitungserfolg. Da die vierte Hauptkategorie vom Inhalt der jeweiligen Aufgabe abhängt, sind nur die ersten drei Kategorien für alle Aufgaben gleich.

Die Art der *Beschreibung* des gegebenen Sachverhalts kann *formal-mathematisch* (Signalwörter: „linear“, „Steigung“, „quadratisch“, „exponentiell“, „logarithmisch“, „Wertepaar“), aber auch *geometrisch* (Signalwörter: „Gerade“, „horizontal“, „vertikal“, „parallel“, „senkrecht“, „Winkelhalbierende“) erfolgen.

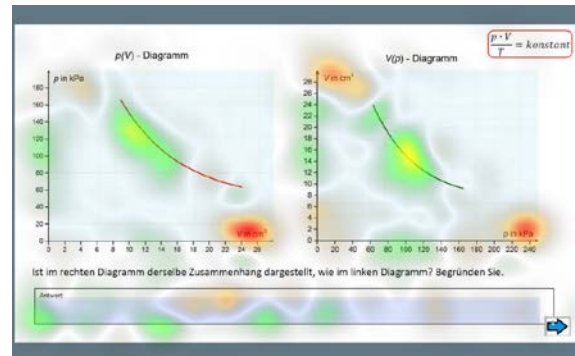


Abb.4: Aufgabenbeispiel aus Themenbereich Gasgesetze, Anforderungsbereich III. Kontrastierung der Fixationen: Erfolgreiche (grün) gegen Nichterfolgreiche (rot).

Gelegentlich findet ein *Wissenstransfer* statt. Hier kann eine physikalische Information *aus dem Diagramm heraus* abgeleitet werden. Genauso kann aber auch (vermeintliches) physikalisches Wissen *in ein Diagramm hinein* gesteckt werden. Dies führt zuweilen zu einer Missdeutung des gegebenen Sachverhalts.

Zusammenhänge in den gegebenen Sachverhalten können in einfacher Form als *Je-desto-Beziehungen* beschrieben werden, als *Gleichungen* angegeben werden oder es werden *funktionale Abhängigkeiten* herausgestellt.

Die Analyse der Blickbewegungen in Kombination mit der qualitativen Inhaltsanalyse der Antworten zeigte deutliche Unterschiede hinsichtlich der Arbeits- und Vorgehensweisen.

4. Zusammenfassung

In der Analyse der Blickpfade zeigten sich deutliche Unterschiede bei der Orientierung im Diagramm und beim Ablesen von Werten. Hinsichtlich der Arbeits- und Vorgehensweisen zeigten sich deutliche Unterschiede in der Beschreibung des gegebenen Sachverhalts, beim Transfer von Wissen aus dem Diagramm oder in das Diagramm, bei der Herausstellung von Zusammenhängen und bei der Beschreibung inhaltlicher Aspekte. Es lässt sich festhalten, dass der Erfolg der Art der Beschreibung stark vom Inhalt abhängt.

5. Literatur

- [1] Ballstaedt, S.-P. (1997). Wissensvermittlung: Die Gestaltung von Lernmaterial. Weinheim: Beltz Psychologie-Verl.-Union.
- [2] Wainer, H. (1992). Understanding Graphs and Tables. In: Educational Researcher, 21 (1992) 1, S. 14-23.
- [3] Mayring, P. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (11. Ausg.). Weinheim: Beltz.