

Paula Fehlinger¹
Yultuz Omarbakiyeva¹
Ingrid Krumphals²
Bianca Watzka¹

¹OVGU Magdeburg
²PH Steiermark

Blickbewegungen beim Identifizieren von Graphen in p - V -Diagrammen

Einleitung

Druck-Volumen-Diagramme spielen in der Physik eine wichtige Rolle für das Verständnis der thermodynamischen Zustandsänderungen eines Gases. Es ist jedoch wenig erforscht, wie SchülerInnen vorgehen, um thermodynamische Zustandsänderungen in p - V -Diagrammen zu identifizieren, und ob sich dies vom rein mathematischen Kontext unterscheidet. Die vorliegende Studie untersucht die visuelle Aufmerksamkeit von SchülerInnen ($n=20$) beim Identifizieren von Graphen in p - V -Diagrammen aus dem Kontext der Thermodynamik sowie vergleichbarer Diagramme aus dem Kontext Mathematik mittels Eye-Tracking und begleitenden Interviews. Die aus der Studie gewonnenen Erkenntnisse geben Aufschluss über die Schwierigkeiten von SchülerInnen. So können in Zukunft Materialien entwickelt werden, die Lernende bei der Interpretation von p - V -Diagrammen unterstützen.

Theoretischer Hintergrund

In der Literatur werden viele Lernschwierigkeiten bei der Analyse von thermodynamischen Zustandsänderungen in einem p - V -Diagramm beschrieben. Eine Schwierigkeit besteht beispielsweise darin, eine adiabatische Zustandsänderung zu analysieren (Saepuzaman, Sriyansyah & Karim, 2019). Laut Saepuzaman et al. (2019) liegt dies daran, dass die spezifische Charakteristik dieser Zustandsänderung nicht direkt im p - V -Diagramm dargestellt wird. Thermodynamische Zustandsänderungen, deren spezifische Eigenschaften direkt aus dem p - V -Diagramm hervorgehen, wie dies bei isobaren und isochoren Zustandsänderungen der Fall ist, werden leichter wahrgenommen (Saepuzaman et al., 2019). In einer Studie von Adila, Sutopo und Wartono (2018) wurde festgestellt, dass SchülerInnen bei einer Kurvenform dazu neigen, die Kurve entweder als isotherme oder adiabatische Zustandsänderung zu betrachten (Adila et al., 2018).

Lernschwierigkeiten beim Erkennen von thermodynamischen Zustandsänderungen können unter anderem auf einen mangelnden Wissenstransfer vom Kontext der Mathematik zum Kontext der Thermodynamik zurückgeführt werden. SchülerInnen entscheiden auf der Grundlage ihrer Wahrnehmung und der Situation, welches Wissen verwendet wird (Hammer, Elby, Scherr & Redish, 2005). Dies wurde insbesondere für lineare Funktionsgraphen untersucht. Ziel einer Studie von Becker, Knippertz, Kuhn, Kuntz und Ruzika (2022) war es, zu überprüfen, ob sich das Blickverhalten bei der Interpretation linearer Funktionsgraphen im Kontext von Mathematik und Kinematik unterscheidet. Aus dieser Studie geht hervor, dass in einem mathematischen Kontext die visuelle Aufmerksamkeit stärker auf den Funktionsgraphen gerichtet ist (Becker et al., 2022). Im Gegensatz dazu werden in einem kinematischen Kontext die Achsenbereiche des Diagramms, in dem der Funktionsgraph dargestellt wird, länger fixiert (Becker et al., 2022). Bisher gibt es keine Studien, die die visuelle Aufmerksamkeit beim Umgang mit konstanten Geraden, Graphen von konstanten, indirekt proportionalen Funktionen und Potenzfunktionen im Kontext von Mathematik und Thermodynamik vergleichen.

Methodik

Stichprobe. Die Untersuchung wurde im Mai 2023 mit SchülerInnen der 8. Schulstufe aus Gymnasien in Sachsen-Anhalt durchgeführt. Die Stichprobe bestand aus 20 SchülerInnen, wobei 7 Mädchen und 13 Jungen teilnahmen. Laut Fachlehrplan und verantwortlichen Lehrkräften waren diese SchülerInnen nicht mit thermodynamischen Zustandsänderungen vertraut, jedoch mit konstanten und indirekt proportionalen Funktionen.

Studiendesign und Ablauf. Die Studie basierte auf einem eingebetteten Design. Die dominierende Methode war die Erhebung von Blickdaten mittels Eye-Tracker. Diese Daten wurden mit qualitativen Daten aus einem Interview kombiniert. Die Untersuchung begann mit einer theoretischen Einführung, gefolgt von einem Test zum Verständnis von Funktionsgraphen, bei dem die entsprechenden Blickdaten aufgezeichnet wurden, und einem anschließenden Interview (siehe Abb. 1).

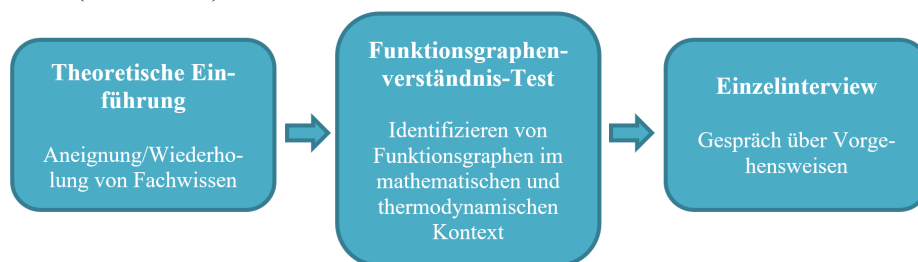


Abb. 1: Ablauf der empirischen Untersuchung

Instruktions- und Erhebungsmaterialien. Zu Beginn wurden der allgemeine Funktionsbegriff und die Definitionen einer konstanten und einer indirekt proportionalen Funktion anhand eines Theorieblattes wiederholt, welches die SchülerInnen eigenständig durcharbeiteten. Außerdem wurden thermodynamische Zustandsänderungen mit ihren charakteristischen Eigenschaften eingeführt. Die Funktionsgraphen bzw. die thermodynamischen Zustandsänderungen wurden nicht in den entsprechenden Diagrammen dargestellt.

Das Testinstrument zum Verständnis von Funktionsgraphen bestand aus 24 Items. Diese waren als Multiple-Choice-Aufgaben konzipiert, die als Antwortmöglichkeiten jeweils eine konstante Gerade und drei weitere Funktionsgraphen enthielten. Die Aufgabe bestand darin, den zugehörigen Funktionsgraphen bzw. die thermodynamische Zustandsänderung mit Hilfe eines Fachbegriffs zu identifizieren. Um die visuelle Aufmerksamkeit in beiden Kontexten und den Transfer vom bekannten zum unbekanntem Kontext zu untersuchen, wurden in Mathematik und Thermodynamik ähnliche Items verwendet. Ähnlich bedeutet hier, dass die jeweils dargestellten kartesischen Koordinatensysteme bzw. p - V -Diagramme die gleichen Oberflächenmerkmale aufwiesen. In der Mathematik wurden kartesische Koordinatensysteme mit den typischen Achsenbeschriftungen x und y verwendet. In der Thermodynamik wurde dagegen das p - V -Diagramm verwendet, das die entsprechenden thermodynamischen Zustandsänderungen für begrenzte Druck- und Volumenwerte darstellte.

Im Interview wurden unter anderem Fragen zum Vorwissen gestellt. Im thermodynamischen Kontext sollte z.B. anhand der Formulierung einer thermodynamischen Zustandsänderung in eigenen Worten festgestellt werden, ob die Thematik von den SchülerInnen generell verstanden wurde. Zusätzlich wurden Fragen zur Bearbeitung der Multiple-Choice-Fragen anhand der beobachtbaren Blickpfade gestellt.

Ergebnisse

Beim Identifizieren eines Graphen einer Potenzfunktion wurde der Graph der Potenzfunktion im mathematischen Kontext im Mittel länger fixiert (siehe Abb. 2). Dagegen wurden die anderen Funktionsgraphen im thermodynamischen Kontext im Mittel länger fixiert. Weiterhin ist in Abbildung 2 zu erkennen, dass die jeweiligen Achsen im thermodynamischen Kontext im Mittel länger fixiert wurden. Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests konnte festgestellt werden, dass im thermodynamischen Kontext die meisten Achsen und Achsenbeschriftungen der p - V -Diagramme signifikant länger fixiert wurden als im mathematischen Kontext. Besonders häufig wurde in beiden Kontexten der Verlauf des Graphen einer Potenzfunktion zur Identifikation herangezogen. Aus den Interviewdaten geht hervor, dass auf die Steigung des Funktionsgraphen geachtet wurde. Es wurde zudem deutlich, dass es den SchülerInnen in beiden Kontexten besonders schwer fiel, den Graphen einer Potenzfunktion vom Graphen einer indirekt proportionalen Funktion zu unterscheiden.

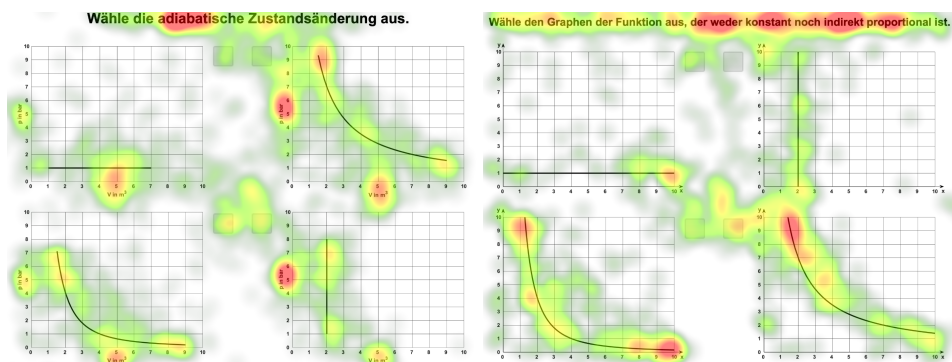


Abb. 2: Darstellung der Heatmaps als Dichteverteilung der Fixationsdauer kumuliert über die jeweiligen Bearbeitungszeiträume beim Identifizieren einer adiabatischen Zustandsänderung (links) und des Graphen einer Potenzfunktion (rechts) ($n=20$) (roter Bereich- Maximum der Fixationsdauer; grüner Bereich- Minimum der Fixationsdauer)

Die Ergebnisse des Wilcoxon-Tests zeigen, dass bei der Identifikation eines konstanten Funktionsgraphen die Ordinaten der p - V -Diagramme, die die isochore und adiabatische Zustandsänderung zeigen, signifikant länger fixiert wurden als die Ordinaten der kartesischen Koordinatensysteme, die die konstante Gerade und die Potenzfunktion zeigen. Aus den Interviewdaten geht hervor, dass dies auf die Eigenschaft der isobaren Zustandsänderung zurückzuführen ist.

Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die Vorgehensweisen im thermodynamischen Kontext von denen im mathematischen Kontext unterscheiden. Insbesondere hängt die Identifikation eines Graphen einer Potenzfunktion im thermodynamischen Kontext in besonderem Maße von den jeweils dargestellten Achsen ab.

Trotz der methodischen Einschränkungen bilden die Ergebnisse eine erste Grundlage für die Entwicklung adaptiver Lernsysteme zum Thema Zustandsänderungen in der Thermodynamik. Sie stellen einen Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen zur visuellen Aufmerksamkeit bei der Identifikation thermodynamischer Zustandsänderungen dar.

Literatur

- Adila, A. S. D., Sutopo & Wartono (2018). Students' reasoning in analyzing temperature from PV diagram representing unfamiliar thermodynamics process. *Journal of Physics Conference*, 1097(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1097/1/01201>
- Becker, S., Knippertz, L., Kuhn, J., Kuntz, L., & Ruzika, S. (2022). Blickdatenanalyse bei der Interpretation linearer Graphen im mathematischen und physikalischen Kontext. In J. Roth, M. Baum, K. Eilerts, G. Hornung & T. Trefzger (Hrsg.), *Die Zukunft des MINT-Lernens—Band 1: Perspektiven auf (digitalen) MINT-Unterricht und Lehrkräftebildung* (S. 181-192). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-66131-4>
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2005). Resources, framing, and transfer. *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective*, 89.
- Saepuzaman, D., Sriyansyah, S. P., & Karim, S. (2019). Unpacking Preservice Physics Teachers' Understanding of the PVT Diagram and the Associated Mathematics. *Journal of Physics Conference* 1204(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1204/1/012032>