

Paula Fehlinger¹
Sebastian Becker-Genschow²
Bianca Watzka^{1,3}

¹Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
²Universität zu Köln
³RWTH Aachen University

Analyse von Strategien zur Identifikation isothermer Zustandsänderungen

Einleitung

Druck-Volumen-Diagramme (p - V -Diagramme) sind zentral für das physikalische Verständnis thermodynamischer Zustandsänderungen. Adiabatische Zustandsänderungen sind jedoch nur schwer von isothermen Zustandsänderungen zu unterscheiden, was bei Lernenden immer wieder zu Schwierigkeiten führt (Adila, Sutopo & Wartono, 2018; Saepuzaman, Sriyansyah & Karim, 2019). In der vorliegenden Studie werden die Strategien von SchülerInnen ($n = 80$) bei der Unterscheidung dieser beiden Zustandsänderungen in p - V -Diagrammen untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse beleuchten die Herausforderungen, mit denen SchülerInnen konfrontiert sind, und dienen als Grundlage zur Entwicklung unterstützender Lernmaterialien für den Umgang mit thermodynamischen Zustandsänderungen in p - V -Diagrammen.

Theoretischer Hintergrund

In bestehenden Studien wird häufig auf Lernschwierigkeiten hingewiesen, die bei der Interpretation von thermodynamischen Zustandsänderungen in p - V -Diagrammen auftreten. Eine der Herausforderungen besteht darin, adiabatische Zustandsänderungen korrekt zu erkennen und zu analysieren (Saepuzaman et al., 2019). Nach den Erkenntnissen von Saepuzaman et al. (2019) liegt dies daran, dass die charakteristischen Merkmale einer adiabatischen Zustandsänderung nicht unmittelbar im p - V -Diagramm ersichtlich sind. In einer Untersuchung von Adila et al. (2018) zeigte sich zudem, dass SchülerInnen eine Kurve in einem p - V -Diagramm häufig entweder als isotherm oder adiabatisch bezeichnen (Adila et al., 2018).

Lehrkräfte sind sich oft nicht bewusst, welche Strategien oder Denkprozesse ihre SchülerInnen bei der Aufgabenlösung anwenden, und neigen dazu, deren Fähigkeiten zu überschätzen (Ostermann, Leuders & Nückles, 2017). Diese Expertenblindheit (Nathan & Petrosino, 2003) zeigt, wie schwer es für ExpertInnen ist, die Perspektive von Anfängern nachzuvollziehen. Daher kann es hilfreich sein, Bearbeitungsstrategien sichtbar zu machen. Blickdaten liefern Einblicke in die kognitiven Prozesse bei verschiedenen Strategien. Durch das Erkennen von typischen Blickmustern können gezielt adaptive Hilfen entwickelt werden, um Lernende besser zu unterstützen und Missverständnisse frühzeitig zu erkennen.

Methodik

Stichprobe. Die Untersuchung wurde mit 80 SchülerInnen der 10. Schulstufe aus Gymnasien in Sachsen-Anhalt durchgeführt (Durchschnittsalter: 15,47 Jahre, $SD = 1,66$). Laut Lehrplan und Aussagen der Lehrkräfte waren die TeilnehmerInnen mit isothermen Zustandsänderungen und indirekt proportionalen Funktionen vertraut.

Studiendesign und Ablauf. Die Untersuchung begann mit einer Wiederholung thermodynamischer Zustandsänderungen, gefolgt von einem Test zum Verständnis von

Funktionsgraphen mit Blickdatenerfassung (ET, stationärer Eye-Tracker Tobii Pro Fusion) und einem anschließenden Interview (siehe Abb. 1).

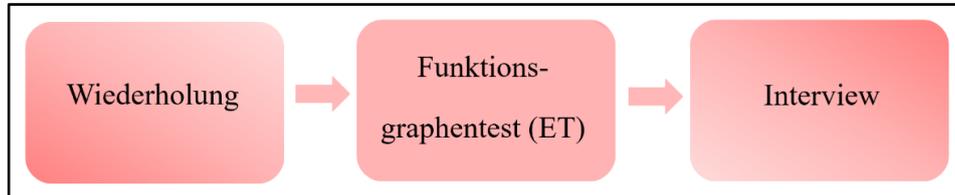


Abb. 1: Ablauf der empirischen Untersuchung

Instruktions- und Erhebungsmaterialien. Zu Beginn reaktivierten die SchülerInnen ihr Wissen über thermodynamische Zustandsänderungen, indem sie ein Wiederholungsblatt zu diesem Thema eigenständig durcharbeiteten.

Das Testinstrument zum Verständnis von Funktionsgraphen bestand aus 3 Items (Cronbachs Alpha = 0,75). Diese waren als Multiple-Choice-Aufgaben konzipiert, die jeweils eine isotherme und eine adiabatische Zustandsänderung als Antwortmöglichkeiten enthielten. Die Aufgabe bestand darin, die isotherme Zustandsänderung zu identifizieren. Dabei sollten sie ihr Blickverhalten möglichst genau darstellen, so dass ein Außenstehender anhand der Blickpfade erkennen kann, wie sie vorgegangen sind. Zu diesem Zweck wurden ihnen zu Beginn der Untersuchung ihre eigenen Blickverläufe von einer anderen Aufgabe gezeigt, damit sie wussten, wie Blickverläufe aussehen und wie sie das Blickverhalten rekonstruieren. Im Interview erläuterten die Lernenden ihre Vorgehensweisen, um detaillierte Einblicke in ihre Bearbeitungsstrategien zu erhalten und die Blickdaten zu validieren. Zur Unterstützung wurden ihnen zur Erinnerung die Blickpfade ihrer Bearbeitungen gezeigt.

Auswertung. Anhand der Blickdaten wurde eine Clusteranalyse und ein Schnittmengenvergleich zur Kategorisierung der Bearbeitungsstrategien durchgeführt. Für jede Strategie wurden Aussagen aus den Interviews herangezogen und die Sakkadenrichtungen mithilfe von Kerndichteschätzungen (KDS) detailliert analysiert.

Ergebnisse

Bei der Identifikation der isothermen Zustandsänderungen wurden durch die Clusteranalyse zwei Hauptstrategien hervorgehoben: der Fokus auf Wertepaare und der Fokus auf den Funktionsgraphen.

Beim Ansatz des „Fokus auf Wertepaare“ zeigt sich ein Wechsel zwischen Punkten auf dem Funktionsgraphen und den Achsen (siehe Abb. 2, links oben). Aus den Interviewdaten geht hervor, dass die Lernenden zwei Zustände der Zustandsänderung analysieren, indem sie die Druck- und Volumenwerte miteinander vergleichen. Sie überprüfen, ob der Druck p_1 im ersten Zustand dem Volumen V_2 im zweiten Zustand entspricht und umgekehrt, ob der Druck p_2 im zweiten Zustand dem Volumen V_1 im ersten Zustand entspricht. Die Blickbewegungen verlaufen dabei nahezu in horizontaler und vertikaler Richtung (siehe Abb. 2, Polardiagramm links).

Die Strategie „Fokus auf den Funktionsgraphen“ legt hingegen den Schwerpunkt auf die graphische Darstellung isothermer Zustandsänderungen im p - V -Diagramm (siehe Abb. 2, rechts oben). Laut den Interviewdaten analysieren die Lernenden insbesondere den Verlauf und die Position der Funktion, um die charakteristischen Merkmale der isothermen

Zustandsänderung zu erkennen und zu interpretieren. Hierbei verlaufen die Sakkadenrichtungen diagonal (siehe Abb. 2, Polardiagramm rechts).

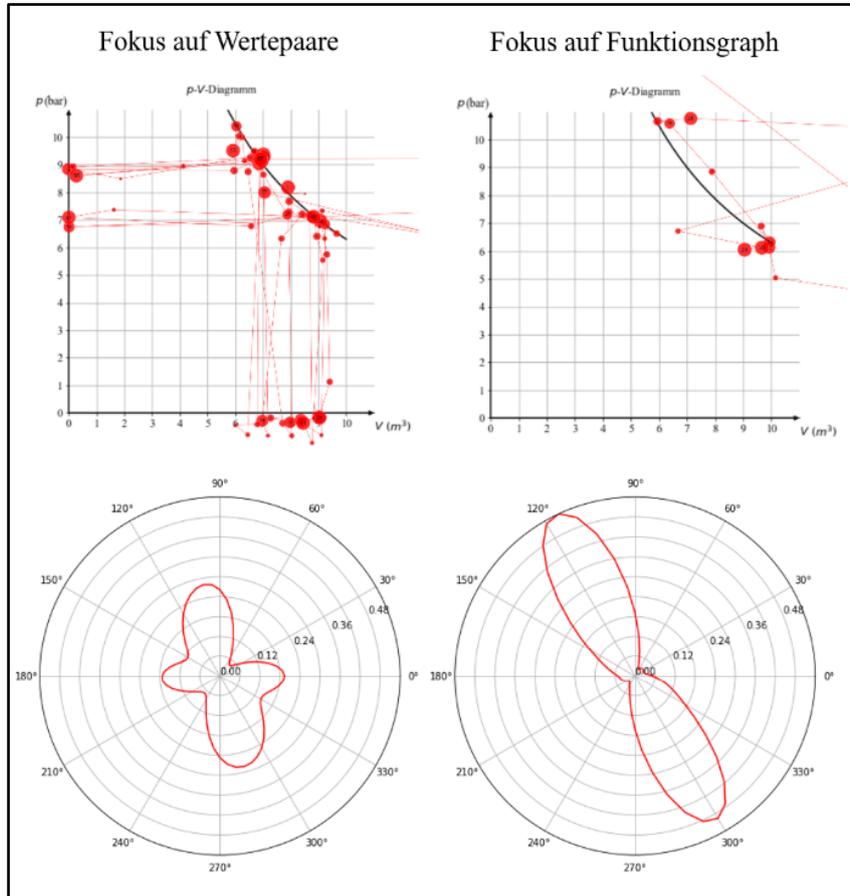


Abb. 2: Exemplarische Blickpfade der Bearbeitungsstrategien Fokus auf Wertepaare (links) und Fokus auf Funktionsgraphen (rechts). Die unteren Abbildungen zeigen jeweils die Kerndichteschätzungen (KDS) der Sakkadenrichtungen für die jeweiligen Bearbeitungsstrategien.

Diskussion

Die Untersuchung von Adila et al. (2018) zeigte, dass SchülerInnen eine Kurve in einem p - V -Diagramm oft entweder als isotherm oder adiatisch bezeichnen. Diese Verwechslung spiegelt sich in den Bearbeitungsstrategien wider. Ein Fokus auf den Funktionsgraphen ist oft unzureichend, da ähnliche Kurvenverläufe und die Konzentration auf die Lage des Graphen zu fehlerhaften Interpretationen führen können. Die Strategie „Fokus auf Wertepaare“ könnte Missverständnisse verringern, ist jedoch nicht intuitiv für alle Lernenden, besonders ohne ausreichende Unterstützung bei der Diagramminterpretation. Die Expertenblindheit (Nathan & Petrosino, 2003) verdeutlicht die Notwendigkeit, Lernprozesse transparent zu machen. Blickdaten können spezifische Blickmuster und angewandte Strategien aufdecken, wodurch

Lehrkräfte gezielte Unterstützung entwickeln und den Umgang mit Funktionsgraphen in physikalischen Kontexten gezielt fördern können.

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/10.1088/1742-6596/1097/1/012012>
- Nathan, M. J., & Petrosino, A. (2003). Expert blind spot among preservice teachers. *American Educational Research Journal*, 40(4), 905–928. <https://doi.org/10.3102/00028312040004905>
- Ostermann, A., Leuders, T., & Nückles, M. (2017). Improving the judgment of task difficulties: prospective teachers' diagnostic competence in the area of functions and graphs. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 21, 579-605. <https://doi.org/10.1007/s10857-017-9369-z>
- 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>