

Viktoria Katrin Helms¹
Larissa Hahn¹
Pascal Klein¹

¹Universität Göttingen

Blickverhalten im Umgang mit Diagrammen zur Ausbreitung mechanischer Wellenpulse

Das Themengebiet der Mechanik ist reichhaltig an Diagrammen, die Raum- und Zeitinformationen bewegter Objekte darstellen. Speziell in der Wellenphysik tritt dabei die Herausforderung auf, Ausbreitungen in Raum *und* Zeit diagrammatisch zugänglich zu machen. Ein typischer Umgang mit diesem Problem besteht darin, eine (eindimensionale) Welle mit Auslenkung $u(x, t)$ zu einem festen Zeitpunkt t_0 in einem $u(x, t_0)$ -Diagramm zu betrachten. Bisherige empirische Studien berichten von studentischen Schwierigkeiten, die zeitliche Entwicklung eines solchen Wellenpulses in einem derartigen Diagramm zu evaluieren. Die vorgestellte Studie schließt an diese Forschungsrichtung an und präsentiert erste Analyseergebnisse von Blickdaten aus einer qualitativen Fallstudie mit $N = 12$ Physikstudierenden bei der Beurteilung der Geschwindigkeit in einzelnen Punkten auf dem Wellenpuls. Im Vergleich zwischen korrekt und inkorrekt antwortenden Studierenden zeigen sich visuelle Verhaltensweisen, die mit typischen Studierendenschwierigkeiten assoziiert werden können und Einblicke in diagrammspezifische Strategien ermöglichen.

Theoretischer Hintergrund

Die visuelle Darstellungsform als Diagramm ist zentral für das Lernen und Lehren mechanischer Inhalte (Poluakan, 2019). Eine typische Darstellungsform in der Wellenphysik ist dabei das $u(x, t_0)$ -Diagramm eines eindimensionalen Wellenpulses, das die Auslenkung einzelner Schwinger zum Zeitpunkt t_0 visualisiert. In der physikalischen Anwendung ist typischerweise die zeitliche Entwicklung des Wellenpulses und damit die Geschwindigkeit einzelner Schwinger, dargestellt als einzelne Punkte auf dem Puls, von Interesse. In vorangegangenen Arbeiten zeigten Lernende Schwierigkeiten damit, zwischen der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle und der transversalen Geschwindigkeit der Materie zu unterscheiden (Sadler et al., 1999). Darüber hinaus stellten Rangkuti und Karam (2022) fest, dass Studierende das Profil $u(x, t_0)$ oftmals als Bewegungstrajektorie deuteten, so als ob die einzelnen Punkte sich entlang des Graphen bewegen würden. Dies wird von den Autoren der Studie als *rollercoaster erraneous reasoning* bezeichnet und stimmt mit der Vorstellung von einem Wagen auf einer Bahn, wie Hopf und Wilhelm (2018) sie beschreiben, überein. Da die visuelle Informationsentnahme bei Aufgaben diesen Typs zentral ist, wird in der vorliegenden Studie Eye-Tracking genutzt. Diese Methode wurde bereits in einer Vielzahl von Arbeiten verwendet, um Einblicke in den Umgang mit Diagrammen und die zugrundeliegenden kognitiven Prozesse zu erhalten (Hahn & Klein, 2022). Klein et al. (2021) nutzten diese beispielsweise, um anhand der Bewegungsrichtung des Blicks, d. h. der Sakkadenwinkel, visuelle Problemlösestrategien und Verhaltensweisen bei der darstellungsspezifischen Evaluation eines Vektorfelddiagramms zu identifizieren und zu charakterisieren. Auch jenseits von Vektorfeldern erwies sich Eye-Tracking als wertvolle Methode zur Identifikation von Blickmustern und Lernschwierigkeiten beim Umgang mit disziplinspezifischen Darstellungsformen (Langendorf et al., 2022; Rosengrant et al., 2009).

Forschungsfrage

Wie unterscheidet sich das Blickverhalten korrekt und inkorrekt antwortender Studierender bei der Beurteilung der Geschwindigkeit in einzelnen Punkten eines eindimensionalen Wellenpulses in einem $u(x, t_0)$ -Diagramm?

Material und Methoden

Die Stichprobe besteht aus 12 Physikstudierenden (B.Sc., M.Sc. und B.A. Lehramt) an der Universität Göttingen. Die Analyse konzentriert sich auf ein $u(x, t_0)$ -Diagramm eines sich vertikal ausbreitenden Wellenpulses, das den Studierenden gezeigt wurde (Abb. 1). Die Studierenden sollten das Vorzeichen der Bewegungsrichtung in den Punkten 1 bis 4 auf dem Graphen bestimmen. Eine expertenhafte Lösung dieser Aufgabe beruht dabei auf der Imagination des Wellenprofils zu einem späteren Zeitpunkt, d. h. in y -Richtung verschoben. So kann die horizontale Verschiebung des betrachteten Punktes nachvollzogen werden. Bei der Aufgabenbearbeitung wurde das Blickverhalten der Studierenden mit einem stationären Eye-Tracker (Tobii Pro Fusion, 120 Hz) erfasst. Die Auswertung der Blickdaten umfasst eine qualitative Untersuchung von Aufmerksamkeitsverteilungen (Heat Maps) auf dem Diagramm sowie eine quantitativ-lokale Analyse der Sakkadenwinkel um den Punkt 1 des Graphen (Abb. 1) im Vergleich zwischen Studierenden, die die Aufgabe korrekt und inkorrekt lösten.

Frage: Ein Wellenpuls bewegt sich vertikal mit konstanter Geschwindigkeit nach oben. Das Profil zeigt eine Momentaufnahme, so wie ein Foto. Während sich der Wellenpuls vertikal in y -Richtung bewegt, bewegen sich die Punkte horizontal hin und her in x -Richtung. Die Welle transportiert keine Materie.

(a) Bestimmen Sie für jeden Punkt, ob die horizontale Geschwindigkeit < 0 , > 0 oder $= 0$ ist.

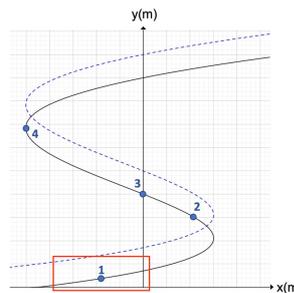


Abb. 1: Aufgabe zur Analyse der zeitlichen Entwicklung eines eindimensionalen Wellenpulses. Die blau gestrichelte Linie zeigt die Verschiebung des Pulses zu einem späteren Zeitpunkt und wurde im Original nicht dargestellt. Die Analyse der Sakkadenwinkel erfolgte für Sakkaden innerhalb einer AOI (Area of Interest) um den Punkt 1 auf dem Graphen (rotes Kästchen).

Ergebnisse

In den Heat Maps ist erkennbar, dass inkorrekt antwortende Studierende vorwiegend den Bereich des Graphen nahe der zu beurteilenden Punkte fokussierten (Abb. 2, links). Ihr Blickverhalten orientierte sich dabei an der Form des Graphen. Korrekt antwortende

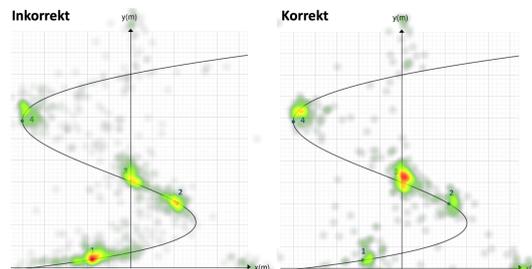


Abb. 2: Aufmerksamkeitsverteilungen (Heat Maps) inkorrekt (links) und korrekt (rechts) antwortender Studierender.

Studierende hingegen richteten ihre Aufmerksamkeit zusätzlich auf Bereiche außerhalb des Graphen, vor allem oberhalb der betrachteten Punkte (Abb. 2, rechts).

Darüber hinaus wurden das Blickverhalten um den Punkt 1 auf dem Graphen bei inkorrekt antwortenden Studierenden durch horizontale Sakkaden dominiert; weitere Blickrichtungen traten kaum bis gar nicht auf (Abb. 3, links). Bei korrekt antwortenden Studierenden hingegen waren die Blickrichtungen sehr diffus, mit vielen schrägen Sakkaden vor allem in vertikaler Richtung (Abb. 3, rechts).

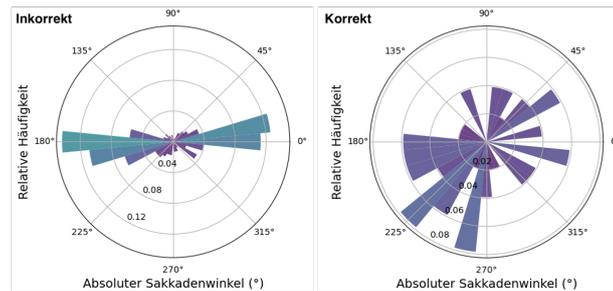


Abb. 3: Polare Auftragung der Sakkadenwinkel um den Punkt 1 im Vergleich von inkorrekt (links) und korrekt (rechts) antwortenden Studierenden. Auf der radialen Achse sind die relativen Häufigkeiten der Sakkadenwinkel in 10°-Intervallen angegeben.

Diskussion und Ausblick

Die qualitative Blickdatenanalyse anhand der Heat Maps von korrekt und inkorrekt antwortenden Studierenden ergibt, dass inkorrekte Antworten mit einer Aufmerksamkeitsakkumulation auf dem Graphen an den betrachteten Punkten einhergehen. Darüber hinaus zeigen die Sakkadenrichtungen um den Punkt 1, dass das Blickverhalten inkorrekt antwortender Studierender sich an der Form des Graphen orientiert. Dies legt eine Vorstellung der Wellenbewegung als *rollercoaster* nahe (Rangkuti & Karam, 2022). Im Gegensatz zu inkorrekt antwortenden Studierenden fokussierten korrekt antwortende Studierende auch Bereiche außerhalb des Graphen. Diese lagen dabei vor allem oberhalb des betrachteten Punktes, was mit der expertenhaften Vorgehensweise einer Imagination der Welle zu einem späteren Zeitpunkt assoziiert werden kann. Zudem kann ihr durch eine diffuse Verteilung der Sakkadenrichtungen charakterisiertes Blickverhalten um den Punkt 1 ein Hinweis auf vergleichende und integrative Verhaltensweisen sein (Klein et al., 2021).

Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die visuelle Aufmerksamkeit der Studierenden eng mit ihren Problemlösestrategien und ihrem Verständnis der Wellenausbreitung zusammenhängt. Inkorrekte Antworten gehen dabei mit Blickbewegungen einher, die sich an Oberflächenmerkmalen orientieren, während das Blickverhalten korrekt antwortender Studierender ein bewusstes visuelles Vorgehen widerspiegelt (Becker et al., 2022; Rodriguez et al., 2019). Die Ergebnisse dieser Pilotstudie können als Startpunkt für eine prozedurale Charakterisierung von Lernschwierigkeiten sowie (effektiven) Problemlösestrategien im Umgang mit der Darstellung $u(x, t_0)$ einer eindimensionalen Welle dienen.

Literatur

- Becker, S., Küchemann, S., Klein, P., & Lichtenberger, A. (2022). Gaze patterns enhance response prediction: More than correct or incorrect. *Physical Review Physics Education Research*, 18 (2), 020107
- Hahn, L. & Klein, P. (2022). Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. *Physical Review Physics Education Research*, 18 (1), 013102
- Hopf, M., & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen zu Feldern und Wellen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer Spektrum, 195-208
- Klein, P., Hahn, L., & Kuhn, J. (2021). Einfluss visueller Hilfen und räumliche Fähigkeiten auf die graphische Interpretation von Vektorfeldern: Eine Eye-Tracking-Untersuchung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27, 181-201
- Langendorf, R., Scheider, S., & Klein, P. (2022). Extracting information from the Hertzprung-Russell diagram: An eye-tracking study. *Physical Review Physics Education Research*, 18 (2), 020121
- Poluakan, C. (2019) The importance of diagrams representation in physics learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1317, 012175
- Rangkuti, M. A. & Karam, R. (2022). Conceptual challenges with the graphical representation of the propagation of a pulse on a string. *Physical Review Physics Education Research*, 18 (2), 020119
- Rodriguez, J. M. G., Bain, K., Hux, N. P., & Towns, M. H. (2019). Productive features of problem solving in chemical kinetics: More than just algorithmic manipulation of variables. *Chemistry Education Research and Practice*, 20 (1), 175-186
- Rosengrant, D., Thomson, C., & Mzoughi, T. (2009). Comparing experts and novices in solving electrical circuit problems with the help of eye-tracking. *AIP Conference Proceedings*, 1179 (1), 249-252
- Sadler, P. M., Whitney, C. A., Shore, L., & Deutsch, F. (1999). Visualization and representation of physical systems: Wavemakers as an aid to conceptualizing wave phenomena. *Journal of Science Education and Technology*, 8, 197-208
- Wittmann, M. (1998). Making Sense of How Students Come to an Understanding of Physics: An Example from Mechanical Waves. University of Maryland: Dissertation