Larissa Hahn[1] [1]Universität Göttingen
Pascal Klein[1]

Clusterbildung mit Blickbewegungen zur Analyse von Personen- und Aufgabenmerkmalen

Ein flexibler Umgang mit verschiedenen Repräsentationsformen ist eine zentrale Kompetenz in den Naturwissenschaften. In der Physik gilt dies vor allem für Vektorfelder, die beispielsweise als Gleichung oder Diagramm dargestellt werden. Dieser Beitrag präsentiert erste Ergebnisse einer Clusteranalyse basierend auf Blickdaten von Studierenden ($N = 147$) bei der Zuordnung von Vektorfelddiagrammen und Gleichungen in einem Multiple-Choice-Format. Es ergeben sich drei Studierendencluster, die sich sowohl bezüglich des Blickverhaltens als auch verschiedener Leistungsindikatoren unterscheiden.

Theoretischer Hintergrund

Vektorfelder sind ein prominentes Beispiel für (multiple) Repräsentationen in der Physik, indem sie sowohl graphisch, z. B. als Vektorfelddiagramm, als auch als Gleichung dargestellt werden. Im Allgemeinen berichten zahlreiche (physik-)didaktische Studien von einem positiven Effekt multipler Repräsentationen beim Wissenserwerb sowie Problemlösen (z. B. Even, 1998; Rau et al., 2009) und betonen in diesem Zuge die Bedeutung für die Entwicklung fachspezifischer Expertise (z. B. Van Heuvelen, 1991). Jedoch führt die Verwendung multipler Repräsentationen nicht per se zu positiven Lerneffekten (z. B. Ainsworth, 2008; Yerushalmy, 1991); vielmehr bedarf es Repräsentationskompetenzen, die einen flexiblen Umgang mit den Repräsentationen ermöglichen (Nistal et al., 2009; 2012). Bezüglich der repräsentationalen Flexibilität bei Vektorfeld-Darstellungen berichteten Bollen et al. (2017) von einer Vielzahl studentischer Probleme bezüglich der Skizzierung von Vektorfeld- oder Feldliniendiagrammen sowie der Angabe einer Gleichung zu einer graphischen Repräsentation. Darüber hinaus fanden Klein et al. (2018; 2019) im Rahmen zweier Eye-Tracking-Studien zur Divergenz von Vektorfeldern, dass die Häufigkeit horizontaler und vertikaler Sakkaden ein wichtiger Leistungsindikator im Umgang mit Vektorfelddiagrammen ist, da sie die visuelle Inspektion entlang relevanter Feldrichtungen widerspiegeln. Auch jenseits von Vektorfeldern erwies sich Eye-Tracking als wertvolle Methode zur Analyse kognitiver Prozesse beim Repräsentationswechsel (z. B. Jian, 2022; Wu & Liu, 2021).

Forschungsziele

Auf Basis bisheriger Forschungsergebnisse zielt dieser Beitrag auf die prozessbezogene Analyse der mentalen Operationen beim multi-repräsentationalen Wechsel zwischen Vektorfelddiagramm und Gleichung ab. Konkrete Ziele sind (1) die Klassifizierung von Studierenden auf Basis sakkadischer Blickmetriken beim Repräsentationswechsel, und (2) die Charakterisierung der entstehenden Studierendengruppen anhand verschiedener Leistungsindikatoren (Antwortkorrektheit, Antwortsicherheit und räumliche Fähigkeiten).

Material und Methoden

Die Stichprobe besteht aus 147 Studierenden verschiedener Ingenieursstudiengänge vor allem aus dem zweiten Fachsemester an der TU Kaiserslautern. Diese absolvierten zuerst einen Konzepttest zu Vektorfeldern und -komponenten sowie einen standardisierten Test zur Ermittlung der räumlichen Fähigkeiten (Shah & Miyake, 1996). In der nachfolgenden Eye-Tracking-Phase (Tobii X3-120) erhielten die Studierenden ein kurzes Worked-Out Example und lösten anschließend acht Aufgaben, in denen sie je zu einem Vektorfelddiagramm die passende Gleichung aus vier Antwortoptionen auswählen mussten (Abb. 1). Antwort und Antwortsicherheit wurden auf einer Eingabeseite angegeben. Abschließend wurde ein kurzer Fragebogen zu den demographischen Daten eingesetzt. Die Vektorfelddiagramme wurden bereits in früheren Studien verwendet (Klein et al., 2018; 2019). Auf Basis des (z-skalierten) Anteils horizontaler und vertikaler Sakkaden ($\pm 5°$ Toleranz des Winkels φ, Abb. 1; Physikdidaktik Uni Göttingen, 2022) an allen Sakkaden auf dem Vektorfelddiagramm,

$$SP_H = \frac{s_H}{s_{total}} \quad \text{und} \quad SP_V = \frac{s_V}{s_{total}},$$

wurde eine hierarchische Clusteranalyse mit der Software *R* durchgeführt (Huberty et al., 2005; Speece, 1994). Der Vergleich der entstandenen Cluster bezüglich verschiedener Leistungsmaße erfolgte mithilfe von Varianzanalysen (ANOVA).

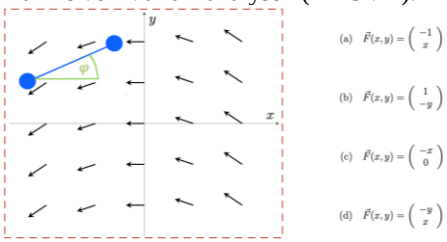

Abb. 1: Item mit Definition der area of interest auf dem Diagramm (rot) und dem Winkel φ zwischen der Sakkade zweier benachbarter Fixationen (blau) und der Horizontalen (grün).

Ergebnisse

Sowohl die Darstellung als Dendrogramm (Abb. 2, links) als auch der Average-Silhouette-Ansatz (Ward-Methode) indizieren eine Drei-Cluster-Lösung mit 81 Studierenden in Cluster C1, 31 Studierenden in Cluster C2 und 28 Studierenden in Cluster C3. Eine 2×3 ANOVA ergibt einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen Metrik und Cluster, $F(2, 137) = 68.05$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.50$, $f = 0.76$, mit großer Effektstärke (Cohen, 1988).

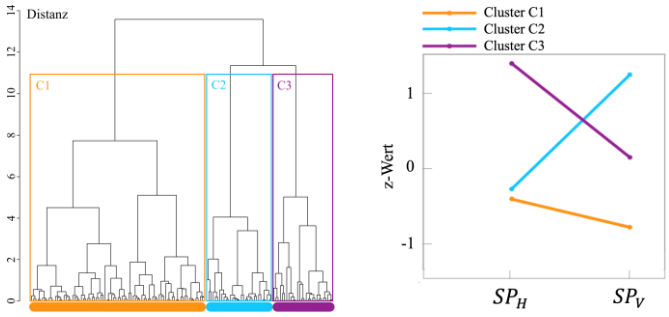

Abb. 2: Dendrogramm (links) der hierarchischen Drei-Cluster-Lösung: Cluster C1 (orange, $N = 81$), Cluster C2 (blau, $N = 31$), Cluster C3 (lila, $N = 28$) und Charakterisierung der Cluster (rechts, z-skalierter Anteil horizontaler und vertikaler Sakkaden SP_H und SP_V).

C1 ist durch den geringsten Anteil horizontaler und vertikaler Sakkaden im Vergleich der drei Cluster charakterisiert, während Studierende in C2 vor allem vertikale Sakkaden durchführen und Studierende in C3 bevorzugt in horizontaler Blickrichtung schauen (Abb. 2, rechts; Tab. 1). Der Anteil horizontaler und vertikaler Sakkaden variiert dabei signifikant zwischen den Clustern, mit großer Effektstärke (Tab. 1). Außerdem erreichten die Studierenden in C2 und C3 signifikant höhere Testleistungen als Studierende in C1, ebenfalls mit großer Effektstärke. Indem Studierende in C2 und C3 durch höhere Antwortsicherheiten und ausgeprägtere räumliche Fähigkeiten gegenüber Studierenden in C1 charakterisiert sind, zeigt sich für diese Leistungsindikatoren eine ähnliche, allerdings nicht signifikante, Tendenz.

Tab. 1: Charakterisierung der Cluster C1, C2 und C3 (Anteil horizontaler und vertikaler Sakkaden SP_H und SP_V, Mittelwert, Standardfehler, p-Wert der ANOVA, Effektstärke f).

Variable	C1 ($N = 81$)	C2 ($N = 31$)	C3 ($N = 28$)	p	f
SP_H	0.14 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.21 ± 0.01	< 0.001	0.54
SP_V	0.08 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.10 ± 0.01	< 0.001	0.57
Antwort-korrektheit	0.71 ± 0.03	0.83 ± 0.05	0.83 ± 0.05	0.03	0.40
Antwort-sicherheit	0.63 ± 0.03	0.67 ± 0.05	0.75 ± 0.05	nicht signifikant	...
Räumliche Fähigkeiten	0.42 ± 0.02	0.49 ± 0.04	0.49 ± 0.05	nicht signifikant	...

Diskussion und Ausblick

Die Clusteranalyse auf Basis sakkadischer Metriken beim Repräsentationswechsel zwischen Vektorfelddiagramm und Gleichung führt zu einer Gruppierung der Studierenden in drei Cluster mit signifikanten Unterschieden hinsichtlich ihres Blickverhaltens und ihrer Performanz. Es zeigt sich, dass ein hoher Anteil horizontaler und vertikaler Sakkaden auf dem Vektorfelddiagramm mit höheren Testleistungen einhergeht – ein Zusammenhang, der in vorangegangenen Studien zur Divergenz ebenfalls gefunden wurde (Klein et al., 2018; 2019). Klein et al. (2018; 2019) assoziierten dieses Blickverhalten mit der Veränderung von Feldkomponenten entlang relevanter Feldrichtungen; inwiefern diese Strategie auch bei der Übersetzung zwischen Vektorfelddiagramm und Formel von Bedeutung ist, gilt es nun anhand weiterführender Analysen, z. B. durch Triangulation von Blick- und Verbaldaten, zu untersuchen. Darüber hinaus unterscheiden sich die Studierenden der zwei leistungsstarken Cluster vor allem insofern, als dass sie entweder horizontale oder vertikale Blickbewegungen höher frequentiert durchführen. Da Antwortkorrektheit und räumliche Fähigkeiten in beiden Clustern vergleichbar sind, lassen die Unterschiede in den Blickbewegungen verschiedene (Erfolgs-)Strategien bei der Aufgabenbearbeitung vermuten. Es ist jedoch anzunehmen, dass diese Strategien nicht auf die visuelle Interpretation des Diagramms beschränkt, sondern eng an das Aufgabenformat geknüpft sind. Für ein tieferes Verständnis der Vorgehensweisen beim Repräsentationswechsel bedarf es daher weiterer Analysen, die das Blickverhalten auf den Antwortoptionen einbeziehen. So können zudem mögliche Fehlstrategien beim Repräsentationswechsel aufgedeckt und Einblicke in studentische Schwierigkeiten sowie Anhaltspunkte für zielgerichtete Unterstützungsmaßnahmen gewonnen werden.

Literatur

Ainsworth, S. (2008). The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts. In J.K. Gilbert, M. Reimer, & M. Nakhleh (Eds.), Visualization: Theory and practice in science education. Models and modeling in science education (3. Aufl.). Dordrecht: Springer, 191-208

Bollen, L., Van Kampen, P., Baily, C., Kelly, M., & De Cock, M. (2017). Student difficulties regarding symbolic and graphical representations of vector fields. Physical Review Physics Education Research, 13 (2), 020109

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates

Even, R. (1998). Factors involved in linking representations of functions. Journal of Mathematical Behavior, 17 (1), 105-121

Huberty, C. J., Jordan, E.M., & Brandt, W.C. (2005). Cluster Analysis in Higher Education Research. In J.C. Smart (Ed.), Higher Education: Handbook of Theory and Research (Vol. 20). Dordrecht: Springer, 437–457

Jian, Y.C. (2022). Using an eye tracker to examine the effect of prior knowledge on reading processes while reading a printed scientific text with multiple representations. International Journal of Science Education, 44 (8), 1-21

Klein, P., Viiri, J., & Kuhn, J. (2019). Visual cues improve students' understanding of divergence and curl: Evidence from eye movements during reading and problem solving. Physical Review Physics Education Research, 15 (1), 010126

Klein, P., Viiri, J., Mozaffari, S., Dengel, A., & Kuhn, J. (2018). Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots? Physical Review Physics Education Research, 14 (1), 010116

Nistal, A., Dooren, W., Clarebout, G., Elen, J., & Verschaffel, L. (2009). Conceptualising, investigating and stimulating representational flexibility in mathematical problem solving and learning: A critical review. ZDM Mathematics Education, 41 (5), 627-636

Nistal, A., Dooren, W., & Verschaffel, L. (2012). What counts as a flexible representational choice? An evaluation of students' representational choices to solve linear function problems. Instructional Science, 40 (6), 999-1019

Physikdidaktik Uni Göttingen (2022, 27. Oktober). Blickbewegungen mit Eye-Tracking visualisieren: Sakkadenplots [Video]. YouTube. https://youtu.be/t9I5uqSWBAE

Rau, M., Aleven, V., & Rummel, N. (2009). Intelligent tutoring systems with multiple representations and self-explanation prompts support learning of fractions. In V. Dimitrova, R. Mizoguchi, B. du Boulay, & A. Graesser (Eds.), Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education, 2009 Building Learning Systems that Care: From Knowledge Representation to Affective Modelling. Amsterdam: IOS Press, 441-448

Shah, P. & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. Journal of Experimental Psychology: General, 125 (1), 4-27

Speece, D.L. (1994). Cluster analysis in perspective. Exceptionality, 5 (1), 31-4

Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. American Journal of Physics, 59 (10), 891-897

Wu, C.J., & Liu, C.Y. (2021). Eye-movement study of high-and low-prior-knowledge students' scientific argumentations with multiple representations. Physical Review Physics Education Research, 17 (1), 010125

Yerushalmy, M. (1991). Student perceptions of aspects of algebraic function using multiple representation software. Journal of Computer Assisted Learning, 7 (1), 42-57