

Larissa Hahn<sup>1</sup>  
Stefan Halverscheid<sup>1</sup>  
Jochen Kuhn<sup>2</sup>  
Pascal Klein<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Göttingen  
<sup>2</sup>TU Kaiserslautern

### **Einfluss der Aufgabenkomplexität auf die Blickbewegungen beim Koordinieren multipler Repräsentationen im Kontext von Vektorfeldern**

Für viele physikalische Konzepte gibt es kein rein abstraktes Verständnis, sodass diese meist mithilfe verschiedener Repräsentationen dargestellt werden (De Cock, 2012). Vektorfelder sind Beispiele, die sowohl graphisch, z.B. als Vektorfelddiagramm, als auch mithilfe algebraischer Formelausdrücke repräsentiert werden. Im Allgemeinen zeigten zahlreiche Studien, dass ein flexibler Umgang mit verschiedenen Repräsentationsformen einen positiven Effekt auf den Wissenserwerb und die Problemlösefähigkeiten besitzt (z.B. Even, 1998) und damit essentiell für die Entwicklung fachspezifischer Expertise ist (z.B. Van Heuvelen, 1991). In diesem Beitrag wird eine Studie vorgestellt, bei der Studierende eine Formel einem gegebenen Vektorfeld zuordnen, wobei zusätzlich das Blickverhalten der Studierenden aufgezeichnet wurde. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt auf der Aufmerksamkeitsverteilung der besten Studierenden für Items unterschiedlicher Komplexität.

#### **Theoretischer Hintergrund**

Zur Analyse von Lernprozessen in einer repräsentational angereicherten Lernumgebung eignen sich kognitive Lerntheorien. Die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) nach Mayer (2005) konzentriert sich dabei auf Lernprozesse im Zusammenhang mit Text (auch Formeln) und Bildern (Schnotz & Bannert, 2003). Ergänzend beschäftigt sich die Cognitive Load Theory (CLT) nach Chandler und Sweller (1991) mit der kognitiven Belastung beim Wissenserwerb (Sweller, 2010). Eine zentrale Annahme der CLT ist, dass das Niveau der intrinsischen kognitiven Belastung durch die Elementinteraktivität bestimmt wird (ebd.). Ein Element bezeichnet in diesem Zusammenhang alles, was gelernt werden muss oder gelernt wurde. Werden Extraneous und Germane Cognitive Load konstant gehalten, gilt: Je mehr Elemente interagieren, desto höher ist die Arbeitsspeicherbelastung und somit der Cognitive Load (Sweller, 2010). Im Kontext von Vektorfeldern handelt es sich bei der Dimensionalität und den (gemischten) Abhängigkeiten der Komponenten von den Koordinaten um Aspekte, die die Elementinteraktivität bestimmen (siehe Tab. 1 und Abb. 2). Eye-Tracking ermöglicht die Analyse kognitiver Vorgänge, indem Blickbewegungen als zeitlich-räumliche Dekodierung visueller Informationen verstanden werden (Rakoczi, 2012). Entsprechend der CLT ist mit steigender Komplexität und somit Elementinteraktivität eines Vektorfeldes eine sich im Blickverhalten widerspiegelnde Zunahme des Intrinsic Cognitive Load zu erwarten (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011).

#### **Forschungsfrage**

Welchen Einfluss hat die Komplexität der Vektorfelder auf die visuelle Aufmerksamkeit von Experten, die sich durch ausschließlich korrekte Antworten definieren?

### Material und Methoden

Die Stichprobe besteht aus 147 Studierenden vor allem des ersten und zweiten Fachsemesters verschiedener Ingenieurstudiengänge an der TU Kaiserslautern. Diese absolvieren einen Eye-Tracking-Test bestehend aus einem kurzen Worked-Out Example und acht Problemlöse-Items. Währenddessen zeichnet ein stationärer Eye-Tracker (Tobii X3-120) Blickbewegungen auf. Die Expertengruppe mit acht korrekten Antworten umfasst 46 Studierende.

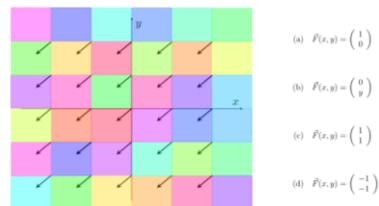


Abb. 1: AOI-Raster zur Untersuchung der betrachteten Fläche des Vektorfelddiagramms.

Für die Untersuchung der Aufmerksamkeitsverteilung werden die Vektorfelddiagramme mithilfe eines 6x6-Gitter segmentiert und jeweils bestimmt, wie viele der 36 Segmente drei oder mehr Fixationen aufweisen (Abb. 1). Unter Verwendung dieses Schwellenwertes erhalten zufällige oder unbewusste Fixationen wenig Gewicht, gleichzeitig werden aber alle für die Problemlösung relevanten Fixationen berücksichtigt.

### Ergebnisse

Zur Systematisierung der Vektorfelder ist in Tab. 1 ein a-priori-Kategoriensystem dargestellt (Qualitative Inhaltsanalyse; Kuckartz, 2018), welches sechs Komplexitätsgrade unterscheidet. Die Bezeichnung der ersten und der zweiten Komponente ist willkürlich und vertauschbar. Tab. 1 zeigt zudem für alle acht Vektorfeld-Items den mittleren prozentualen Anteil der Fläche des Vektorfelddiagramms, die pro Experte betrachtet wird. Dabei schaut ein Experte bei den Items VF1 und VF3 im Mittel weniger als 10% des Vektorfelddiagramms an, wohingegen für das Item VF4 im Mittel über 40% der Diagrammfläche zur Problemlösung herangezogen werden. Eine ANOVA-RM mit dem messwiederholenden Faktor der acht Items ergibt einen signifikanten Einfluss der Komplexität auf die mittlere betrachtete Fläche pro Experte [ $F(5.2, 232.7) = 63.3, p < 0.001^{***}, \eta_p^2 = 0.59, f = 1.19$ ].

Tab. 1: Klassifizierung der Vektorfelder nach Dimensionalität und Komplexität.

Komponenten		Dimension	Komplexitätsgrad K	Vektorfeld	Mittlere betrachtete Fläche pro Experte [%]
1	2				
0	0	-	0	-	-
konstant	0	1	1	VF3	$8.6 \pm 5.9$
konstant	konstant	2	2	VF1	$9.5 \pm 5.8$
variabel	0	1	3	VF2	$19.7 \pm 8.1$
				VF7	$20.4 \pm 8.6$
variabel	konstant	2	4	VF6	$24.0 \pm 9.9$
				VF5	$26.5 \pm 12.0$
variabel	variabel	2	5	VF8	$26.4 \pm 11.0$
				VF4	$41.1 \pm 16.7$

Abb. 2 illustriert die visuelle Aufmerksamkeit der Experten auf den Items VF1 ( $K = 2$ ), VF2 ( $K = 3$ ) und VF4 ( $K = 5$ ). Es zeigt sich, dass der visuelle Fokus für alle Komplexitätsgrade im I. Quadranten der Vektorfelddiagramme liegt. Gleichzeitig unterstützen die Heatmaps die Ergebnisse in Tab. 1, indem für VF2 neben dem I. auch der II. und für VF4 alle vier Quadranten betrachtet werden. Während die Bereiche hoher Aufmerksamkeit beim Diagramm in VF1 auf einzelnen Vektoren des I. Quadranten liegen, orientiert sich die Aufmerksamkeit bei VF2 und VF4 an den Koordinatenachsen. Für VF2 liegt die visuelle Aufmerksamkeit dabei vor allem auf Vektoren einer Zeile, während die Experten bei VF4 sowohl Zeilen als auch Spalten betrachten.

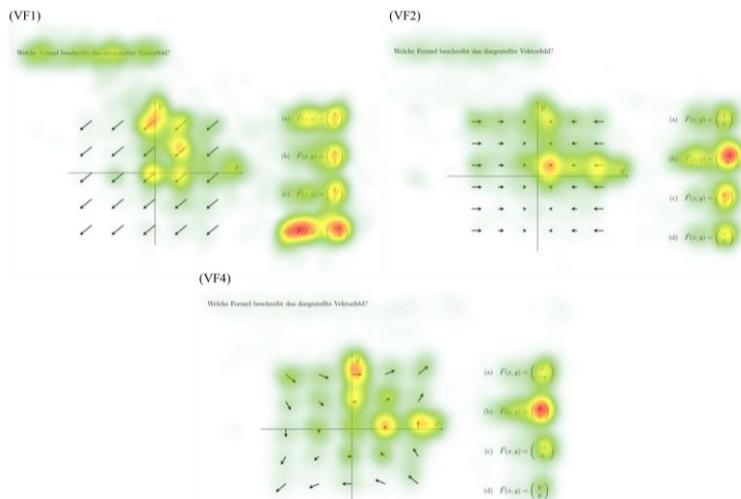


Abb. 2: Heatmaps aller Experten für die Vektorfeld-Items VF1, VF2 und VF4.

### Diskussion

Entsprechend der Klassifizierung der Vektorfelder in verschiedene Komplexitätsgrade ergibt sich ein signifikanter Einfluss der Aufgabenkomplexität auf den Anteil der Fläche des Vektorfelddiagramms, der von einem Experten im Zuge des Repräsentationswechsels von der graphischen zur algebraischen Darstellung betrachtet wird. So zieht ein Experte für komplexere Vektorfelder einen größeren Bereich des Vektorfelddiagramms zur Problemlösung heran als für ein Vektorfeld mit geringerer Aufgabenkomplexität. Diese Ergebnisse suggerieren, dass es bei Vektorfeldern geringer Komplexität genügt, einen kleinen Vektorfeldausschnitt zu betrachten, um die korrekte Formelbeschreibung auswählen zu können. Je komplexer ein Vektorfeld jedoch ist, desto mehr Relevanz kommt der Integration der Veränderung von Vektoren und Vektorkomponenten in den Problemlöseprozess zu, die nur möglich ist, wenn auch umliegende Vektoren und somit ein größerer Diagrammausschnitt betrachtet werden. Für Vektorfelder hoher Komplexität scheint insbesondere die Betrachtung extremer Werte und somit das Einbeziehen weiterer Quadranten förderlich für die Problemlösung. Außerdem zeigt die Analyse der Aufmerksamkeitsverteilung eine grundsätzliche Orientierung an den (positiven) Koordinatenachsen für Vektorfelder mit variablen Komponenten. Basierend auf diesen Ergebnissen werden in einem nächsten Schritt studentische Beschreibungen und Begründungen analysiert, um einen Zusammenhang zwischen Blickdaten und kognitiven Strategien beim Repräsentationswechsel herzustellen.

**Literatur**

- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8 (4), 293-332
- De Cock, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8 (2)
- Even, R. (1998). Factors involved in linking representations of functions. *Journal of Mathematical Behavior*, 17 (1), 105-121
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim, Basel: Beltz Juventa
- Mayer, R.E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R.E. Mayer (Eds.), *The cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: University Press, 31–48
- Rakoczi, G. (2012). Eye Tracking in Forschung und Lehre. Möglichkeiten und Grenzen eines vielversprechenden Erkenntnismittels. In G. Csanyi, F. Reichl, & A. Steiner (Eds.), *Digitale Medien - Werkzeuge für exzellente Forschung und Lehre*. Münster, New York: Waxmann, 87-98
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13 (2), 141-156
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22 (2), 123-138
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York: Springer Science & Business Media
- 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