



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT  
GÖTTINGEN

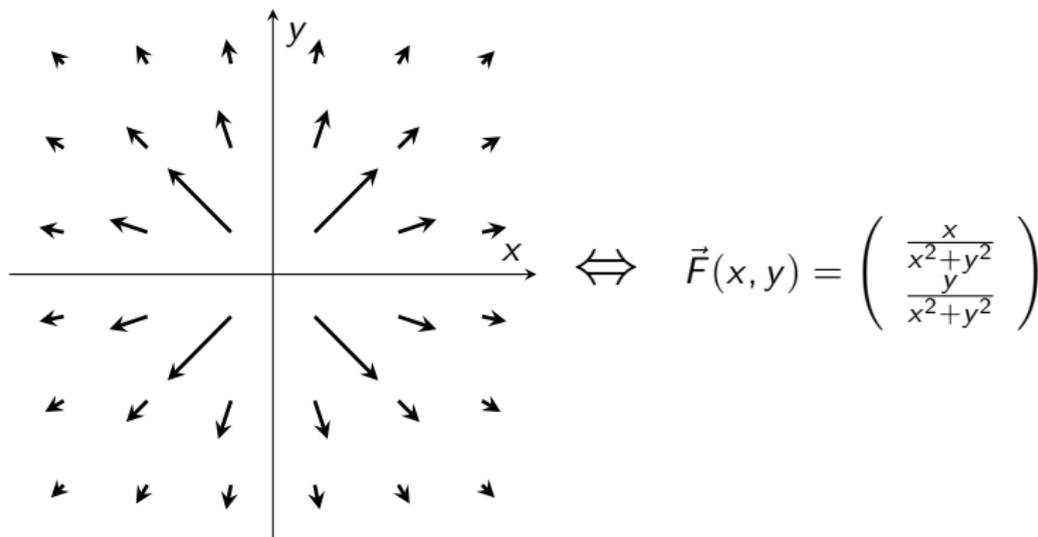
# Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn und Pascal Klein  
Georg-August-Universität Göttingen

Die virtuelle GDCP Jahrestagung 2021

14.09.2021

# Multiple Repräsentationen



⇒ *Representational Effect*: Verschiedene Repräsentationen eines Konstrukts evokieren unterschiedliche kognitive Verhaltensweisen (Ainsworth, 1999; Rau, 2017; Zhang & Norman, 1994)

⇒ Visuelle Repräsentationen unterstützen das Lernen komplexer Konzepte, indem sie die Abstraktion verringern und so die kognitiven Anforderungen an Lernende reduzieren (Stenning & Oberlander, 1995; Zhang & Norman, 1994)

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur



# Vektorfelder und Divergenz

- Vektoren und Vektorfelder sind essentiell für die Mathematik und verschiedene Anwendungsfelder der Physik (z.B. Gravitations- und Strömungsfelder)  
⇒ Divergenz als zentrales Konzept verschiedener Erhaltungssätze in der Elektro- und Strömungsdynamik (z.B. Satz von Gauß, Maxwell-Gleichungen)
- Die algebraische Berechnung der Divergenz bereitet Studierenden kaum Probleme, die qualitative Evaluation hingegen schon (z.B. Klein, Viiri, Mozaffari, Dengel & Kuhn, 2018; Singh & Maries, 2013)  
⇒ Notwendigkeit gezielter Lehr-Lern-Materialien (LLM) zur Förderung des Konzeptverständnisses (z.B. Bollen, van Kampen, Baily, Kelly & De Cock, 2017; Klein et al., 2018; Singh & Maries, 2013)

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

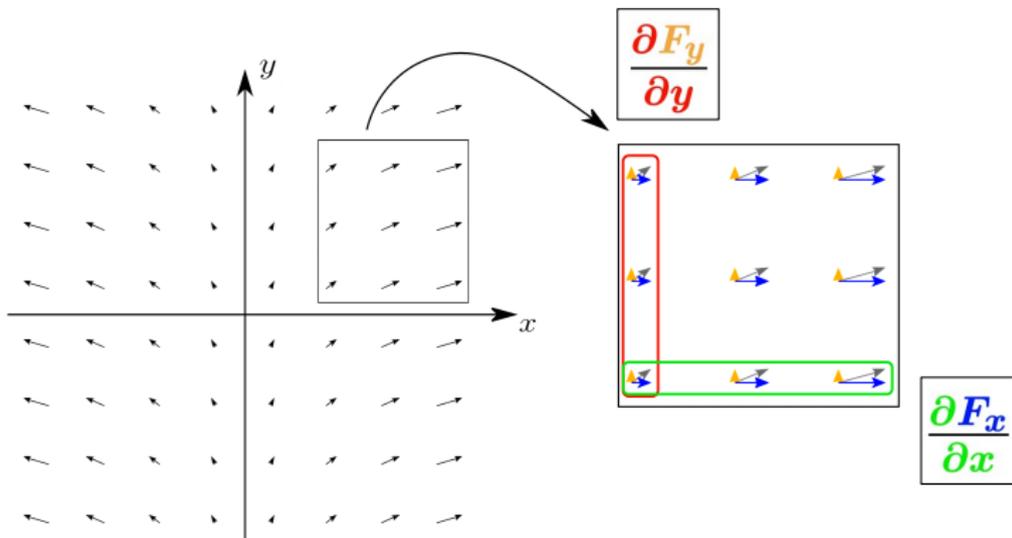
Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur



# Visuelle Interpretation der Divergenz



$$\Rightarrow \text{Divergenz: } \vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y}$$

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

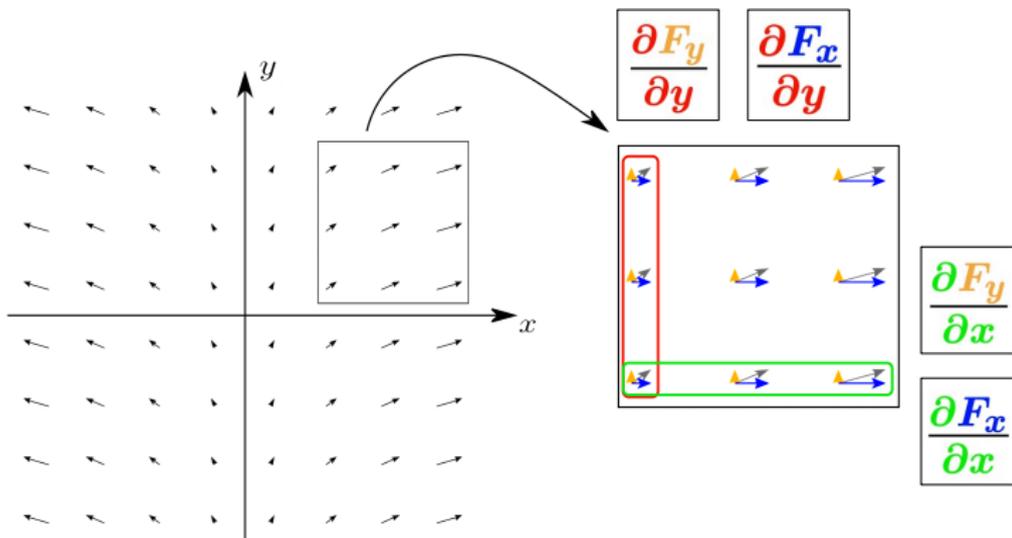
Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur



# Vektorfeldkomponenten und Kovariation



$$\Rightarrow \text{Rotation: } (\vec{\nabla} \times \vec{F}) \cdot \hat{e}_z = \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y}$$

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur



# Vorarbeiten zur visuellen Interpretation der Divergenz

Entwicklung und Untersuchung visueller Lehr-Lern-Materialien und Hilfestellungen zur Interpretation der Divergenz von Vektorfelddiagrammen (Klein, Hahn & Kuhn, 2021; Klein, Viiri & Kuhn, 2019; Klein et al., 2018)

- i Lehr-Lern-Materialien zu differentiellen und integralen Herangehensweisen
- ii Hervorheben relevanter Bereiche im Diagramm

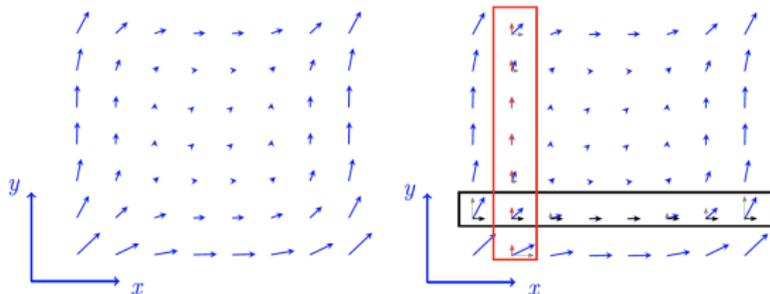


Abbildung: Lehr-Lern-Materialien mit und ohne visuelle Hilfestellung (Klein et al., 2019).

# Zeichnen als Lernstrategie

Zeichnen als vielversprechender Ansatz beim Lernen in den Naturwissenschaften (Ainsworth, Prain & Tytler, 2011):

- Der konstruktive Ansatz des Zeichnens bedient die visuell-räumlichen Anforderungen des (natur-)wissenschaftlichen Lernens und hilft Konzepte visuell zu verstehen (Wu & Rau, 2018)
- Die erhöhte Aufmerksamkeit beim Zeichnen unterstützt die Fokussierung auf Details (Ainsworth & Scheiter, 2021) und ermöglicht eine effektive Nutzung der Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses (Stenning & Oberlander, 1995; Zhang & Norman, 1994)

⇒ Positive Lerneffekte in verschiedenen didaktischen Bereichen berichtet (u.a. Kohnle, Ainsworth & Passante, 2020; Leopold & Leutner, 2012; Wu & Rau, 2018)

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur



# Eye-Tracking und Vektorfelder

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur

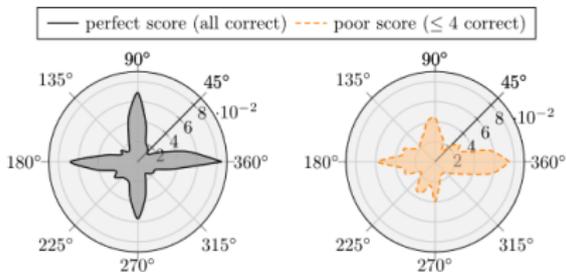


Abbildung: Sakkadenverteilung bei Vektorfeldern (Klein et al., 2019).

# Forschungsfragen

Welchen Einfluss hat die Implementation von Zeichenaktivitäten in eine multi-repräsentationale Lehr-Lern-Umgebung zur Divergenz von Vektorfeldern auf ...

- (a) die Testleistung der Studierenden beim Beurteilen der Divergenz?
- (b) das Konzeptverständnis der Studierenden über Divergenz?
- (c) die Transferleistung bei gemischten partiellen vektoriiellen Ableitungen?
- (d) die wahrgenommene mentale Anforderung der Studierenden?
- (e) das Blickverhalten beim Problemlösen?

Multiple  
Repräsentationen und  
Zeichenaktivitäten als  
Zugänge zu  
Vektorfeldkonzepten –  
eine Eye-Tracking-  
Studie

Larissa Hahn

Ansatz und  
theoretischer  
Hintergrund

Studiendesign und  
Instrumente

Ergebnisse

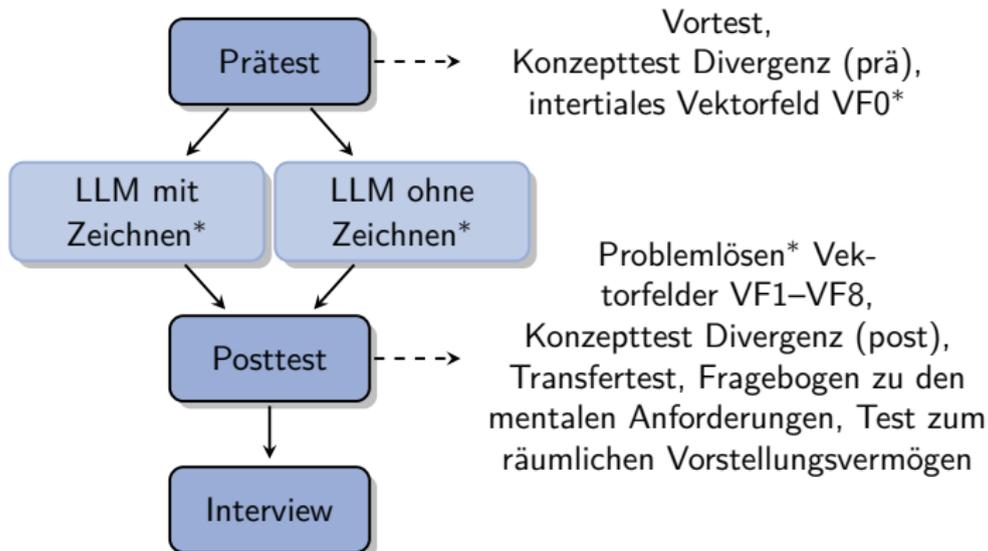
Diskussion und  
Schlussfolgerungen

Literatur



- Studie zu Beginn des Sommersemesters 2021
- Studierende aus den Studiengängen B. Sc. und 2-Fach BA (Lehramt) Physik
- 54 Studierende (37 männlich, Durchschnittsalter  $20.2 \pm 1.9$  Jahre, Fachsemester  $2.7 \pm 1.3$ )
- 2 Gruppen (keine signifikanten Unterschiede):
  1. IG: Interventionsgruppe mit Zeichenaktivitäten ( $N = 27$ ,  $20.2 \pm 1.9$  Jahre)
  2. KG: Kontrollgruppe ohne Zeichenaktivitäten ( $N = 27$ ,  $20.2 \pm 1.8$  Jahre)

# Studienverlauf und Instrumente



\* mit mobilem/stationärem Eye-Tracking

# Studienverlauf und Instrumente

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

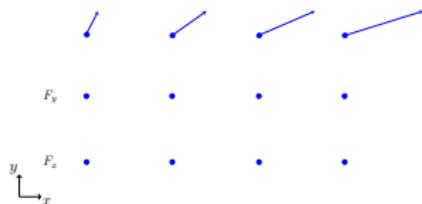
Literatur

IG

1. Betrachten Sie den folgenden Vektor und skizzieren Sie seine Zerlegung in die Komponenten  $F_x$  und  $F_y$ .



2. Zeichnen Sie nun für jeden Vektor der nachfolgenden oberen Vektorzeile die Zerlegung in die Komponenten  $F_x$  und  $F_y$  ein. Skizzieren Sie anschließend die jeweilige  $y$ -Komponente der Vektoren in der zweiten Zeile ( $F_y$ ) und die jeweilige  $x$ -Komponente in der dritten Zeile ( $F_x$ ). Nutzen Sie die Gitterpunkte als Startmarkierungen für die Vektorpfeile.



KG

1. Betrachten Sie zunächst den folgenden Vektor und zerlegen Sie ihn gedanklich in seine Komponenten  $F_x$  und  $F_y$ .



2. Zerlegen Sie nun jeden Vektor der nachfolgenden Vektorzeile gedanklich in die Komponenten  $F_x$  und  $F_y$ .



Abbildung: Vorübung zur Komponentenzерlegung.



# Studienverlauf und Instrumente

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur

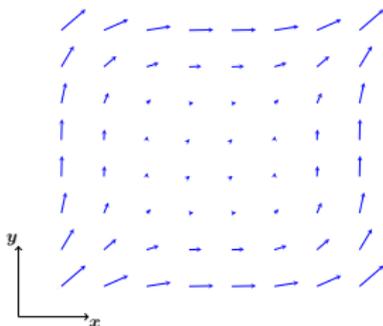
## Interpretation der Divergenz

Die Divergenz eines Vektorfeldes ( $\operatorname{div} \vec{F} = \nabla \cdot \vec{F}$ ) an einem Ort  $(x, y)$  ergibt sich über die Summe der partiellen Ableitungen

$$\operatorname{div} \vec{F}(x, y) = \frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y}.$$

Interpretieren Sie diese Gleichung anschaulich am Beispiel des folgenden Vektorfeldes, indem Sie wie folgt vorgehen:

- Wählen Sie einen beliebigen Vektor im Feld aus. Umrahmen Sie die gesamte Zeile und Spalte, in der sich ihr gewählter Vektor befindet.
- Zeichnen Sie für alle Vektoren der markierten Zeile die Komponente  $F_x$  ein. Untersuchen Sie, ob sich diese Komponente in  $x$ -Richtung, d.h. entlang der umrandeten Zeile, ändert. Dies entspricht dem ersten Summanden in obiger Gleichung.
- Zeichnen Sie für alle Vektoren der markierten Spalte die Komponente  $F_y$  ein. Untersuchen Sie auch, ob sich die  $y$ -Komponente in  $y$ -Richtung, d.h. entlang der umrandeten Spalte, ändert. Dies entspricht dem zweiten Summanden in der Gleichung.
- Sollte sich weder  $F_x$  in  $x$ -Richtung noch  $F_y$  in  $y$ -Richtung ändern, so ist das Feld quelfrei. Zu diesem Ergebnis sollten Sie hier gekommen sein. Ändert sich eine der beiden Komponenten, ist das Feld nicht quelfrei. Den Fall, dass sich die Veränderungen in  $x$ - und in  $y$ -Richtung gerade aufheben, betrachten wir nicht.
- Bei allen hier verwendeten Vektorfeldern ist die Divergenz räumlich konstant. Um dies zu überprüfen, wählen Sie einen zweiten beliebigen Vektor und führen sie das beschriebene Vorgehen erneut durch. Auch hier sollten Sie zu dem Ergebnis kommen, dass es sich um ein quelfreies Vektorfeld handelt.



**Hinweis:** Streng genommen bedeuten partielle Ableitungen infinitesimale Änderungen. Da die Divergenz der Vektorfelder hier aber konstant Null oder nicht-Null ist, können wir Vektoren miteinander vergleichen, die nicht infinitesimal neben- bzw. übereinander liegen.

**Abbildung:** LLM mit Zeichenaktivitäten  
(Weiterentwicklung von Klein et al., 2021, 2019, 2018).

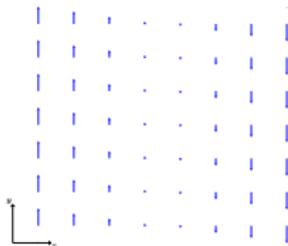


# Studienverlauf und Instrumente

	richtig	falsch	1	6			
1. Die Divergenz gibt die Stärke eines Vektorfeldes an.	<input type="checkbox"/>						
2. Die Divergenz gibt die Richtung des steilsten Anstiegs an.	<input type="checkbox"/>						
3. Wenn die Divergenz eines Vektorfeldes an jeder Stelle positiv ist, existiert an jeder Stelle eine Quelle.	<input type="checkbox"/>						
4. Die Divergenz gibt an, ob die Vektorpfeile auseinanderlaufen.	<input type="checkbox"/>						
5. Die Divergenz kann für jede Stelle eines Feldes verschieden sein.	<input type="checkbox"/>						

Abbildung:  
Konzepttest: Divergenz  
(Weiterentwicklung von  
Baily, Bollen, Pattie,  
Van Kampen &  
De Cock, 2016).

Antwortkorrektheit: Cronbachs  $\alpha = 0.67$  (Prä und Post);  
Antwortssicherheit:  $\alpha = 0.86$  (Prä),  $\alpha = 0.85$  (Post; 8 Items, ohne Items 1, 4, 8)



Welche Option wählen Sie?

$\text{div} \vec{F} \neq 0$         $\text{div} \vec{F} = 0$

Abbildung: Problemlösen (Weiterentwicklung von Klein et al., 2021, 2019, 2018).

Antwortkorrektheit: Cronbachs  $\alpha = 0.78$ , Antwortssicherheit:  $\alpha = 0.93$  (8 Items)



Multiple  
Repräsentationen und  
Zeichenaktivitäten als  
Zugänge zu  
Vektorfeldkonzepten –  
eine Eye-Tracking-  
Studie

Larissa Hahn

Ansatz und  
theoretischer  
Hintergrund

Studiendesign und  
Instrumente

Ergebnisse

Diskussion und  
Schlussfolgerungen

Literatur

# Studienverlauf und Instrumente

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

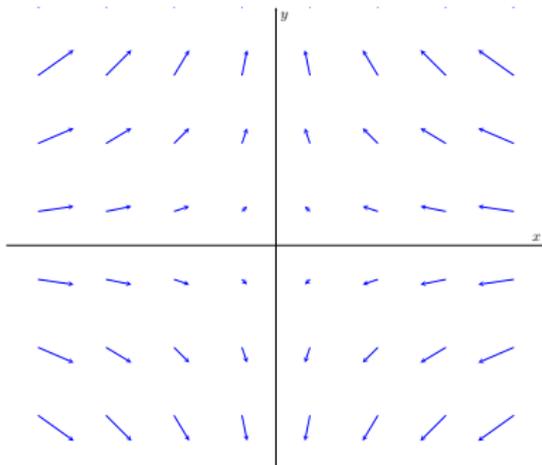
Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur

## Vektorfeld 1

Betrachten Sie das folgende Vektorfeld. Welches der Vergleichszeichen ( $> 0$ ,  $< 0$  oder  $= 0$ ) gilt für die partiellen Ableitungen  $\frac{\partial F_x}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial F_x}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial F_y}{\partial x}$  und  $\frac{\partial F_y}{\partial y}$  dieses Vektorfeldes? Sobald Sie sich für eine Antwort entschieden haben, ( $> 0$ ,  $< 0$  oder  $= 0$ ), markieren Sie diese bitte in der entsprechenden Zeile für die jeweilige partielle Ableitung. Geben Sie außerdem an, wie sicher Sie sich Ihrer Antwort sind (auf einer Skala von 1 = „absolut sicher“ bis 6 = „absolut unsicher“). Blättern Sie anschließend um, um das nächste Vektorfeld zu bearbeiten.



	$> 0$	$< 0$	$= 0$	Antwortssicherheit					
				1					6
$\frac{\partial F_x}{\partial x}$	<input type="checkbox"/>								
$\frac{\partial F_x}{\partial y}$	<input type="checkbox"/>								
$\frac{\partial F_y}{\partial x}$	<input type="checkbox"/>								
$\frac{\partial F_y}{\partial y}$	<input type="checkbox"/>								

Abbildung: Transfertest: Kovariation von Komponenten.

Antwortkorrektheit: Cronbachs  $\alpha = 0.80$ , Antwortssicherheit:  $\alpha = 0.98$  (12 Items)



# Studienverlauf und Instrumente

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur

**Vektorfeld 1**

Betrachten Sie das folgende Vektorfeld. Welches der Vergleichszeichen ( $> 0$ ,  $< 0$  oder  $= 0$ ) gilt für die partiellen Ableitungen  $\frac{\partial F_x}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial F_x}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial F_y}{\partial y}$  und  $\frac{\partial F_y}{\partial x}$  dieses Vektorfeldes? Sobald Sie sich für eine Antwort entschieden haben, ( $> 0$ ,  $< 0$  oder  $= 0$ ), markieren Sie diese bitte in der entsprechenden Zeile für die jeweilige partielle Ableitung. Geben Sie außerdem an, wie sicher Sie sich Ihrer Antwort sind (auf einer Skala von 1 = „absolut sicher“ bis 6 = „absolut unsicher“). Blättern Sie anschließend um, um das nächste Vektorfeld zu bearbeiten.

	$> 0$	$< 0$	$= 0$	Antwortssicherheit					
				1				6	
$\frac{\partial F_x}{\partial x}$	<input type="checkbox"/>								
$\frac{\partial F_x}{\partial y}$	<input type="checkbox"/>								
$\frac{\partial F_y}{\partial y}$	<input type="checkbox"/>								
$\frac{\partial F_y}{\partial x}$	<input type="checkbox"/>								

Abbildung: Transfertest: Partielle Ableitungen wie im LLM thematisiert.

Antwortkorrektheit: Cronbachs  $\alpha = 0.76$ , Antwortssicherheit:  $\alpha = 0.96$  (6 Items)



# Studienverlauf und Instrumente

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

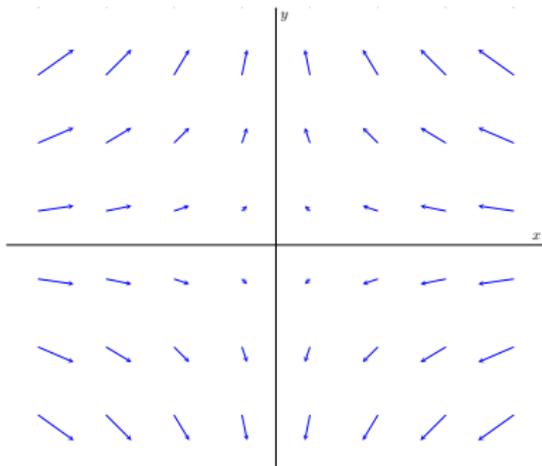
Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur

## Vektorfeld 1

Betrachten Sie das folgende Vektorfeld. Welches der Vergleichszeichen ( $> 0$ ,  $< 0$  oder  $= 0$ ) gilt für die partiellen Ableitungen  $\frac{\partial F_x}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial F_x}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial F_y}{\partial x}$  und  $\frac{\partial F_y}{\partial y}$  dieses Vektorfeldes? Sobald Sie sich für eine Antwort entschieden haben, ( $> 0$ ,  $< 0$  oder  $= 0$ ), markieren Sie diese bitte in der entsprechenden Zeile für die jeweilige partielle Ableitung. Geben Sie außerdem an, wie sicher Sie sich Ihrer Antwort sind (auf einer Skala von 1 = „absolut sicher“ bis 6 = „absolut unsicher“). Blättern Sie anschließend um, um das nächste Vektorfeld zu bearbeiten.



	$> 0$	$< 0$	$= 0$	Antwortssicherheit					
				1					6
$\frac{\partial F_x}{\partial x}$	<input type="checkbox"/>								
$\frac{\partial F_y}{\partial y}$	<input type="checkbox"/>								
$\frac{\partial F_x}{\partial y}$	<input type="checkbox"/>								
$\frac{\partial F_y}{\partial x}$	<input type="checkbox"/>								

Abbildung: Transfertest: („Gemischte“) partielle Ableitungen (nicht im LLM thematisiert).

Antwortkorrektheit: Cronbachs  $\alpha = 0.65$ , Antwortssicherheit:  $\alpha = 0.97$  (6 Items)



# Innersubjekteffekte: Antwortkorrektheit und -sicherheit

Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten – eine Eye-Tracking-Studie

Larissa Hahn

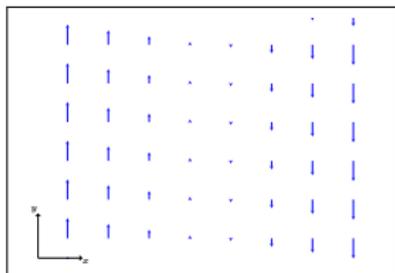
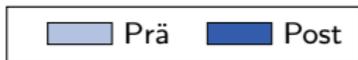
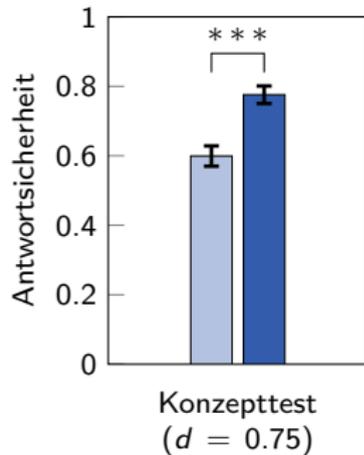
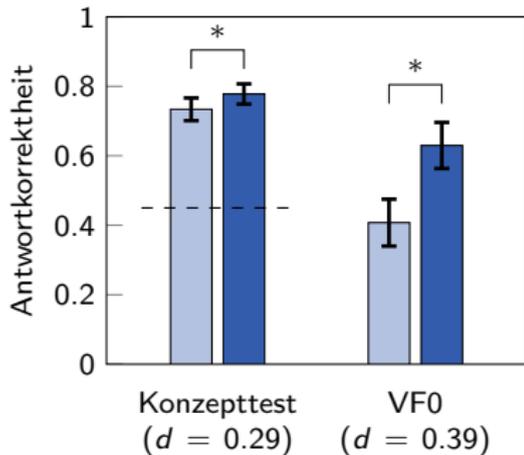
Ansatz und theoretischer Hintergrund

Studiendesign und Instrumente

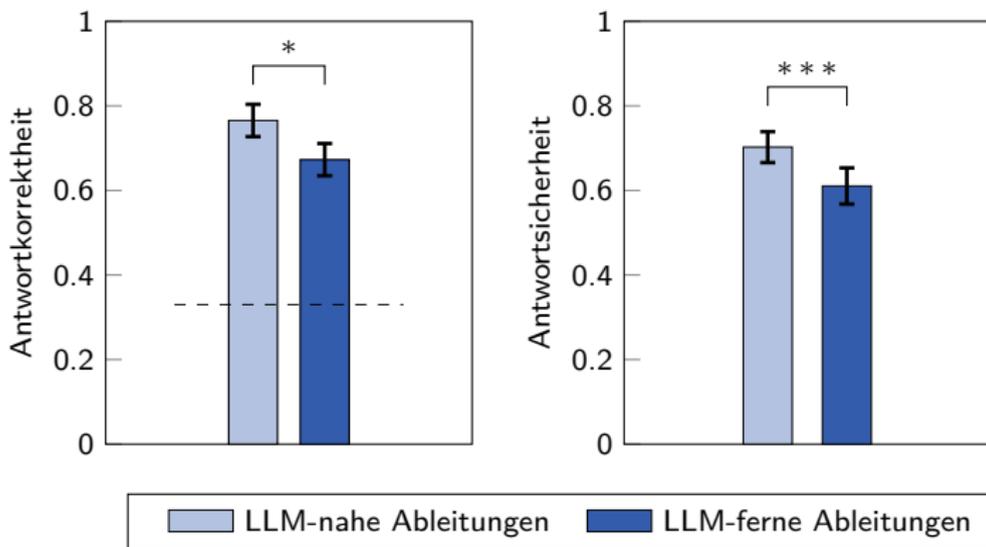
Ergebnisse

Diskussion und Schlussfolgerungen

Literatur

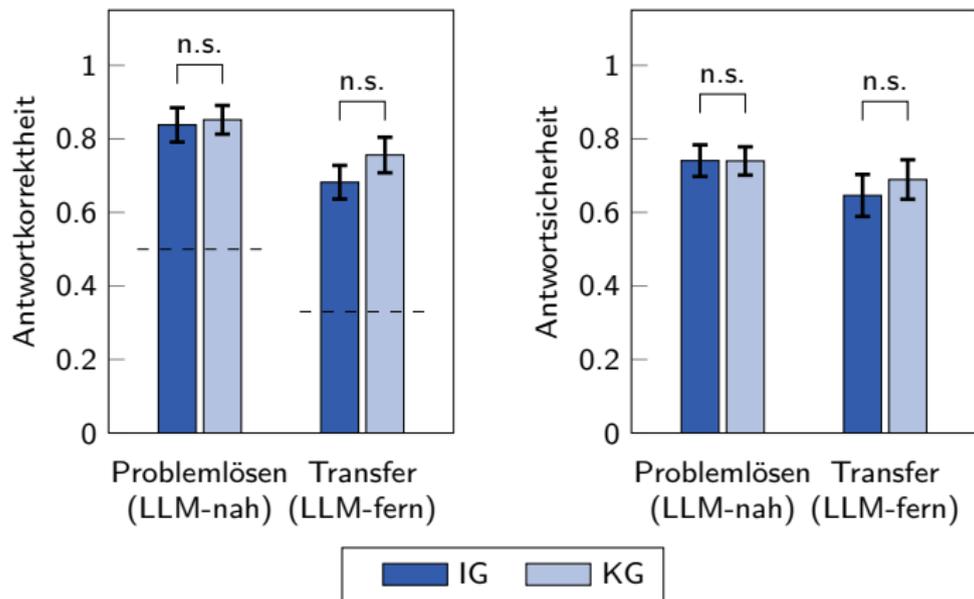


# Innersubjekteffekte: Transferleistung



Effektstärken: Antwortkorrektheit  $d = 0.34$ , Antwortsicherheit  $d = 0.55$

# Zwischensubjekteffekte: Testleistung und Antwortsicherheit



# Zwischensubjekteffekte: Mentale Anforderungen

- kein Gruppenunterschied bzgl. den „klassischen“ Faktoren kognitiver Belastung (Leppink, Paas, Van der Vleuten, Van Gog & Van Merriënboer, 2013)
- Explorative Faktorenanalyse der 21 Items ergab 5 gut interpretierbare Faktoren ( $\alpha = 0.85 - 0.91$ )
- Deckeneffekte bei der wahrgenommenen Qualität des LLM und des eingeschätzten Lernzuwachses (Mittelwerte  $> 80\%$ )
- Signifikante Unterschiede bzgl. der spezifischen Aufgabenanforderungen (wahrgenommene kognitive Belastung der Strategie/Aufgabe, 4 Items  $\alpha = 0.88$ ):  
 $t(66) = 2.33, p = 0.02, d = 0.57$
- Beispielitems:
  - 11: Ich fand es schwierig, die Veränderung von Vektorfeldkomponenten zu beurteilen.
  - 12: Ich fand es anstrengend, mich auf eine Reihe bzw. Spalte zu konzentrieren, um die partielle Ableitung zu evaluieren.



# Zusammenfassung der Ergebnisse

Welchen Einfluss hat die Implementation von Zeichenaktivitäten in eine multi-repräsentationale Lehr-Lern-Umgebung zur Divergenz von Vektorfeldern auf ...

- (a) die Testleistung der Studierenden beim Beurteilen der Divergenz?  
⇒ Verbesserte Divergenzbeurteilung; kein Gruppenunterschied
- (b) das Konzeptverständnis der Studierenden über Divergenz?  
⇒ Verbessertes konzeptuelles Verständnis von Divergenz, höhere Antwortsicherheit; kein Gruppenunterschied
- (c) die Transferleistung bei gemischten partiellen vektoriiellen Ableitungen?  
⇒ Bessere Leistung und höhere Antwortsicherheit für LLM-nahe partielle Ableitungen gegenüber Transferaufgaben; kein Gruppenunterschied
- (d) die wahrgenommene mentale Anforderung der Studierenden?  
⇒ IG berichtet geringere (wahrgenommene) kognitive Belastung durch spezifische Aufgabenanforderungen (Komponentenzerlegung, Kovariation)



# Diskussion und Ausblick

- Insgesamt hohe Testleistungen (Problemlösen, Konzept- und Transfertest  $\approx 80\%$ )
  - ⇒ Positive Evaluation des LLM
  - ⇒ Einsatz in der Lehre
- Keine Unterschiede der Testleistungen zwischen IG und KG
  - ⇒ Fehlender Unterschied durch Blickdaten und Interviews erklärbar?
- Schwierigkeiten bei dem Transfer zu gemischten Ableitungen
  - ⇒ Weiterführende LLM mit Fokus auf Kovariation?

Multiple  
Repräsentationen und  
Zeichenaktivitäten als  
Zugänge zu  
Vektorfeldkonzepten –  
eine Eye-Tracking-  
Studie

Larissa Hahn

Ansatz und  
theoretischer  
Hintergrund

Studiendesign und  
Instrumente

Ergebnisse

Diskussion und  
Schlussfolgerungen

Literatur



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

und besonderen Dank an die AG der  
Physikdidaktik der Universität Göttingen für die  
Mithilfe bei der Datenerhebung!



EYE TRACKING LABOR DER PHYSIKDIDAKTIK GÖTTINGEN

[www.pheyelab.uni-goettingen.de](http://www.pheyelab.uni-goettingen.de)



# Literatur

- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33 (2), 131–152.
- Ainsworth, S., Prain, V. & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, 333 (6046), 1096–1097.
- Ainsworth, S. & Scheiter, K. (2021). Learning by drawing visual representations: Potential, purposes, and practical implications. *Current Directions in Psychological Science*, 30 (1), 61–67.
- Baily, C., Bollen, L., Pattie, A., Van Kampen, P. & De Cock, M. (2016, July). Student thinking about the divergence and curl in mathematics and physics contexts. In D. L. J. Alice Churukian & L. Ding (Hrsg.), *AIP Conference Proceedings, 2015 Physics Education Research Conference* (S. 51–54). College Park, MD: AIP.
- 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.
- Klein, P., Hahn, L. & Kuhn, J. (2021). Einfluss visueller Hilfen und räumlicher Fähigkeiten auf die graphische Interpretation von Vektorfeldern: Eine Eye-Tracking-Untersuchung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 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.
- Kohnle, A., Ainsworth, S. E. & Passante, G. (2020). Sketching to support visual learning with interactive tutorials. *Physical Review Physics Education Research*, 16 (2), 020139.
- Leopold, C. & Leutner, D. (2012). Science text comprehension: Drawing, main idea selection, and summarizing as learning strategies. *Learning and Instruction*, 22 (1), 16–26.
- Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C. P., Van Gog, T. & Van Merriënboer, J. J. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, 45 (4), 1058–1072.
- Rau, M. (2017, 04). Conditions for the effectiveness of multiple visual representations in enhancing stem learning. *Educational Psychology Review*, 29, 717–761.
- Singh, C. & Maries, A. (2013). Core graduate courses: A missed learning opportunity? In P. V. Engelhardt, A. D. Churukian & N. S. Rebello (Hrsg.), *AIP Conference Proceedings, 2012 Physics Education Research Conference* (Bd. 1513, S. 382–385). Philadelphia, PA: AIP.
- Stenning, K. & Oberlander, J. (1995). A cognitive theory of graphical and linguistic reasoning: Logic and implementation. *Cognitive Science*, 19 (1), 97–140.
- Wu, S. P. & Rau, M. A. (2018). Effectiveness and efficiency of adding drawing prompts to an interactive educational technology when learning with visual representations. *Learning and Instruction*, 55, 93–104.
- Zhang, J. & Norman, D. A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18 (1), 87–122.

Multiple  
Repräsentationen und  
Zeichenaktivitäten als  
Zugänge zu  
Vektorfeldkonzepten –  
eine Eye-Tracking-  
Studie

Larissa Hahn

Ansatz und  
theoretischer  
Hintergrund

Studiendesign und  
Instrumente

Ergebnisse

Diskussion und  
Schlussfolgerungen

Literatur

