

Triangulation von Verbal- und Blickdaten: Eine Eye-Tracking-Studie

Julia Hofmann*, Larissa Hahn*, Katarina Jelacic⁺, Ana Sušac⁺, Pascal Klein*

*Georg-August-Universität Göttingen, Physik und ihre Didaktik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen,

⁺Universität Zagreb, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb

julia.hofmann01@stud.uni-goettingen.de

Kurzfassung

Eye-Tracking erlangt in der physikdidaktischen Forschung immer mehr Bedeutung, da durch diese Methode Rückschlüsse auf kognitive Prozesse von Lernenden möglich sind. Studien weisen darauf hin, dass eine detaillierte Interpretation von Blickdaten jedoch nur mit weiteren qualitativen Datenquellen möglich ist. In der vorliegenden Eye-Tracking-Studie wurden 16 Studierende des ersten Semesters aufgefordert, während des Problemlösens auf drei unterschiedliche Arten ihren Bearbeitungsprozess zu verbalisieren. Im Retrospective Thinking Aloud (RTA) beschrieben sie ihren Bearbeitungsprozess, nachdem die Aufgabe gelöst wurde. Im Cued Retrospective Thinking Aloud (cRTA) erhielten die Studierenden ein Video ihrer eigenen Blickdaten, anhand dessen der Bearbeitungsprozess beschrieben werden sollte. Im Concurrent Thinking Aloud (CTA) sprachen sie ihre Gedanken während des Lösens der Aufgabe laut aus. Das Forschungsinteresse lag darin, zu untersuchen, welchen Einfluss die Triangulation von Blick- und Verbaldaten durch RTA, cRTA und CTA auf die kognitive Belastung, das Blickverhalten und den Informationsgehalt der Erklärungen hat. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die kognitive Belastung beim CTA im Vergleich zum RTA und cRTA tendenziell am höchsten wahrgenommen wurde. Im Informationsgehalt der Erklärungen lassen sich signifikante Unterschiede offenlegen: Während beim cRTA besonders deskriptive Äußerungen zu Handlungsschritten im Problemlöseprozess geäußert wurden, konnten sich beim CTA und RTA vor allem Äußerungen zu physikalischen Interpretationen abbilden lassen.

1. Einleitung

Das Auge nimmt im Alltag ständig visuelle Reize wahr. Ob durch Werbeplakate am Straßenrand, Zeitungsmedien, Film oder Fernsehen - das Auge spielt eine wichtige Rolle bei der Aufnahme von Informationen. Es ist zudem Vermittler zwischen einem visuellen Stimulus und dessen kognitiver Verarbeitung in spezifischen Arealen des Gehirns (Blake, 2013). Zusätzlich werden durch das Sehorgan Informationen selektiert und die Aufmerksamkeit gelenkt.

Kurzum: Das Auge ist an höchst komplexen und zentralen Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozessen von visuellen Reizen beteiligt. Da es die Schnittstelle zwischen visuellem Reiz und kognitiver Verarbeitung ist, bieten auch die Blickbewegungen eines Menschen potenziell Einblicke in Denkprozesse. Die Methode des Eye-Trackings nutzt nahinfrarote Strahlung, um die Augenbewegung eines Menschen zu detektieren und diese hochaufgelöst aufzuzeichnen (Rakoczi, 2012).

Viele Wissenschaftsdomänen bedienen sich bereits der Blickdatenerfassung mittels Eye-Tracking. In Bereichen wie Usability Testings (Rakoczi, 2009), Marketing (Wedel & Pieters, 2017) aber auch den Sprachwissenschaften (Kruger & Steyn, 2014) wurden durch Eye-Tracking vielversprechende Ergebnisse erzielt, die Einblicke in die Verarbeitung bestimmter Stimuli zulassen. Die Methode wird

zudem immer populärer, um Lernprozesse von SchülerInnen oder Studierenden im Allgemeinen zu erforschen. Es zeigt sich, dass auch in der physikdidaktischen Forschung Eye-Tracking zunehmend mehr Aufmerksamkeit über die letzten Jahre erlangte (Hahn & Klein, 2022). Dabei stehen meist Problemlöseprozesse im Forschungsfokus und der thematische Schwerpunkt variiert von der Elektrizitätslehre (Rosengrant, Thomson & Mzoughi 2009) über Mechanik (Hejnova & Kekule, 2018) hin zum allgemeinen Verständnis von Graphen (Brückner et al., 2020). So vielversprechend die Methode zu sein scheint, darf nicht vernachlässigt werden, dass durch Blickdaten mentale Prozesse nie gänzlich aufgeklärt werden können. Zahlreiche Eye-Tracking-Studien weisen darauf hin, dass für eine detailliertere Interpretation der Daten zusätzliches Datenmaterial - zum Beispiel in Form von Verbaldaten - notwendig wäre (Hahn & Klein, 2022).

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde diese Forschungslücke adressiert. Es wurde eine Eye-Tracking-Studie durchgeführt, die auf die Verknüpfung von Blick- und Verbaldaten abzielt. Die Studienteilnehmenden sollten während bzw. nach der Bearbeitung einer Aufgabe ihre eigenen Denkprozesse verbalisieren. Es wurden gezielt drei Methoden der Verbaldatenaufnahme evaluiert, die in der Forschung vielfach Anwendung finden: Dabei handelt es sich um das Retrospective, Cued Retrospective und Concurrent Thinking Aloud. Ziel

der Studie war es zu erforschen, welchen Einfluss die Triangulation von Blick- und Verbaldaten durch ebendiese Aufnahmemethoden auf die kognitive Belastung, das Blickverhalten und den Informationsgehalt der Erklärungen während des Problemlöseprozesses hat.

2. Wissenschaftlicher Hintergrund

2.1. Eye-Tracking

Die Blickbewegungen eines Menschen können Einblicke in das komplexe Zusammenspiel von Auge und kognitiven Prozessen und damit auch in zugrundeliegende Denk- oder Verarbeitungsprozesse geben (Airey & Eriksson, 2019; Karnath & Thier, 2012; Rakoczi, 2012). Heutzutage bieten computergestützte Eye-Tracking-Systeme die Möglichkeit, mit einer hohen Auflösung Blickbewegungen präzise durch nahinfrarote Strahlung zu erfassen (Blake, 2013).

Charakteristisch für das menschliche Auge sind stakkartoartige Bewegungen (Rakoczi, 2012). Diese lassen sich in zwei zentrale Bestandteile aufteilen: Fixationen und Sakkaden (Krauzlis, Goffart & Hafeld, 2017). Eine Fixation beschreibt einen nahezu stillen Zustand des Auges, bei dem ein Punkt oder ein Objekt über einen gewissen Zeitraum (ca. 0.3 s) betrachtet wird. Sehr schnelle und ruckartige Bewegungen des Auges zwischen aufeinanderfolgenden Fixationen werden Sakkaden genannt. Durch diese wird ein neues ursprünglich peripheres Objekt in den Fokus der Aufmerksamkeit gebracht.

In vielen Wissenschaftsdomänen, wie auch der Physikdidaktik, wird bereits mittels Eye-Tracking geforscht. Häufig zielten die Studien darauf ab, Problemlösestrategien offenzulegen oder auch eine Abhängigkeit von Leistung und Expertise einer Person zu untersuchen (Rosengrant, Thomson & Mzoughi 2009). Auch das Verständnis von physikspezifischen Diagrammen steht in einigen Studien im Forschungsfokus (Brückner et al., 2020; Sušac et al., 2019).

Eye-Tracking stellt eine vielversprechende Methode dar, die in der Physikdidaktik immer mehr Bedeutung erlangt. Jedoch können dadurch nicht alle kognitiven Prozesse gänzlich aufgeklärt werden (Rakoczi, 2012). Viele Studien weisen darauf hin, dass durch zusätzliches Datenmaterial verlässlichere Aussagen über Denkprozesse getroffen werden könnten (Brückner et al., 2020; Klein et al., 2021; Smith, Mestre & Ross, 2010; Sušac et al., 2019). Zur Generierung von unterstützenden Daten bieten sich bspw. schriftliche oder auch verbalisierte Erklärungen an (Hahn & Klein, 2022).

2.2. Verbaldatenmethoden

Eine Möglichkeit ergänzendes Datenmaterial zu generieren, bieten Verbalisierungen. Ericsson und Simon (1980) stellten das Concurrent Thinking Aloud (CTA) und das Retrospective Thinking Aloud (RTA) vor. Im CTA werden die eigenen Gedanken

gleichzeitig zu einer Tätigkeit verbalisiert. Im Gegensatz dazu werden beim RTA Gedanken vergangener Handlungen wiedergegeben. Durch die Kombination mit Eye-Tracking ergibt sich eine weitere Methode, die an das RTA angelehnt ist: Cued Retrospective Thinking Aloud (cRTA). Hier soll retrospektiv zu einem Video der eigenen Blickdaten berichtet werden.

Zahlreiche Studien haben sich bereits der Methode des CTA bedient und einige Einblicke in Problemlöseprozesse und -strategien sowie Lernhürden erlangen können (van den Haak, De Jong & Schellens, 2003; Van Someren, Barnard & Sandberg, 1994). Vernachlässigt werden sollte jedoch nicht, dass durch die gleichzeitige Verbalisierung der eigenen Gedanken eine weitere nicht zu vernachlässigende Aufgabe hinzukommt, die den Problemlöseprozess bspw. in Bezug auf die Leistung und Bearbeitungsdauer sowohl positiv als auch negativ beeinflussen könnte (Hoc & Leplat, 1983; van den Haak, De Jong & Schellens, 2003). Eine mögliche zusätzlich hinzukommende kognitive und somit lernhinderliche Belastung sollte auch nicht vernachlässigt werden (Park, Korbach & Brünken, 2020).

Das retrospektive Berichten beim RTA konnte in zahlreichen Studien bislang auch einige interessante Aufschlüsse über mentale Denkprozesse und Problemlösestrategien liefern (Van Gog et al., 2005; Camps, 2003). Ein Vorteil gegenüber dem CTA stellt hierbei insbesondere der uneingeschränkt ablaufende vorangegangene Bearbeitungsprozess dar (van den Haak, De Jong & Schellens, 2003). Dennoch muss beim RTA die zeitliche Entkopplung von Bearbeitungsprozess und Beschreibung der Gedankenschritte beachtet werden, da so unvollständige oder nicht wahrheitsgetreue Informationen wiedergegeben werden könnten (Ericsson & Simon, 1980).

Die Verbindung vom Blickdaten mit dem retrospektiven Berichten im cRTA erfuhr bislang wenig Anwendung (Van Gog et al., 2005). Das zusätzliche Bereitstellen des Blickdatenvideos könnte jedoch die Erinnerung an den Bearbeitungsprozess stützen und verlässlichere Erklärungen im Vergleich zum RTA generieren.

Die drei Methoden RTA, cRTA und CTA lassen vielversprechende Einblicke in Problemlöseprozesse zu. Durch eine systematische Evaluation der drei Methoden könnte sich ein konsistentes Bild des Informationsgehalts der drei Verbaldatenmethoden im Vergleich zeichnen.

2.3. (Fach-)Didaktische Perspektive

2.3.1. Problemlöseprozessmodell

Problemlöseumgebungen sind besonders dafür geeignet kognitive Prozesse zu untersuchen, weswegen sie Forschungsgegenstand vieler Studien sind. Das Problemlöseprozessmodell von Pölya stellt ein grundlegendes Modell dar, um

Problemlöseprozesse in vier Phasen zu charakterisieren (Heinrich, Bruder & Bauer, 2015): Verstehen des Problems, Ausdenken eines Plans, Ausführung des Plans und eine Rückschau. Durch diese vier sehr fundamentalen Phasen kann das Modell durchaus auch in der Physikdidaktik Problemlöseumgebungen beschreiben (Brandenburger, 2016).

2.3.2. Repräsentationsformen und Problemlöseumgebungen

Effektives Lernen und die nachhaltige Konstruktion von Wissen wird nach WissenschaftlerInnen unterstützt, wenn Repräsentationsformen eingesetzt werden (Ainsworth, 1999). In Problemlöseumgebungen können durch sog. multiple Repräsentationen besonders kognitive Prozesse unterstützt und ein tieferes Verständnis fachspezifischer Inhalte gefördert werden (Bollen et al., 2017).

Aus dem Bereich der Astrophysik ist das Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) als Repräsentationsform von zentraler Bedeutung (Hanslmeier, 2020), um bspw. Sterne in Bezug auf vier zentrale Größen (absolute Magnitude, Leuchtkraft, Temperatur, Spektralklasse) zu charakterisieren. In Bereichen, wie der Elektrizitätslehre (Demtröder, 2004) oder der Strömungsmechanik (Rein, 2020), werden häufig Vektorfelder als Repräsentationsformen genutzt. So lassen sich Phänomene bspw. durch elektrische Felder oder Strömungsfelder beschreiben.

2.4. Forschungsfragen

Die Studienlage weist darauf hin, dass die Methode des Eye-Trackings unbedingt mit einer zusätzlichen qualitativen Datenquelle - wie Verbaldaten - verbunden werden sollte (Hahn & Klein, 2022). Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde diese Forschungslücke adressiert und ein systematischer Vergleich von RTA, cRTA und CTA angestrebt. Es ergeben sich dabei die folgenden Forschungsfragen:

Welchen Einfluss hat die Triangulation von Blick- und Verbaldaten durch (a) Concurrent, (b) Retrospective und (c) Cued Retrospective Thinking Aloud auf...

- (FF1) die kognitive Belastung beim Problemlösen?
- (FF2) das Blickverhalten beim Problemlösen?
- (FF3) den Informationsgehalt der Erklärungen?

3. Methoden

3.1. Studiendurchführung

Die Eye-Tracking-Studie wurde zu Beginn des Wintersemesters 2022/23 an der Georg-August-Universität Göttingen durchgeführt. Insgesamt wurden 16 Physikstudierende des ersten Semesters rekrutiert. Davon waren sieben weiblich.

Das Studiendesign ist in Abb. 1 zu sehen. Zunächst wurde das Vorwissen der Teilnehmenden zur Astrophysik und zu Vektorfeldern in einem

Vorwissenstest abgeprüft. Während der Hauptphase der Studie wurden jeweils sechs Aufgaben zum HRD und zu Vektorfeldern bearbeitet. Gleichzeitig wurden hierbei Blickdaten über ein stationäres Eye-Tracking-System (Tobii X2, 120 Hz) erhoben. Die Teilnehmenden wurden außerdem dazu aufgefordert, ihre Gedanken im RTA, cRTA und CTA zu verbalisieren. An die Hauptphase schloss sich ein Fragebogen an, in dem die Teilnehmenden die subjektiv wahrgenommene kognitive Belastung einer jeden Verbaldatenmethode angeben sollten. Dieser Fragebogen wurde in Anlehnung an die Cognitive-Load-Skala von Klepsch, Schmitz und Seufert (2017) erstellt. Jedes der acht Items bestand aus einer Aussage (bspw. Item 3: Ich war bei der Aufgabenbearbeitung geistig stark eingeschränkt.). Jede Aussage sollte von den Teilnehmenden jeweils für RTA, cRTA und CTA eingeschätzt werden.

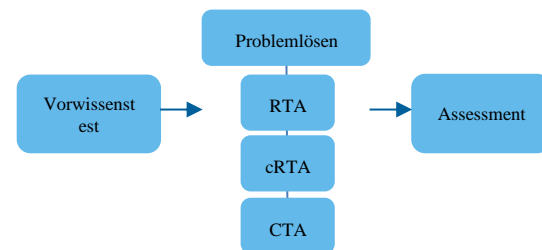


Abb. 1: Studiendesign mit Verbaldatenaufnahme durch Retrospective (RTA), Cued Retrospective (cRTA) und Concurrent Thinking Aloud (CTA). Das anschließende Assessment umfasst die Erhebung der kognitiven Belastung.

3.2. Eye-Tracking-Stimuli

Die Stimuli der Eye-Tracking-Studie bestanden aus zwölf Aufgaben zu zwei unterschiedlichen Kontexten (je sechs Aufgaben). In Abb. 2 und 3 ist jeweils eine Beispielaufgabe zum HRD und zu Vektorfeldern abgebildet. Es wurden jeweils zwei Aufgaben hintereinander unter Zuhilfenahme derselben Verbaldatenmethode bearbeitet. Die Aufgabenreihenfolge blieb gleich, lediglich die Reihenfolge der genutzten Verbaldatenmethoden wurde unter allen Teilnehmenden variiert.

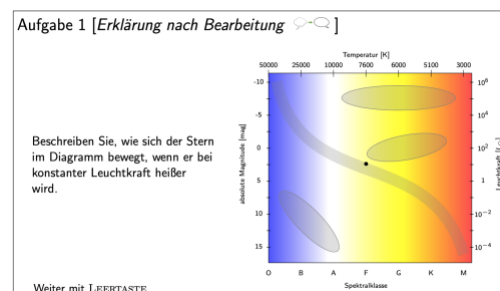


Abb. 2: Beispielaufgabe zum Hertzsprung-Russell-Diagramm.

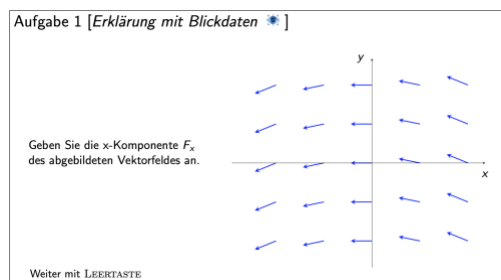


Abb. 3: Beispielaufgabe zu Vektorfeldern.

4. Ausgewählte Ergebnisse

4.1. Kognitive Belastung (FF1)

Die subjektiv wahrgenommene kognitive Belastung wurde anhand eines Fragebogens mit acht Items erhoben ($\alpha = .77$). Auf der zehnstufigen Skala ging 0 mit der niedrigsten und 10 mit der höchsten kognitiven Belastung einher. Die mittlere kognitive Belastung beim RTA betrug 3.72 (SD = 1.29), beim cRTA 3.45 (SD = 1.26) und beim CTA 4.45 (SD = 2.26). Eine Varianzanalyse (analysis of variance; ANOVA) mit Messwiederholung zeigte jedoch, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den drei Methoden vorlag ($F(1.20,17.02) = 1.62$; $p = .22$; $\eta_p^2 = .10$).

4.2. Blickdaten (FF2)

Die Blickdaten wurden für beide Kontexte getrennt voneinander analysiert. Beim HRD standen für eine Aufgabe physikalisch relevante bzw. irrelevante Bereiche zum Lösen einer Aufgabe im Vordergrund. Hierfür wurden sog. Areas of Interest (AOI) analysiert und deren Betrachtungszeit (Total Visit Duration) zwischen den einzelnen Verbaldatenmethoden verglichen. Bei den Aufgaben zu Vektorfeldern wurden die Sakkadenbewegungen analysiert. In beiden Kontexten zeigten sich jedoch keine signifikanten Einflüsse der drei Verbaldatenmethoden auf das Blickverhalten der Teilnehmenden.

4.3. Verbaldaten (FF3)

In den Kodierungsprozess wurde jeweils eine HRD- und eine Vektorfeld-Aufgabe mit einbezogen. Die Kodierung und Kategorienbildung wurden deduktiv durchgeführt. Da Informationen über den Problemlöseprozess und deren Gehalt im Fokus standen, wurde hierzu das Modell von Pölya herangezogen und als Grundlage genutzt. Die vier Kategorien wurden angepasst und während des Prozesses weiter geschärft. Die vier Kategorien waren: Orientierung, Handlungsschritte, Vernetzung und Überprüfung (vgl. Tab. 1).

Für einen relativen Vergleich wurde für jede Person die Anzahl der kodierten Aussagen pro Kategorie pro Aufgabe durch die Gesamtanzahl getroffener Aussagen pro Aufgabe dividiert. Eine anschließende Mittelung über alle Teilnehmenden ergibt die

relativen Häufigkeiten, die eine Vergleichbarkeit zwischen den Studierenden herstellen. In Abb. 4 sind die relativen Häufigkeiten pro Kategorie zu sehen.

Im absoluten Vergleich wurden beim cRTA mehr Aussagen getroffen (Total: 116) als beim CTA (Total: 80) und beim RTA (Total: 68). Eine ANOVA mit Messwiederholung zeigte im relativen Vergleich für die Kategorien Orientierung ($F(2,18) = 4.40$; $p = .03$; $\eta_p^2 = .33$), Handlungsschritte ($F(2,18) = 13.78$; $p < .001$; $\eta_p^2 = .61$) und Überprüfung ($F(2,18) = 15.61$; $p < .001$; $\eta_p^2 = .63$) ein signifikantes Ergebnis.

Tab. 1: Beschreibung der Kategorien.

Kategorie	Beschreibung und Ankerbeispiel
Orientierung	Ablezen von Wörtern/Sätzen vom Bildschirm; Nennen von gesuchten Größen Bsp.: „Und jetzt soll eine Aussage zur Leuchtkraft getroffen werden.“
Handlungsschritte	Verbalisierung von Handlungen der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft; Beschreibung und Verbalisierung von einzelnen Schritten auf dem Weg zur Lösung Bsp.: „Ich bin vorgegangen, indem ich erstmal alle Punkte angeschaut habe.“
Vernetzung	In Bezug setzen der Eigenschaften von Objekten des Diagramms (qualitativ und quantitativ); Verbalisierung von Zusammenhängen und Abhängigkeiten physikalischer Größen (qualitativ und quantitativ) Bsp.: „Also als die x-Achse größer wurde, wurde die y-Komponente auch größer.“
Überprüfung	Verbalisierung von Überprüfungen der eigenen Erkenntnisse Bsp.: „Dann habe ich mich da nochmal abgesichert.“

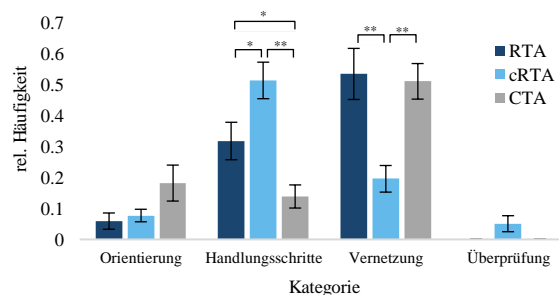


Abb. 4: Relative Häufigkeiten pro Kategorie (*: 5%-Signifikanzniveau; **: 1%-Signifikanzniveau).

5. Diskussion

Ziel der Eye-Tracking-Studie war die Untersuchung der Triangulation von Blick- und Verbaldaten durch RTA, cRTA und CTA. Dabei stand der dadurch hervorgerufene Einfluss auf die kognitive Belastung,

das Blickverhalten und der Informationsgehalt der Erklärungen im Fokus.

Es konnte herausgefunden werden, dass beim CTA in der Tendenz eine höhere kognitive Belastung im Vergleich zu den anderen beiden Methoden wahrgenommen wurde. Auch Park, Korbach und Brünken (2020) fanden heraus, dass die subjektiv wahrgenommene Belastung durch das zusätzliche Verbalisieren der Gedankengänge erhöht war.

Es ließ sich kein signifikanter Einfluss der Verbaldatenmethoden auf das Blickverhalten der Teilnehmenden sowohl für die HRD- als auch die Vektorfeld-feststellen.

Die drei Verbaldatenmethoden bringen einen unterschiedlichen Informationsgehalt mit sich. Die Analysen der Ergebnisse weisen darauf hin, dass signifikant mehr Aussagen zu Handlungsschritten während des Problemlöseprozesses beim cRTA im Vergleich zum RTA und CTA getroffen wurden. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Betrachtung des Videos die Teilnehmenden dazu verleitet hat, lediglich zu reproduzieren, welche Bereiche des visuellen Stimulus nacheinander betrachtet wurden. Die Studierenden verfielen häufig in rein deskriptive Äußerungen zu aufeinanderfolgenden Tätigkeiten während des Löseprozesses.

In Bezug auf die Kategorie Vernetzung lässt sich bemerken, dass cRTA weniger Aufschluss über Aussagen zu physikalischen Interpretationen zugelassen hat. RTA und CTA bieten hier im Vergleich mehr Einblicke. Dieser Unterschied lässt sich eng in Verbindung mit dem Verbalisieren von Handlungsschritten erkennen. Beim cRTA scheint es, als ob die Studierenden eine Videobeschreibung abgeben und weniger Zusammenhänge physikalisch interpretiert haben.

Da beim RTA und cRTA retrospektiv berichtet wurde, muss beachtet werden, dass die Erklärungen durch die zeitliche Abkopplung nicht unbedingt den Bearbeitungsprozess in jedem Detail wiedergegeben haben. Es könnte sein, dass Informationen (unbewusst) hinzugefügt oder auch ausgelassen wurden (Camps, 2003). Weiter wurde den Studierenden beim RTA für die Erklärungen erneut der visuelle Stimulus präsentiert. Auch beim cRTA haben sie diesen in Verbindung mit ihren Blickdaten abermals sehen können. Es könnte sein, dass durch das wiederholte Betrachten des visuellen Stimulus auch neue Erkenntnisse mit in die Erklärungen einfließen und nicht alle Gedanken des eigentlichen Problemlöseprozesses wahrheitsgetreu abgebildet werden konnten (Klein, 2018).

5.1. Limitationen

Die Aussagekraft der durchgeführten Studie unterliegt gewissen Limitationen. Zu Beginn muss beachtet werden, dass sich die Anzahl der Teilnehmenden lediglich auf 16 Personen beschränkte. Weitere Erstsemesterstudierende ließen sich nicht rekrutieren, was auf den hohen

Zeitaufwand zu Beginn des Studiums zurückzuführen sein könnte. Die Vergleiche von RTA, cRTA und CTA beziehen sich somit immer nur auf Vergleiche von drei Gruppen mit vier bis sechs Personen, was bei einer Generalisierung der Ergebnisse unbedingt Berücksichtigung finden sollte.

Im Hinblick auf die Methode des cRTA muss bedacht werden, dass die zeitliche Abkopplung der Erklärungen zum Problemlöseprozess noch stärker ins Gewicht fällt als beim RTA. Dadurch könnte es zu noch größeren Gedächtnislücken kommen. Es wurde dennoch stets darauf Wert gelegt, den zeitlichen Versatz so gering wie möglich zu halten.

Weiter wurde die Kodierung lediglich durch eine Person durchgeführt. Es ist jedoch anzumerken, dass die Kodierung der Verbaldaten durch mehrere unabhängige KodiererInnen unumgänglich ist und die Interrater-Reliabilität ein wesentliches Qualitätsmerkmal darstellt. Dies könnten weiterführende Untersuchungen leisten.

6. Fazit und Ausblick

Die Erfassung von Blickdaten bietet eine vielversprechende Methode, Problemlöseprozesse zu untersuchen und die „Black Box“ der kognitiven Prozesse eines Menschen zu ergründen. Bisherige Eye-Tracking-Studien weisen jedoch vielfach darauf hin, dass zusätzliches Datenmaterial benötigt wird, um genauere Erkenntnisse über Denkprozesse zu erlangen (Hahn & Klein, 2022). Verbaldaten können an dieser Stelle als zusätzliche Datenquelle dienen. Die Ergebnisse der durchgeführten Studie zeigen, dass eine tendenziell erhöhte kognitive Belastung mit der Methode des CTA einherging. Dennoch zeigte sich kein Einfluss der drei Verbaldatenmethoden auf das Blickverhalten der Teilnehmenden beim Problemlösen. Es konnten weiter erkennbare Einflüsse auf den Informationsgehalt der Erklärungen festgestellt werden. In den Verbaldaten, die durch das cRTA erhoben wurden, ließen sich überwiegend beschreibende Äußerungen zu Handlungsschritten identifizieren. Beim CTA und cRTA hingegen wurden vermehrt physikalische Interpretationen des vorliegenden Sachverhalts geäußert.

Auf Grundlage dieser Studienergebnisse können Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die weiteren Eye-Tracking-Studien dazu dienen könnten, angemessene Verbaldatenmethoden auszuwählen. Je nach Forschungsfokus und -interesse bieten sich unterschiedliche Verbaldatenmethoden an, um zusätzliches Datenmaterial zu erheben. Auf Grundlage der in dieser Studie erzielten Ergebnisse, werden die nachfolgenden Empfehlungen bezüglich der Wahl einer geeigneten Methode ausgesprochen. Liegt das Forschungsinteresse bei deskriptiven Äußerungen zum Problemlöseprozess, können dementsprechende Informationen besonders durch das cRTA offengelegt werden. Hierdurch lassen sich im Besonderen beschreibende Äußerungen zum Vorgehen abbilden. Sind im Gegensatz dazu Informationen über physikalische Interpretationen

oder Zusammenhänge von Interesse, sollte das CTA oder RTA genutzt werden. Die Ergebnisse dieser und weiterer Studien bemerken jedoch, dass die lernhinderliche kognitive Belastung beim CTA tendenziell höher ist und demnach berücksichtigt werden sollte. Diese Handlungsempfehlungen sollten jedoch stets vor dem Hintergrund der Limitationen und insbesondere der geringen Studienteilnehmerzahl gesehen werden.

7. Literatur

- Ainsworth, Shaaron (1999): The functions of multiple representations. In: *Computers & Education*, 33 (2), S. 131-152, [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(99\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(99)00029-9)
- Airey, John; Eriksson, Urban (2019): Unpacking the Hertzprung-Russell Diagram: A Social Semiotic Analysis of the Disciplinary and Pedagogical Affordances of a Central Resource in Astronomy. In: *Designs for Learning*, 11 (1), S. 99–107, <https://doi.org/10.16993/dfl.137>
- Blake, Christopher (2013): Eye-Tracking: Grundlagen und Anwendungsfelder. In: Wiebke Möhring & Daniela Schlütz (Hrsg.), *Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft* (S. 367–387). Springer, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-531-18776-1.pdf>
- Bollen, Laurens; van Kampen, Paul; Baily, Charles; De Cock, Mieke (2017): Student difficulties regarding symbolic and graphical representations of vector fields. In: *Physical Review Physics Education Research*, 13 (2), <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.13.020109>
- Brandenburger, Martina (2016): Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? (Dissertation, Pädagogische Hochschule Freiburg), <https://www.logos-verlag.de/cgi-bin/engbuchmid?isbn=4409&lng=deu&id=>
- Brückner, Sebastian; Schneider, Jan; Zlatkin-Troitschanskaia, Olga; Drachsler, Hendrik (2020): Epistemic Network Analyses of Economics Students' Graph Understanding: An Eye-Tracking Study. In: *Sensors*, 20 (23), <https://doi.org/10.3390/s20236908>
- Camps, Joaquim (2003): Concurrent and Retrospective Verbal Reports as Tools to Better Understand the Role of Attention in Second Language Tasks. In: *International Journal of Applied Linguistics*, 13 (2), S. 201-221, <https://doi.org/10.1111/1473-4192.00044>
- Demtröder, Wolfgang (2004): *Experimentalphysik 2 Elektrizität und Optik* (4. Aufl.). Springer, <https://doi.org/10.1007/3-540-35146-9>
- Ericsson, Kelly Anders; Simon, Herbert Alexander (1980): Verbal reports as data. In: *Psychological Review*, 87 (3), S. 215–251, <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.3.215>
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2022): Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. In: *Physical Review Physics Education Research*, 18 (1). doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.013102>
- Hanslmeier, Arnold (2020): *Einführung in Astronomie und Astrophysik* (4. Aufl.). Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60413-7>
- Heinrich, Frank; Bruder, Regina; Bauer, Christina (2015): Problemlösen lernen. In: Regina Bruder, Lisa Hefendehl-Hebeker, Barbara Schmidt-Thieme & Hans-Georg Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 279–301). Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35119-8>
- Hejnova, Eva; Kekule, Martina (2018): Observing students' problem solving strategies in mechanics by eye-tracking method. In: *Scientia in Educatione*, 9 (2), S. 102-116, <https://doi.org/10.14712/18047106.1018>
- Hoc, Jean-Michel; Leplat, Jacques (1983): Evaluation of different modalities of verbalization in a sorting task. In: *International Journal of Man-Machine Studies*, 18 (3), S. 283-306, [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(83\)80011-X](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(83)80011-X)
- Karnath, Hans-Otto; Thier, Peter (2012): *Kognitive Neurowissenschaften* (3. Aufl.). Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25527-4>
- Klein, Pascal, Viiri, Jouni, Mozaffari, Shirin, Dengel, Andreas; Kuhn, Jochen (2018): Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots? In: *Physical Review Physics Education Research*, 14 (1) <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010116>
- Klepsch, Melina; Schmitz, Florian; Seufert, Tina (2017): Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. In: *Frontiers in Psychology*, 8, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997>
- Krauzlis, Richard; Goffart, Laurent; Hafed, Ziad (2017): Neuronal control of fixation and fixational eye movements. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372 (1718), <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0205>
- Kruger, Jan-Louis; Steyn, Faans (2014): Subtitles and eye tracking: Reading and performance. In: *Reading Research Quarterly*, 49 (1), S. 105–120, <http://doi.org/10.1002/rrq.59>
- Park, Babette; Korbach, Andreas; Brünken, Roland (2020): Does thinking-aloud affect learning, visual information processing and cognitive load when learning with seductive details as expected from self-regulation perspective? In:

- Computers in Human Behavior, 111, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106411>
- Rakoczi, Gergely (2009): Untersuchung des Benutzer-Verhaltens beim E-Learning: Eine Eye Tracking Studie des Systems Moodle (Diplomarbeit, Technische Universität Wien), https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_18284_7.pdf
- Rakoczi, Gergely (2012): Eye Tracking in Forschung und Lehre. Möglichkeiten und Grenzen eines vielversprechenden Erkenntnismittels. In: Gottfried Csanyi, Franz Reichl & Andreas Steiner (Hrsg.), Digitale Medien - Werkzeuge für exzellente Forschung und Lehre (S. 87–98). Waxmann, <https://doi.org/10.25656/01:8301>
- Rein, Martin (2020): Einführung in die Strömungsmechanik. Universitätsverlag Göttingen, <https://doi.org/10.17875/gup2020-1362>
- Rosengrant, David; Thomson, Colin; Mzoughi, Taha (2009): Comparing Experts and Novices in Solving Electrical Circuit Problems with the Help of Eye-Tracking. In: AIP Conference Proceedings, 1179 (249), S. 249-252, <https://doi.org/10.1063/1.3266728>
- Smith, Adam; Mestre, Jose; Ross, Brian (2010): Eye-gaze patterns as students study worked-out examples in mechanics. In: Physical Review Physics Education Research, 6 (2), <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020118>
- Sušac, Ana; Bubic, Andreja; Planinic, Maja; Movre, Marko; Palmovic, Marijan (2019): Role of diagrams in problem solving: An evaluation of eye-tracking parameters as a measure of visual attention. In: Physical Review Physics Education Research, 15 (1), <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.013101>
- van den Haak, Maaïke; De Jong, Menno; Schellens, Peter Jan (2003): Retrospective vs. concurrent think-aloud protocols: Testing the usability of an online library catalogue. In: Behaviour and Information Technology, 22 (5), S. 339-351, <https://doi.org/10.1080/0044929031000>
- van Gog, Tamara; Paas, Fred; Van Merriënboer, Jeroen; Witte, Puk (2005): Uncovering the problem-solving process: Cued retrospective reporting versus concurrent and retrospective reporting. In: Journal of Experimental Psychology: Applied, 11 (4), S. 237–244, <https://doi.org/10.1037/1076-898X.11.4.237>
- Van Someren, Maarten; Barnard, Yvonne; Sandberg, Jacobijn (1994): The think aloud method - a practical guide to modelling cognitive processes. Academic Press, <https://www.researchgate.net/publication/215439100>
- Wedel, Michel; Pieters, Rik (2017): A review of eye-tracking research in marketing. In: Review of Marketing Research, 4, S. 123–147,

[https://doi.org/10.1108/S1548-6435\(2008\)0000004009](https://doi.org/10.1108/S1548-6435(2008)0000004009)