

## Abstrakt vs. Foto vs. Fotorealistisch Repräsentationen von Versuchsaufbauten

Adrian Voßkühler, Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin (Didaktik der Physik), Arnimallee 14, 14195 Berlin

### Kurzfassung

In einer Studie mit 52 Versuchspersonen wurde das erfolgreiche Bearbeiten von einfachen physikalischen Aufgaben an Versuchsaufbauten in abstrakter, fotografischer oder fotorealistischer Repräsentation mit Hilfe von Blickbewegungsmessung untersucht. Die Untersuchung stellt Vor- und Nachteile der verschiedenen Repräsentationstypen heraus und widmet sich der Identifikation von Blickvariablen, die weitergehenden Informationen über zugrundeliegende Prozesse liefern.

### 1. Einführung

Die vorliegende Studie geht dem Einfluss verschiedener Repräsentationsformate von Versuchsaufbauten am Bildschirm auf das Lösen einfacher physikalischer Fragestellungen nach. Eine anhaltende Diskussion in der Didaktik bezieht sich unter diesem Gesichtspunkt auf die Frage, ob formale und abstrakte Darstellungen aufgrund reduzierter Komplexität das Lernen erleichtern (Lenzner 2009). Darauf gibt es bislang keine eindeutige Antwort. Auf der anderen Seite gibt es kommerzielle Lernsoftware, die realistischere, sogar fotorealistische Repräsentationen bevorzugen (Lernspiel Physikus, Klett Verlag). Diese unterscheiden sich hauptsächlich hinsichtlich reduzierter Komplexität von herkömmlichen Lernmaterialien, um so die Aufmerksamkeit der Lernenden auf die wesentlichen Elemente zu lenken und ist speziell für jüngere Schülerinnen und Schüler konzipiert (ein Beispiel aus dem Physikus Lernspiel zeigt Abbildung 1, mitte).

Die Studie ist darauf ausgelegt, die verschiedenen Repräsentationsformate miteinander zu vergleichen und Hypothesen für die Analyse von Blickbewegungsdaten zu liefern. Zur Konzeption dienten dabei die folgenden Leitfragen: „Lässt sich nachweisen, dass Repräsentationen mit reduzierter Komplexität wie abstrakte Darstellungen Lernende beim Lösen einfacher physikalischer Aufgabenstellungen unterstützen? Und wenn ja, lässt sich dieser Unterschied

auch in den Blickbewegungsdaten wiederfinden?“ Folgt man Just & Carpenter 1976, so sollte sich das aufgrund des erhöhten Verarbeitungsaufwands bspw. in längeren durchschnittlichen Fixationsdauern bei komplexeren Repräsentationen widerspiegeln.

### 2. Design

Die gezeigten Stimuli bestehen aus 52 Fotos von 13 physikalischen Versuchsaufbauten, die jeweils in drei verschiedenen Repräsentationsformaten aufgebaut sind (siehe Abbildung 1).

- Abstrakte Darstellung des Versuchs bestehend aus Strichzeichnungen.
- Fotorealistische, komplexitätsreduzierte Abbildungen aus dem Lernspiel Physikus.
- Fotos von real aufgebauten Experimenten.

Dabei wurde auf die Vergleichbarkeit der Bilder innerhalb eines Kontextes besonderen Wert gelegt, in dem bspw. die Anzahl und Reihenfolge der gezeigten Elemente möglichst konstant gehalten wurde. Ebenso wurden Versuche aus allen Bereichen der Physik ausgewählt, um systematische Einflüsse eines Themengebiets zu verringern.

Nach einem Probelauf mit einem Versuch zur Kraftmessung, bei dem das Verfahren ausprobiert und ggf. weitere Erklärungen von der Versuchslleitung gegeben werden konnten, wurden den Ver-

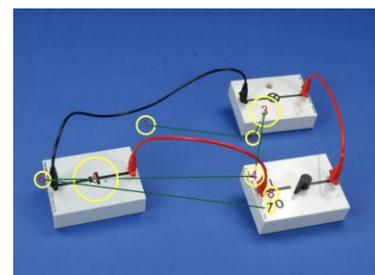
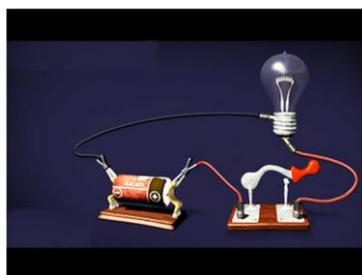
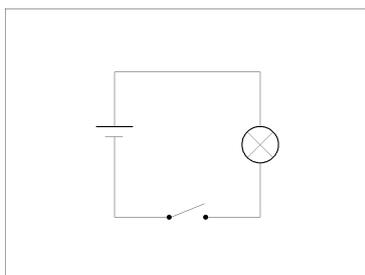
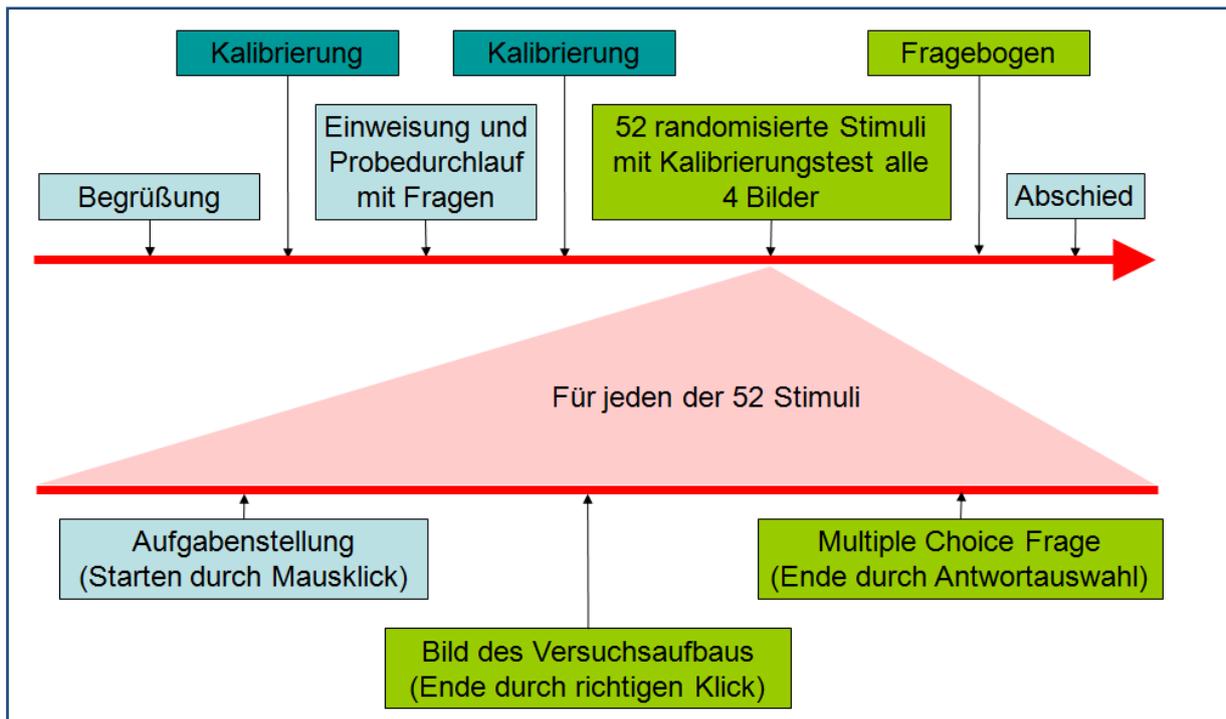


Abbildung 1: Ein Beispiel der verschiedenen Repräsentationen eines physikalischen Versuchsaufbaus zum Thema Stromkreis einer Glühlampe.



**Abbildung 2:** Versuchsablauf der Studie zu Repräsentationen

suchspersonen alle 52 Versuchsaufbauten nacheinander in zufälliger Reihenfolge auf einem 17'' Monitor ohne Intervention der Versuchsleitung präsentiert. Vor jedem Stimulus wurde eine Aufgabe zu dem kommenden Bild auf dem Monitor eingeblendet.

Jede Aufgabe war dabei eindeutig lösbar durch genau einen Mausklick mit der linken Maustaste auf den Bereich des gezeigten Bildes mit dem richtigen Objekt. Wurde der Bereich richtig angeklickt, so veränderte sich der Versuchsaufbau in der erwarteten Art und Weise, beispielsweise wurde der Schalter geschlossen und die Lampe leuchtete bei der Aufgabe aus Abbildung 1. **Abbildung 3** zeigt den Ablauf des Versuchs in einer grafischen Übersicht.

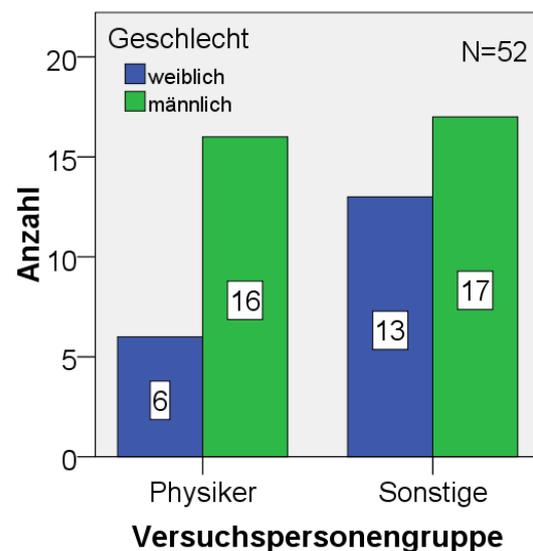
Die Versuchspersonen saßen während der Durchführung auf einem höhenverstellbaren Stuhl. Der Kopf war mit Hilfe von Kinn- und Stirnstütze in der Blickbewegungsregistriereinrichtung mit etwa 60cm Entfernung vom Bildschirm fixiert. Außerdem stand eine Computermaus für die Eingabe zur Verfügung. Die Umgebungsbeleuchtung war gleichmäßig gedimmt durch Leuchtstoffröhren, und es gab keinen Tageslichteinfall. Die Blickdaten wurden mit einer Samplingrate von 240 Hz von einem videobasierten Gerät der Firma Senso Motoric Instruments (iViewX Hi-Speed) registriert. Die Mausdaten wurden mit 60 Hz von der Präsentationssoftware Presentation 10.0 (Neurobehavioral Systems Inc.) aufgezeichnet. Die Präsentationssoftware sorgte außerdem für das Synchronisieren beider Datenströme, das präzise Timing der Präsentationsabschnitte und die Randomisierung der Stimuli. Die Kalibrierung der Blickregistrierung wurde nach jeweils vier Bildern überprüft und ggf. neu gestartet. Im Anschluss an den Versuch erhielt

ten die Versuchspersonen einen Kurzfragebogen zu Ausbildung, Alter, Händigkeit und Motivation.

Die Anonymisierung wurde dadurch sichergestellt, dass die Aufzeichnungen und Fragebögen unter von den Versuchspersonen selbst ausgedachten und eingegebenen Kürzeln abgelegt und die Aufnahmen in fast allen Fällen von anderen Personen als der auswertenden Person durchgeführt wurden.

### 2.1. Versuchspopulation

Ziel bei der Auswahl der Versuchspersonen war eine gleichmäßige Verteilung von weiblichen und männlichen Versuchspersonen mit physikalischem und nicht physikalischem Ausbildungshintergrund. An dieser Studie nahmen 52 Versuchspersonen (19



**Abbildung 3:** Versuchspopulation, getrennt nach Ausbildungshintergrund und Geschlecht

weiblich, 33 männlich) mit einem Durchschnittsalter von 27.8 Jahren teil. Das Sehvermögen war bei allen normal oder mit Sehhilfe normal. In Abbildung 3 ist die Geschlechterverteilung für die beiden Gruppen (Physiker, Sonstige) dargestellt. In der Gruppe der Physiker dominieren die männlichen Versuchspersonen (etwa im Verhältnis 1:3), die andere Gruppen ist, was das Geschlecht betrifft, relativ homogen. Die Physiker gehören eher zur älteren Alterskohorte (im Durchschnitt 34 Jahre alt), die Sonstigen (im Durchschnitt 23 Jahre alt) eher zur jüngeren Alterskohorte.

Ein vermuteter Prädiktor für den Erfolg beim Bearbeiten der Aufgaben ist das Interesse an Physik, was über den Fragebogen abgefragt wurde. Die Verteilung innerhalb der Versuchspopulation zeigt dabei eine erwartete hohe Interesse an Physik bei Physikern und geringes bis mittleres Interesse bei Sonstigen.

### 3. Analyse

Die Analyse der Daten erfolgt in mehreren aufeinander aufbauenden Schritten. Zunächst wurden die Daten vorbereitet durch die Zusammenstellung der Logfiles, Fixationsberechnung und Definition von *Areas of Interest*. Dann erfolgte die theoriegeleitete Auswahl von erfassbaren Variablen und deren Be-

rechnung durch eine selbstgeschriebene Software (Ogama, siehe Voßkühler et al. 2007). Anschließend wurden fehlerhaften Blickdaten und Ausreißer gefiltert und die Daten in SPSS umkodiert, sodass anschließend durch Faktorenanalyse eine Reduzierung der Versuchspersonenvariablen und der abhängigen Variablen auf plausible Konstrukte erfolgen konnte.

Dann erfolgte nach Prüfung der Bedingung eine Messwiederholungsvarianzanalyse mit Hilfe von SPSS auf einem Signifikanzniveau von 5 %.

#### 3.1. Variablen

An abhängigen Variablen gibt es drei große Kategorien:

- a) Reaktionszeiten  
Klassische Zeitmessvariablen wie bspw. die Dauer bis zur richtigen Antwort.
- b) Mausparameter  
Daten, die im Zusammenhang mit der Mausbewegung stehen wie bspw. die Anzahl der Klicks mit der linken Maustaste.
- c) Augenparameter  
Daten, die durch die Messung der momentanen Blickposition ermittelt werden können wie bspw. die durchschnittliche Fixationsdauer.

Für alle drei Kategorien gibt es sowohl Variablen,

| Untersuchungsidee   | Benötigte Variablen  |
|---|--|
| Bei komplexeren Repräsentationen zeigen die VPN längere durchschn. Fixationszeiten. (Rayner 1998)                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repräsentationstypen</li> <li>• Fixationsdauer</li> </ul>   |
| Aufgaben in abstrakter Repräsentation werden erfolgreicher gelöst. (Lenzner et al 2009)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repräsentationstypen</li> <li>• Anzahl der Fehlversuche (Mausklicks)</li> </ul>   |
| Größere Zielobjekte werden schneller gesehen. (Ballstaedt 1997)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der prozentuale Flächenanteil der AOI der Gruppe <i>Target</i> von der Gesamtfläche</li> <li>• Die Zeit vom Start des Trials bis zur ersten Fixation im Ziel – AOI</li> </ul> |
| Physiker entscheiden sich schneller für ein Zielobjekt. (Reingold et al. 2001)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausbildung (Physiker, Sonstige)</li> <li>• Die Zeit bis zum ersten Mausclick</li> </ul>   |
| Erfolgreiche Versuchspersonen haben geringere Blickpfadgeschwindigkeiten. (Nakamichi et al. 2006)                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl der Fehlversuche (Mausklicks)</li> <li>• Die Länge des Blickpfades pro Sekunde</li> </ul>  |
| Versuchspersonen, die das Zielobjekt schneller sehen, lösen die Aufgabe schneller. (Findlay & Gilchrist 2005)                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Zeit bis zur ersten Fixation auf dem Zielobjekt</li> <li>• Zeit von Aufgabenbeginn bis zur Lösung</li> </ul>  |
| Ältere Versuchspersonen führen die Maus mit den Augen. (Fukuda & Bubb 2003)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter der Versuchspersonen</li> <li>• Durchschnittlicher Pixelabstand des Maus- und Augenpfades</li> </ul>  |
| Während der ersten drei bis fünf Fixationen nehmen die Sakkadenweite ab und die Fixationsdauer zu. (Pannasch et al. 2008)           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verteilung der Fixationsdauern</li> <li>• Verteilung der Sakkadenweiten</li> <li>• Reihenfolge der Fixationen im Trial</li> </ul>   |
| Weibliche Versuchspersonen sind im Gegensatz zu männlichen mit fotorealistischen Repräsentationen erfolgreicher als mit abstrakten. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repräsentationstypen</li> <li>• Geschlecht</li> <li>• Anzahl der Fehler</li> <li>• Zeit von Aufgabenbeginn bis zur Lösung</li> </ul>  |

**Tabelle 1:** Ideen zum Einfluss der Repräsentation

die sich nur aus einer Kategorie ergeben, als auch die jeweiligen Interaktionsvariablen, die nur durch eine Kombination der Daten aus mehreren Kategorien ermittelt werden können wie bspw. der durchschnittliche Abstand zwischen Augen- und Mauspfad.

Um den Effekt der verschiedenen Repräsentationsformate zu untersuchen, ist es zunächst erforderlich, literaturgestützt Untersuchungsideen zu definieren, die die Auswahl an möglichen Variablen einschränken. Die Studie ist darauf ausgelegt, mit den Ergebnissen möglichst viele empirisch einzeln prüfbar Hypothesen formulieren zu können.

Exemplarisch werden in Tabelle 1 einige zugrunde liegenden Ideen und die daraus erwachsenden Variablen genauer beschrieben. Die Literaturangaben beziehen sich auf Veröffentlichungen, die eine solche Untersuchung nahelegen, fehlt die Literaturangabe, so ist die Idee aus eigenen Überlegungen heraus formuliert.

### 3.2. Faktorenanalyse

#### 3.2.1. Versuchspersonenfaktoren

Zunächst gilt es, aus den vorliegenden Versuchspersonenvariablen diejenigen Faktoren zu extrahieren, die die meiste Varianz aufklären. Aus den Vorüberlegungen sind beispielsweise Zusammenhänge zwischen Interesse und Ausbildung (also der Versuchspersonengruppe) sowie der Länge des Physikunterrichts zu erwarten.

Mithilfe einer Faktorenanalyse wird dann bestimmt, inwieweit die erfassten Versuchspersonenvariablen zu größeren Einheiten zusammenfassbar sind und welche davon ggf. aussagekräftig für die weiteren Analysen sind. Die Faktorenanalyse ergibt dabei drei Komponenten: *Affinität zu Physik*: ein Konstrukt bestehend aus Interesse, Länge des Physikunterrichts, und Versuchspersonengruppe mit einer Varianzaufklärung von etwa 40 %, *Alter* mit einer Varianzaufklärung von 24 % und *Geschlecht* mit weiteren 20 %.

#### 3.2.2. Faktoren der abhängigen Variablen

Hier ergeben sich sechs Komponenten. Komponente eins ist ein im Folgenden als *Strategie* bezeichnetes Konstrukt. Es beschreibt bei hoher Ausprägung eine Strategie der schnellen Entscheidung (hohe Klickrate, geringer Blick-Mauspfadabstand, geringe Zeit bis zum ersten Klick). Komponente zwei wird im Folgenden als *Scantempo* bezeichnet, da sie sich im Wesentlichen aus Sakkadenweite, Blickpfad- und Sakkadengeschwindigkeit zusammensetzt. Komponente drei beschreibt das Konstrukt *Lösekompetenz*, nämlich die Fähigkeit zu schneller Lösung (kurze Lösungsdauern) mit wenigen Fehlern (wenig Mausklicks) und schneller Identifikation des Zielobjekts (kurze Zeit bis zur ersten Fixation auf dem Target). Die Komponenten vier bis sechs sind nicht zusammengesetzte Faktoren und sind die *Fixationsdauer*,

die *Gesamtfixationsdauer des Targets* und die *Mauspfadgeschwindigkeit*.

Die Faktorenanalyse ergibt dabei eine Varianzaufklärung von jeweils knapp 20 % durch Strategie, Scantempo und Lösekompetenz und jeweils etwa 9 % durch die letzten drei Faktoren.

## 4. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden ausgewählte aus der Meßwiederholungsvarianzanalyse als signifikant hervorgegangenen Effekte dargestellt.

### 4.1. Einflüsse auf das Scantempo

Bei hoher Ausprägung (positiven Werten) beschreibt das Scantempo ein Blickverhalten, welches durch große Sprünge und schnelle Wechsel gekennzeichnet ist, bei geringer Ausprägung (negativen Werten) beschreibt es Blickverhalten, welches durch Fokussierung auf räumlich dicht beieinanderliegende Zonen und weniger großräumliche Wechsel beschrieben werden kann.

Die Repräsentation beeinflusst das Scantempo signifikant:

$$F_{ges}(2, 74) = 80.63^{***}$$

Die Kontraste zeigen signifikante Unterschiede zwischen jeder der Repräsentationen:

$$F_{Abstrakt,Physikus}(1, 37) = 146.11^{***}, r = .89$$

$$F_{Abstrakt,Foto}(1, 37) = 67.41^{***}, r = .80$$

$$F_{Physikus,Foto}(1, 37) = 15.38^{***}, r = .54$$

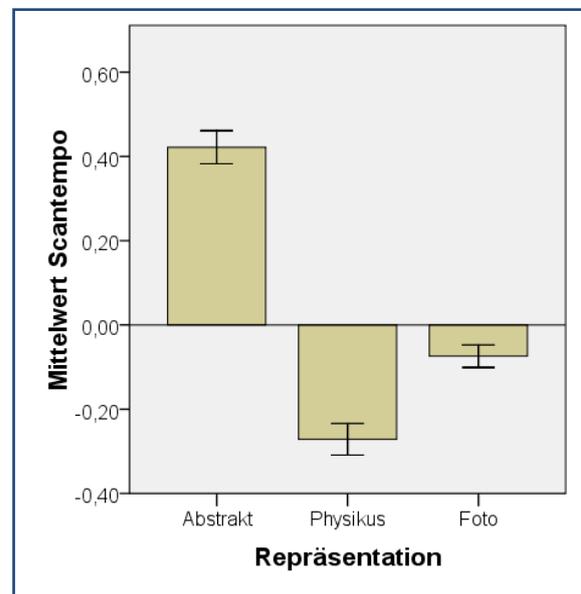


Abbildung 4: Einfluss der Repräsentation auf das Konstrukt Scantempo

Der Unterschied zwischen allen drei Repräsentationen hat eine große Effektstärke. Abstrakte Darstellungen zeigen ein überdurchschnittliches Scantempo, Darstellungen aus dem Lernspiel Physikus ein unterdurchschnittliches Scantempo und Fotos der

Experimente ein leicht unterdurchschnittliches Scantempo (siehe Abbildung 4).

**INTERPRETATION:** Zur Interpretation des Effekts wird die Anzahl an Details und Objekten in den verschiedenen Repräsentationen verglichen. Diese ist auf den abstrakten Darstellungen am geringsten, die Verteilung über die Bildschirmfläche aber ähnlich der der anderen Darstellungen, sodass Blickwechsel in der Regel zwischen weit auseinanderliegenden Objekten stattfinden, da in der Nähe keine Details für zusätzliche Informationsaufnahme zur Verfügung stehen. Das führt zu großen Sakkadenweiten und hoher Blickpfadgeschwindigkeit, da das Auge relativ große Sprünge zwischen den wenigen verschiedenen, aber auseinanderliegenden Bildschirmbereichen macht. Im Gegensatz dazu sind die Physikusaufbauten und die abfotografierten Aufbauten voller (auch unwichtiger) Details, die dazu führen, dass häufig aufeinanderfolgende Fixationen in einem Bereich bleiben. Der Unterschied zwischen Physikus und Fotos ist vermutlich auf zwei Faktoren zurückzuführen. Erstens die räumlich kompaktere (also weniger Bildschirmfläche einnehmende) Darstellung als bei den Fotos. Die Objekte liegen dort dichter beisammen als bei den Fotos (Das könnte man bei einer Folgestudie vermeiden). Zweitens die ästhetisch ansprechende Darstellung bei Physikus, die Objekte sind dort ‚interessanter‘ als auf den Fotos.

**ZUSAMMENFASSUNG:** Das *Scantempo* ist von der Repräsentation abhängig und dabei vermutlich insbesondere vom Detailgrad der Darstellung. Es gibt keine signifikanten Einflüsse der Neuigkeit oder von Affinität, Altersgruppe und Geschlecht.

#### 4.2. Einflüsse auf die Lösekompetenz

Bei hoher Ausprägung (positiven Werten) beschreibt die Lösekompetenz eine erfolgreiche Bearbeitung der Aufgaben, also die schnelle und fehlerarme Bearbeitung. Bei geringer Ausprägung (negativen Werten) beschreibt sie weniger erfolgreiche Bearbeitung, also lange Bearbeitungszeiten mit vielen Fehlern und langer Dauer bis zur Identifikation des Targets.

Die Repräsentation beeinflusst die Lösekompetenz signifikant:

$$F_{ges}(2, 74) = 23.42^{***}$$

Die Kontraste zeigen signifikante Unterschiede zwischen jeder der Repräsentationen:

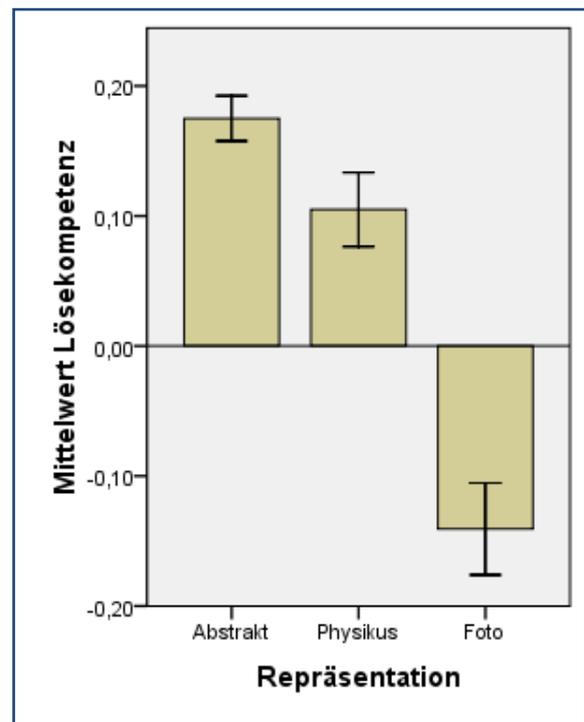
$$F_{Abstrakt,Physikus}(1, 37) = 5.36^*, r = .36$$

$$F_{Abstrakt,Foto}(1, 37) = 39.89^{***}, r = .72$$

$$F_{Physikus,Foto}(1, 37) = 24.58^{***}, r = .63$$

Der Unterschied zwischen allen drei Repräsentationen zeigt mittlere bis sehr große Effekte. Die Lösekompetenz ist bei abstrakten Darstellungen am größten, bei Darstellungen aus dem Lernspiel Physikus etwas geringer und ist bei Fotos der Versuchsaufbauten vergleichsweise schlecht (siehe

Abbildung 5). Dieser Befund wird differenziert, wenn Interaktionseffekte betrachtet werden.



**Abbildung 5:** Einfluss der Repräsentation auf das Konstrukt Lösekompetenz

#### 4.2.1. Interaktionseffekte

Sieht man genauer hin, gibt es eine Interaktion zwischen der Repräsentation, der Affinität mit Physik und der Altersgruppe bei der Lösekompetenz.

$$F_{ges}(2, 74) = 3,46^*$$

Die Kontraste zeigen nur noch einen signifikanten Unterschied zwischen den Repräsentationen Physikus und Foto:

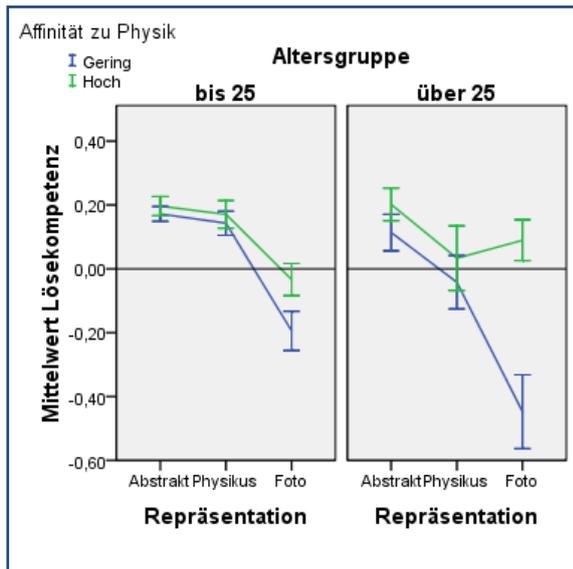
$$F_{Abstrakt,Physikus}(1, 37) = 1,21, n.s.$$

$$F_{Abstrakt,Foto}(1, 37) = 2.62, n.s.$$

$$F_{Physikus,Foto}(1, 37) = 5.34^*, r = .36$$

Wie Abbildung 6 zu entnehmen, ist die Lösekompetenz bei Versuchsfotos für ältere Versuchspersonen mit geringer Affinität zu Physik besonders gering im Vergleich zu den anderen Repräsentationen.

**INTERPRETATION:** Offensichtlich ist das Lösen der gestellten Aufgaben an Darstellungen mit Fotos realer Versuchsaufbauten am schwierigsten. Dort werden mehr Fehler gemacht, die Bearbeitungszeit ist länger, und die Zeit bis zum Auffinden des Targets ist verlängert. Trotz ähnlicher Bildkomplexität schneiden hier die Aufbauten vom Physikus Lernspiel signifikant besser ab. Das Problem ist allerdings für Personen mit geringer Affinität zu Physik gravierender, insbesondere wenn sie über 25 sind. Am erfolgreichsten werden die Aufgaben in den abstrakten Darstellungen gelöst.



**Abbildung 6:** Interaktion zwischen Repräsentation, Affinität und Altersgruppe beim Konstrukt Lösekompetenz

**ZUSAMMENFASSUNG:** Für alle Versuchspersonen sind die Aufgaben in Form abstrakter Darstellungen am erfolgreichsten, die Aufgaben als Fotos des Versuchsaufbaus am schwierigsten zu lösen. Die Lösekompetenz wird dabei sehr stark von der Affinität zur Physik beeinflusst. Jedoch ist der Nachteil durch die Fotos nur für Novizen gravierend. Die Probleme mit der Repräsentation durch Fotos werden bei Novizen über 25 noch zusätzlich verstärkt.

### 4.3. Einflüsse auf die Fixationsdauer

Die *Fixationsdauer* ist eine direkt gemessene Variable. Sie beinhaltet die zeitliche Dauer einer Fixation in Millisekunden. Den Hinweisen von Pannasch et al. 2008 folgend, wurde die Aggregation bei den Fixationsdauern im Gegensatz zu den anderen Variablen über den Median vorgenommen. Daher sind die absoluten Werte nicht ohne Weiteres mit den Mittelwertsangaben von Fixationsdauern aus der Literatur vergleichbar, da die Mediane bei Fixationsdauerverteilungen in der Regel geringer sind als der Mittelwert.

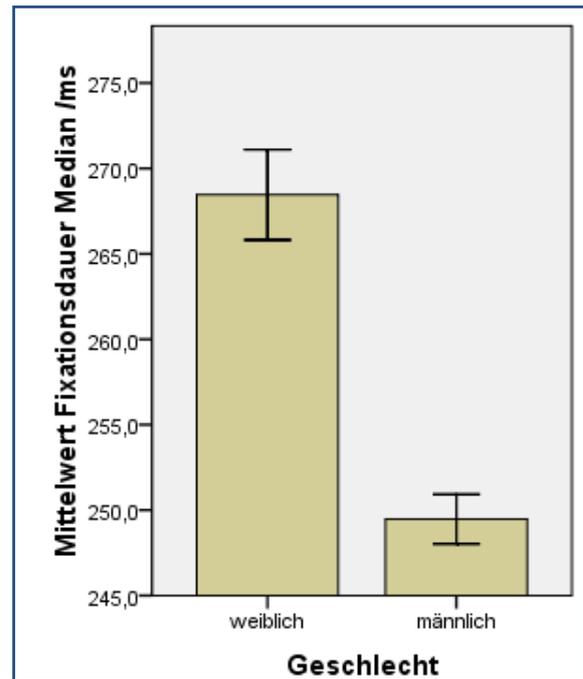
#### 4.3.1. Ergebnisse zum Geschlecht

Das Geschlecht beeinflusst die Fixationsdauer signifikant:

$$F_{ges}(1, 37) = 8.80^{**}, r = .44$$

Wie die Abbildung 7 zeigt, war die Fixationsdauer bei weiblichen Versuchspersonen um ca. 20ms länger als bei männlichen Versuchspersonen und zwar unabhängig von Repräsentation und Affinität oder Alter.

**INTERPRETATION:** Das könnte bedeuten, dass die Darstellungen physikalischer Versuchsaufbauten in den verschiedenen Repräsentationen bei weiblichen Versuchspersonen geringfügig mehr kognitive Ressourcen bei der Wahrnehmung beanspruchen als bei männlichen Versuchspersonen.



**Abbildung 7:** Einfluss des Geschlechts auf die Fixationsdauer

Allerdings gibt es in der Literatur keinerlei Hinweise auf Gendereffekte auf die Fixationsdauer. Gendereffekte bei Blickdaten finden sich z. B. bei der Emotionserkennung (siehe Vassallo et al. 2009).

#### 4.3.2. Ergebnisse zur Repräsentation

Die Repräsentation beeinflusst die Fixationsdauer signifikant:

$$F_{ges}(2, 74) = 20.35^{***}$$

Die Kontraste zeigen signifikante Unterschiede zwischen jeder der Repräsentationen:

$$F_{Abstrakt, Physikus}(1, 37) = 42,41^{***}, r = .73$$

$$F_{Abstrakt, Foto}(1, 37) = 7.46^*, r = .40$$

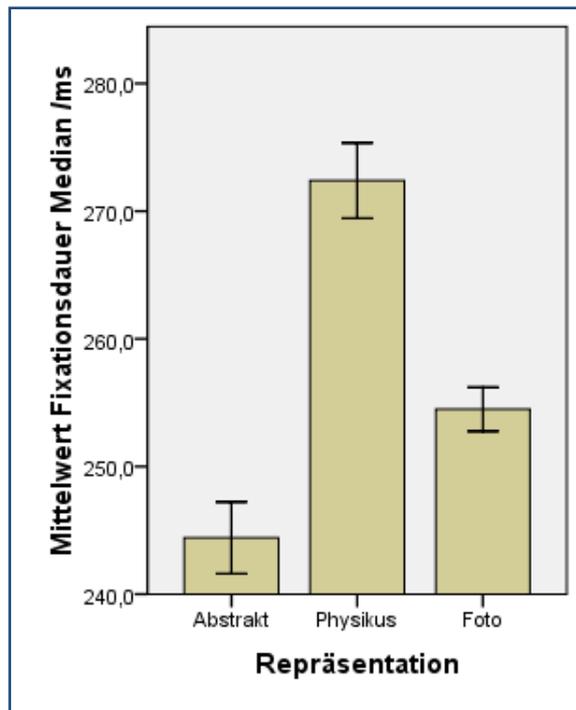
$$F_{Physikus, Foto}(1, 37) = 13.04^{**}, r = .51$$

Die Werte der Fixationsdauer entsprechen Mittelwerten der Fixationsdauermediane. Sie liegen mit durchschnittlich 256 ms im Grenzbereich zwischen visueller Suche und Szenewahrnehmung.

Der Unterschied zwischen allen drei Repräsentationen zeigt mittlere bis große Effektstärken. Die Fixationsdauern sind bei abstrakten Darstellungen am geringsten, bei Darstellungen aus dem Lernspiel Physikus am größten und liegen bei Fotos der Versuchsaufbauten etwa in der Mitte dazwischen (siehe Abbildung 8).

**INTERPRETATION:** Wenn man die Fixationsdauer als Kenngröße für kognitive Beanspruchung wertet (bspw. Castelano & Rayner 2008), dann erfordern abstrakte Darstellungen damit weniger kognitiven Verarbeitungsaufwand, Fotos realer Versuchsaufbauten sind komplexer und benötigen daher länger, aber fotorealistic Darstellungen wie beim Lern-

spiel Physikus erfordern den höchsten kognitiven Aufwand. Der Unterschied von etwa 30ms zu abstrakten Darstellungen ist dabei beachtlich.



**Abbildung 8:** Einfluss der Repräsentation auf die Fixationsdauer

## 5. Hypothesen

Ziel dieser ersten Studie war es, Hypothesen zum Einfluss verschiedener Repräsentationsformate von Versuchsaufbauten am Bildschirm auf das Lösen einfacher physikalischer Fragestellungen zu generieren.<sup>1</sup> Dazu werden nun die aus der Literatur erarbeiteten Untersuchungsideen mithilfe der erarbeiteten Ergebnisse vertieft und ggf. zu Hypothesen verdichtet.

a) Komplexere Repräsentationen benötigen längere durchschnittliche Fixationszeiten.

**Bedingt.** Abstrakte Darstellungen (geringste Komplexität) zeigen mit ~245 ms auch die geringsten Fixationsdauern. Fotografische Darstellungen (höchste Komplexität) zeigen mit ~255 ms deutlich kürzere Fixationsdauern als die fotorealistischen Darstellungen (mittlere Komplexität) mit ~272 ms.

**Hypothese:** Je größer der aufgabenspezifische Informationsgehalt desto länger die durchschnittliche Fixationsdauer.

b) Aufgaben in abstrakten Repräsentationen werden erfolgreicher gelöst.

**Ja.** Die Lösekompetenz ist bei abstrakter Repräsentation am höchsten, dicht gefolgt von der fotorealisti-

schen Repräsentation. Bei fotografischen Repräsentationen zeigt sich die niedrigste Lösekompetenz (siehe 4.2).

c) Nur fotografische Repräsentationen sind für Novizen deutlich schwerer zu lösen als für Experten.

**Ja.** Bemerkenswerterweise unterscheidet sich die Lösekompetenz für Novizen und Experten bei den beiden anderen Repräsentationen nicht signifikant, dieser Effekt ist besonders stark bei Personen über 25 Jahren (siehe 4.2).

d) Physiker lösen die Aufgaben schneller als Nichtphysiker.

**Nein.** Der Effekt ist nicht vorhanden  $F(1, 2583) = 0.66, n.s.$  Diese Idee muss nach der Analyse der Daten umformuliert werden in:

**Hypothese:** Personen mit hoher Affinität zu Physik haben eine höhere Lösekompetenz. **Ja.**

e) Physiker entscheiden sich schneller für ein Zielobjekt.

**Nein.** Physiker machen den ersten Klick nach ~4.4s, Sonstige nach ~3.9s. Dieser Unterschied ist signifikant  $F(1, 2583) = 14.7^{***}, r = .08$ . Formuliert man diese Idee mithilfe der Konstrukte um zur:

**Hypothese:** Personen mit hoher Affinität zu Physik verwenden eine Strategie der schnellen Entscheidung, dann lautet das Ergebnis auch hier: **Nein.**

f) Versuchspersonen, die das Zielobjekt schneller sehen, lösen die Aufgabe schneller.

**Ja.** Die Korrelation zwischen erster Fixation auf dem Target und der Lösungsdauer beträgt  $r = .63^{***}$ . Bei der Interpretation ist allerdings Vorsicht geboten, denn die Korrelation erlaubt keinen Rückschluss auf Kausalitäten. Mit großer Wahrscheinlichkeit gibt es einen oder mehrere Faktoren, die die Ursache dafür sind, dass das Targetobjekt schnell gesehen wird und damit auch die Aufgabe schnell gelöst werden kann, sofern das Targetobjekt auch als solches identifiziert wurde.

g) Ältere Versuchspersonen führen die Maus mit den Augen.

**Nein.** Versuchspersonen über 25 Jahren haben mit ~139 px einen signifikant größeren Augen-Mauspfadabstand als Versuchspersonen unter 25 Jahren mit ~130 px. ( $F(1, 2583) = 16.11^{***}, r = .08$ ). Der Effekt ist aber offensichtlich sehr klein. Sieht man sich die Extremfälle an, so schwankt der Wert zwischen ~91px (VPN 28) und ~191px (VPN 18).

h) Die durchschnittliche Fixationsdauer ist geschlechtsspezifisch.

**Ja.** Die Fixationsdauer bei weiblichen Versuchspersonen ist um ca. 20ms länger als bei männlichen Versuchspersonen und zwar unabhängig von Repräsentation und Affinität oder Alter (siehe 4.3).

<sup>1</sup> Dabei sind Variablen mit Mausfixationen nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Dieser Datensatz könnte aber Gegenstand und Anlass einer Untersuchung zu den Zusammenhängen zwischen Blick- und Mausfixationen werden.

- i) Weibliche Versuchspersonen sind im Gegensatz zu männlichen mit fotorealistischen Repräsentationen erfolgreicher als mit abstrakten.

Nein. Es gibt keine signifikanten Geschlechtseffekte bei den Repräsentationen auf die Lösekompetenz. Siehe 4.2.

Während der ersten drei bis fünf Fixationen nehmen die Sakkadenweite ab und die Fixationsdauer zu. Ja.

## 6. Zusammenfassung

Zusammengefasst lauten die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie:

- Der Detailgrad einer Darstellung ist der wesentliche Prädiktor für das Scantempo und damit die Zeit für die kognitive Erfassung eines Versuchsaufbaus.
- Fotografische Darstellungen sind schwerer zu verarbeiten als abstrakte und fotorealistische Darstellungen.
- Novizen, nicht aber Experten sind in ihrer Lösekompetenz altersabhängig.
- Die durchschnittliche Fixationsdauer bei Bildschirmexperimenten ist geschlechtsspezifisch.

Es gibt eine Reihe von Hinweisen darauf, dass die fotografische Repräsentation für Aufgabenstellungen, wie sie in dieser Studie verwendet wurden, nicht optimal ist. Außerdem beachtenswert für weitere Untersuchungen ist die Erkenntnis, dass trotz des in der Schulphysik der Mittelstufe angesiedelten Schwierigkeitsgrads der Aufgaben, die Ausbildung bzw. besser die Affinität zu Physik der Versuchspersonen maßgeblichen Einfluss auf die Wahrnehmung und Verarbeitung der Versuchsaufbauten hat.

Die geschlechtsspezifischen Effekte erfordern tiefer gehende Untersuchungen, um sie zu validieren, ebenso wie die Alterseffekte, die aufgrund der geringen Anzahl der älteren Versuchspersonen mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Auf jeden Fall aber liefert die Auseinandersetzung mit fotorealistischen Darstellungen von physikalischen Versuchsaufbauten neue Hinweise auf deren Brauchbarkeit in Lehr-/Lernzusammenhängen. Der wesentliche Effekt scheint zu sein, dass diese Darstellungen geringe Streuung zeigen, also geschlechts-, alters- und ausbildungsneutral einsetzbar sein können, auch abstrakte Darstellungen können Löseprozesse vereinfachen.

Der zentrale Punkt für weitere Untersuchungen sollte dabei sein, die Frage des Lernerfolgs mit einzubeziehen, da diese hier nicht erfasst werden konnte, für die didaktische Forschung aber eine zentrale Fragestellung darstellt.

## 7. Literatur

- [1] Ballstaedt, S. P. (1997). *Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial*. Weinheim: Beltz Psychologische Verlags Union.
- [2] Castelhamo, M. S., & Rayner, K. (2008). Eye movements during reading, visual search, and scene perception: An overview. In K. Rayner, D. Shem, X. Bai, & G. Yan, *Cognitive and Cultural Influences on Eye Movements*, 3-33. Tianjin: Tianjin People's Press/Psychology Press.
- [3] Findlay, J. M., & Gilchrist, I. D. (2005). Eye guidance and visual search. In G. Underwood, *Cognitive processes in eye guidance*, 282-295. New York: Oxford University Press, USA.
- [4] Fukuda, R., & Bubb, H. (2003). Eye tracking study on Web-use: Comparison between younger and elderly users in case of search task with electronic timetable service. *PsychNology Journal*, 1(3), 202- 228.
- [5] Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, 8(4), 441-480. doi: 10.1016/0010-0285(76)90015-3.
- [6] Lenzner, A. (2009). *Visuelle Wissenskommunikation: Effekte von Bildern beim Lernen. Kognitive, affektive und motivationale Effekte*. Hamburg: Kovac.
- [7] Nakamichi, N., Shima, K., Sakai, M., & Matsumoto, K. (2006). Detecting low usability web pages using quantitative data of users' behavior. *Proceeding of the 28th international conference on Software engineering - ICSE '06*, 569. doi: 10.1145/1134285.1134365.
- [8] Pannasch, S., Helmert, J. R., Roth, K., & Herbold, A. (2008). Visual fixation durations and saccadic amplitudes: Shifting relationship in a variety of conditions. *Journal of Eye Movement Research*, 2(2), 1-19.
- [9] Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422. doi: 10.1037/0033-2909.124.3.372.
- [10] Reingold, E., Charness, N., Pomplun, M., & Stampe, D. (2001). Visual span in expert chess players: Evidence from eye movements. *Psychological Science*, 12(1), 48-55.
- [11] Vassallo, S., Cooper, S. L., & Douglas, J. M. (2009). Visual scanning in the recognition of facial affect: Is there an observer sex difference? *Journal of Vision*, 9(3), 1-10. doi: 10.1167/9.3.11.Introduction.
- [12] Voßkühler, A., Nordmeier, V., Kuchinke, L., & Jacobs, A. M. (2007). OGAMA (OpenGazeAndMouseAnalyzer): An open source software designed to analyze eye and mouse movements in slideshow study designs (Poster). In R. Kliegl & R. Engbert, *Proceedings of the European Conference on Eye Movements, ECEM 2007*. Potsdam, Germany.