

Diagnostik experimenteller Strategien: Validierung eines prozessorientierten Instruments

Norman Joußen, Stephan Fraß, Heidrun Heinke

RWTH Aachen University

joussen@physik.rwth-aachen.de, frass@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Bei der Untersuchung experimenteller Prozesse standen in der Vergangenheit Prozessaspekte während der Durchführung von Realexperimenten nur selten im Mittelpunkt. Einer der Hauptgründe hierfür liegt darin, dass bislang meist Instrumente fehlten, um die während dieser Phase stattfindenden experimentellen Handlungsabfolgen in geeigneter Weise abbilden zu können. Deshalb wurde exemplarisch für die optische Justage bei einem Versuch zum Photoeffekt, den Studierende im Rahmen eines Physikpraktikums an der RWTH Aachen absolvieren, ein vorstrukturiertes Smartpen-Verlaufsprotokoll entwickelt. In diesem sind alle im vorliegenden Experimentierraum möglichen Handlungen abgebildet und in Schritte gegliedert. Durch schrittweises Ankreuzen solcher Handlungen dokumentieren die Studierenden bei diesem probandenfokussierten Ansatz ihre Justage mit dem Protokoll. Durch die Datenaufnahme mit Smartpens ist im Anschluss die zeitliche Schrittabfolge rekonstruierbar. Die so erhobenen Handlungsabfolgen können dann die Grundlage für eine Untersuchung der strategischen Aspekte bilden, die im Kontext der experimentellen Aufgabe auftreten. Für eine konvergente Validierung des entwickelten Smartpen-Verlaufsprotokolls werden die gewonnenen Schrittabfolgen mit denen aus einem objektfokussierten Ansatz verglichen, bei dem dieselben Handlungen indirekt mittels einer am Aufbau implementierten Sensorik erfasst werden. Im Beitrag wird ein erster Einblick in den Vergleich der beiden Datensätze aus probanden- und objektfokussierter Erfassung gegeben.

1. Motivation

Die Diagnostik experimenteller Prozesse hat in den letzten Jahren, nicht zuletzt auch durch die Manifestierung des Erwerbs von experimentellen Kompetenzen in den Bildungsstandards durch die Kultusministerkonferenz der Länder [1], eine zunehmende Bedeutung in Deutschland erfahren. Eine ähnliche Entwicklung findet sich aber auch beispielsweise im US-amerikanischen Raum [2]. Die Untersuchung der experimentellen Prozesse während der Durchführung von Experimenten stand bislang dennoch nur selten im Mittelpunkt. Einer der Hauptgründe hierfür liegt darin, dass meist Instrumente fehlten, um den experimentellen Prozess bei der Durchführung von Realexperimenten auch bei größeren Probandengruppen hinreichend vollständig und genau bei vertretbarem Aufwand für die Auswertung der Daten abbilden zu können.

Um dieses Ziel zu erreichen wurden unter anderem vorstrukturierte Protokolle entwickelt, mit deren Hilfe der experimentelle Prozess im Eigenrapport dokumentiert und insbesondere zeitlich aufgelöst werden soll, indem sie während oder nach der experimentellen Durchführung ausgefüllt werden [3, 4, 5]. Jedoch hängt die Qualität dieser Protokolle, insbesondere die darin gegebene zeitliche Auflösung des experimentellen Prozesses, stark von der Kooperation der ausführenden Probanden ab.

Vor diesem Hintergrund wurde exemplarisch für den Prozess der optischen Justage bei einem Praktikumsversuch ein vorstrukturiertes Smartpen-Verlaufsprotokoll entwickelt, das die Studierenden während der optischen Justage ausfüllen [3, 6]. Um die zeitliche Auflösung dieses Formates weiter zu optimieren wurde das Smartpen-Verlaufsprotokoll für eine möglichst niederschwellige Nutzung weiterentwickelt. In der neuen Version sind die im vorliegenden Experimentierraum realisierbaren relevanten experimentellen Handlungen vollständig abgebildet und in Schritte unterteilt. Die Studierenden füllen dabei das Verlaufsprotokoll durch Ankreuzen einer der möglichen Schrittoptionen aus. Durch die Datenaufnahme mit einem Smartpen ist im Anschluss die zeitliche Abfolge der experimentellen Handlungen rekonstruierbar. Dieses Smartpen-Verlaufsprotokoll wurde im Wintersemester 2016/17 erstmalig bei einer größeren Probandengruppe (N = 128) eingesetzt.

Um eine Aussage über die Qualität der mit dem neuen Protokollformat erfassten Prozessdaten zu ermöglichen wurden bei 30% der Probanden die Handlungsabfolgen zusätzlich mit Hilfe der sogenannten objektfokussierten Erfassung aufgezeichnet [7, 8].

Konkret wurde der Versuchsaufbau bei diesen Probanden in geeigneter Weise so mit Laserdioden versehen, dass aus den Positionen der Laserspots auf einem hinter dem Versuchsaufbau befindlichen halbtransparenten Schirm auf die Manipulationen am Versuchsaufbau geschlossen werden kann. Hierzu

wird ein Video der zeitabhängigen Laserspots auf dem Schirm aufgezeichnet, dessen Bildmaterial teilautomatisiert ausgewertet wird, bevor die extrahierten Daten weiterverarbeitet werden [7, 8].

Der Einsatz beider Erhebungsinstrumente an einem Versuchsaufbau auf einer optischen Bank ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

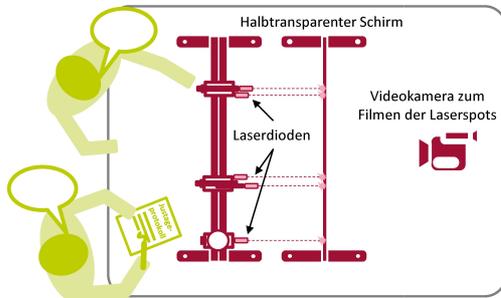


Abb. 1: Schematische Darstellung der probanden- (grün) und objektfokussierten Erfassung (rot) im vorliegenden experimentellen Aufbau. Bei der probandenfokussierten Erfassung wird die Abfolge der relevanten experimentellen Handlungen in einem Smartpen-Verlaufsprotokoll durch die Studierenden aufgezeichnet (Details siehe Abschnitt 4). Die Abfolgen der experimentellen Handlungen werden bei der objektfokussierten Erfassung durch eine am Versuchsaufbau implementierte Sensorik aufgenommen (Details siehe Abschnitt 5).

Beide Erhebungsinstrumente werden im vorliegenden Beitrag in Kapitel 4 und 5 detaillierter vorgestellt. Im anschließenden Abschnitt wird die Grundlage der angestrebten konvergenten Validierung dargestellt und ein Einblick in einen ersten Vergleich der Daten aus probanden- und objektfokussierter Erfassung gegeben.

Zunächst wird jedoch die Auswahl des Experiments für die Untersuchungen begründet und es werden die sonstigen Rahmenbedingungen der Studie beschrieben.

2. Auswahl des Experiments

Für die Entwicklung eines Erhebungsinstrumentes zur Untersuchung von experimentellen Prozessen während der Durchführung eines realen Experiments wurde exemplarisch die optische Justage ausgewählt [3, 7], die einen integralen Bestandteil vieler Versuche aus dem Bereich der Optik darstellt. Dies wurde konkret für einen Versuchsaufbau auf einer optischen Bank umgesetzt. Die Auswahl dieses experimentellen Beispiels lässt sich durch verschiedene Aspekte begründen:

- Versuche auf der optischen Bank sind typische Vertreter von Experimenten aus dem Bereich der Optik.
- Die Justage des Versuchsaufbaus ist ein inhärenter Bestandteil solcher Versuche.

- Die Montage und Justage eines Versuchsaufbaus steht notwendigerweise am Beginn der experimentellen Durchführung und ist dabei dem Bereich des Aufbaus des Versuchs zuzuordnen [9]. Durch die Verortung am Beginn eines Versuchs lassen sich zwanglos identische Ausgangsbedingungen für alle Probanden realisieren.
- Es kann erwartet werden, dass sich die Handlungsabfolgen bei der Justage optischer Versuchsaufbauten zwischen Novizen und Experten unterscheiden. Auch das für experimentelle Prozesse typische *trial-and-error*-Verfahren wird beobachtbar sein.
- Ein Erhebungsinstrument zur Erfassung der bei der optischen Justage ablaufenden Handlungsschritte muss schnelle Abfolgen von Schritten erfassen können.
- Die Handlungsschritte sind teilweise nur mit kleinen Änderungen am experimentellen Aufbau verbunden.
- Kleine Änderungen am experimentellen Aufbau können zu großen Wirkungen in dem von den Probanden beobachtbaren experimentellen Zwischenergebnis führen.
- Die Erfassung der relevanten Handlungsschritte wird in der Kombination der Aspekte e) bis g) besonders hohe Ansprüche an das Erhebungsinstrument stellen. Somit dient das Instrument bei erfolgreicher Umsetzung als Beispiel für die Erfassung komplexer, schnell ablaufender Prozesse bei der Manipulation eines Realexperiments, die sich bisherigen Untersuchungsverfahren entzogen haben.
- Die Erhebungsinstrumente für die Phase der Justage eines optischen Aufbaus werden nach erfolgreicher Umsetzung einfach auf die Phase der Aufnahme der Messdaten und, sofern relevant, der Fehlersuche am experimentellen Aufbau anwendbar sein.

Die Erhebungsinstrumente werden in ihren Grundprinzipien auch auf (ausgewählte) andere experimentelle Fragestellungen übertragbar sein, auch wenn dieser Transfer eine Adaption der konkreten Umsetzung der Instrumente auf die jeweilige experimentelle Situation erfordert.

3. Sonstige Rahmenbedingungen der Studie

Im Rahmen des „Messtechnischen Labors“, das Maschinenbau-Studierende im dritten Semester an der RWTH Aachen absolvieren, ist die optische Justage fester Bestandteil des Praktikumsversuchs zum Photoeffekt. Bei diesem Versuch stehen den Studierenden neben einer Hg-Dampflampe eine Irisblende (nachfolgend kurz Blende genannt), eine Linse, ein Filterrad mit Filtern für Licht verschiedener Wellenlängen (auch kurz Filter genannt) und eine Photozelle zur Verfügung. Die Bauteile können dabei mit Objektträgern auf einer optischen Bank montiert und jus-

tiert werden [7, 8]. Weitere Materialien zur Durchführung des Versuchs sind an dieser Stelle nicht von Belang. An einem Praktikumstag experimentieren in der Regel jeweils 16 Studierende in einer Gruppe mit Unterstützung von zwei Betreuern, wobei die Studierenden jeweils in Zweier-Gruppen an einem Versuchsaufbau arbeiten. Die Praktikumszeit von 2¼-Stunden umfasst eine etwa 30-minütige Vorbesprechung, den Aufbau des Versuchs und die Aufnahme der Messdaten ebenso wie deren Dokumentation und Auswertung in einem vor Ort erstellten etwa 1½ Seiten kurzen Versuchsbericht. Insgesamt haben 128 Studierende bzw. 64 Zweier-Gruppen an der Studie im Wintersemester 2016/17 teilgenommen.

4. Probandenfokussierte Erfassung

In diesem Abschnitt wird das entwickelte Smartpen-Verlaufsprotokoll (siehe Abb. 2) vorgestellt. Ziel der Entwicklung dieses Erhebungsinstrumentes war es die Abfolge der relevanten experimentellen Handlungsschritte der Studierenden bei der optischen Justage des zuvor beschriebenen Praktikumsversuches möglichst aussagekräftig zu erfassen.

Das Bild zeigt ein Smartpen-Verlaufsprotokoll mit dem Titel 'Justageprotokoll'. Oben sind Felder für Datum, Gruppe, SMARTPEN-Nr. und Tisch-Nr. vorgesehen. Darunter steht: 'Mit dem vorliegenden Protokoll sollen die Einstellungen, die an einem Bauteil vorgenommen werden, mit Kreuzen ☒ gezählt werden. Hat der Betreuer Euch bei einer Einstellung geholfen, bitte das Kästchen umkreisen ☒'. Ein Hinweis lautet: 'Achtung: Damit der Smartpen auch Eure Handlungsreihenfolge aufzeichnen kann, ist es wichtig, dass direkt nach jeder Einstellungs-handlung an entsprechender Stelle ein Kreuz gesetzt wird.' Das Protokoll ist in vier Hauptbereiche unterteilt: Filter, Blende, Linse und Photozelle. Jeder Bereich enthält eine kleine Abbildung des Bauteils, eine Liste möglicher Handlungen (z.B. Auf-/Absetzen, Filter, Öffnung, Vertikale, Horizontale, Kappe) und eine 10x10-Matrix von Kästchen für die Dokumentation.

Abb. 2: Smartpen-Verlaufsprotokoll. Die Studierenden dokumentieren ihre optische Justage durch Ankreuzen einer der möglichen Schrittoptionen im vorstrukturierten Verlaufsprotokoll. Durch das Ausfüllen des Protokolls mit einem Smartpen ist im Anschluss die zeitliche Abfolge der experimentellen Handlungen rekonstruierbar. (Verwendung von Abbildungselementen mit freundlicher Genehmigung von ©Leybold® / LD Didactic GmbH; www.leybold-shop.de.)

Das Protokollformat bildet hierfür alle im Experimentierraum gegebenen experimentellen Aktionen gegliedert nach Bauteilen und Justagehandlungen ab.

Hierfür ist es in vier Bereiche unterteilt, die jeweils einem der optischen Bauteile zugeordnet sind, die den Studierenden im vorliegenden Praktikumsversuch zur Verfügung stehen: einer Blende, einer Linse, einem Filterrad und einer Photozelle. Die im Praktikumsversuch zusätzlich verwendete Hg-Dampflampe wurde für die vorliegenden Untersuchungen fest an einem Ende der optischen Bank montiert und kann von den Studierenden nicht verstellt werden. Diese Entscheidung wurde auf der Basis der Ergebnisse früherer Untersuchungen getroffen, bei denen fast alle Probanden die Hg-Dampflampe als erstes Bauteil montiert und später praktisch nie wieder manipuliert haben [6]. Für jedes optische Bauteil sind zudem im Verlaufsprotokoll die möglichen Justagehandlungen aufgeführt und beispielhaft in Abb. 3 für das Filterrad dargestellt.

Bauteil	Handlung	Protokoll
Filter	Auf-/Absetzen	<input type="checkbox"/>
	Filter	<input type="checkbox"/>
	Öffnung	<input type="checkbox"/>
	Vertikale	<input type="checkbox"/>
	Horizontale	<input type="checkbox"/>

Abb. 3: Exemplarische Darstellung des Ankreuzbereiches für das Filterrad im Smartpen-Verlaufsprotokoll. Die möglichen Justagehandlungen im vorliegenden Praktikumsversuch sind unter „Handlung“ aufgelistet. Die Justage am Filterrad kann durch Ankreuzen einer der möglichen Schrittoptionen im Bereich „Protokoll“ durch die Studierenden dokumentiert werden. (Verwendung von Abbildungselementen mit freundlicher Genehmigung von ©Leybold® / LD Didactic GmbH; www.leybold-shop.de.)

Die Studierenden dokumentieren ihre einzelnen Handlungsschritte bei der optischen Justage durch Ankreuzen einer der möglichen Schrittoptionen. Dabei ist es nicht relevant, welches Kästchen innerhalb einer Zeile von den Studierenden angekreuzt wird. Durch das Ausfüllen des Justageprotokolls mit einem Smartpen ist die Reihenfolge der angekreuzten Justagehandlungen im Anschluss rekonstruierbar [3]. Dabei wird die spezielle Funktionalität der Smartpens ausgenutzt [10], die zunächst als herkömmlicher Kugelschreiber funktionieren. Neben der Kugelschreibermine befindet sich jedoch noch eine Infrarotkamera, durch die anhand eines feinen Punkterasters, das gemeinsam mit dem Protokollformular auf das Papier gedruckt wird, die Stiftposition detektiert werden kann. Dem Smartpen ist es dadurch möglich ein digitales Abbild des Schriftbildes zu erstellen. Zusätzlich erfasst der Smartpen jeweils den Zeitpunkt, wann etwas aufgeschrieben wurde, sodass auch die zeitliche Entwicklung des Schriftbildes aufgezeichnet wird. Ebenfalls besitzt der Smartpen ein eingebautes Mikrofon, sodass synchron zum Schriftbild auch eine Audioaufnahme aufgenommen wird. Anhand der Smartpen-Daten kann somit die zeitliche Abfolge der Justagehandlungen einschließlich der dabei von den Probanden geführten Gespräche rekonstruiert werden. Zur weiteren Auswertung werden die Justageschritte kodiert. Eine Übersicht der Codierung ist in Tab. 1 dargestellt. Die Codierung besteht dabei aus

zwei Buchstaben. Der erste Buchstabe repräsentiert das Bauteil und der zweite Buchstabe die Justagehandlung. Eine analoge Codierung wird später auch bei der objektfokussierten Erfassung erfolgen.

Tab. 1 kann entnommen werden, dass bei allen vier der im Smartpen-Verlaufsprotokoll erfassten Bauteile ein Auf- bzw. Absetzen auf der optischen Bank dokumentiert werden kann. Darüber hinaus gibt es spezielle Freiheitsgrade, die nicht bei allen Bauteilen verändert werden können. Dies sind die Einstellung einer anderen Wellenlänge beim Filterrad (dw), die Veränderungen der Blendenöffnung bei der Irisblende (bo) bzw. beim Filterrad (do) und eine Manipulation des Gehäuses mit einem Tubus entlang des Strahlengangs an der Photozelle (et).

Bauteil	Justagehandlung					
	Auf-/Absetzen	Filter	Öffnung	Vertikal	Horizontal	Kappe
Blende	bm		bo	bv	bh	
Linse	cm			cv	ch	
Filterrad	dm	dw	do	dv	dh	
Photozelle	em			ev	eh	et

Tab. 1: Übersicht über die Codes für alle relevanten Justagehandlungen für jedes Bauteil. Der erste Buchstabe gibt jeweils das Bauteil an, der zweite Buchstabe die Justagehandlung. In grün dargestellt sind Justagehandlungen, die nur beim probandenfokussierten Ansatz, jedoch nicht beim objektfokussierten Ansatz erfasst werden.

Aus den Smartpen-Daten wird nun zunächst die Abfolge der Justagehandlungen in codierter Form extrahiert. Jedem der in Tab. 1 für die verschiedenen Justagehandlungen eingeführten Codes wird dabei zusätzlich eine zweistellige Ziffernfolge zur Codierung der jeweiligen Schrittnummer angehängt. Für jede Probandengruppe erhält man anhand der beschriebenen Codierung somit eine Zeichenkette, die die Ab-

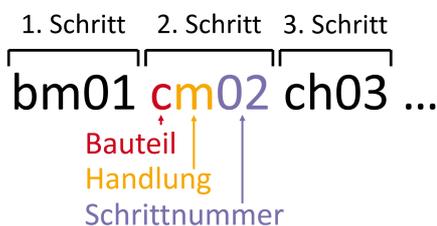


Abb. 4: Darstellung einer beispielhaften Zeichenkette. Ein Justageschritt wird jeweils durch einen Block aus vier Zeichen repräsentiert. Das jeweilige Bauteil wird durch den ersten Buchstaben dargestellt. Der zweite Buchstabe zeigt die Justagehandlung an. Jeder Justageschritt erhält zusätzlich eine Schrittnummer aus zwei Ziffern.

folge der Justagehandlungen repräsentiert und für die weitere Auswertung der Daten herangezogen werden

kann. Ein beispielhafter Ausschnitt einer solchen Zeichenkette ist in Abb. 4 dargestellt.

5. Objektfokussierte Erfassung

Mit der objektfokussierten Erfassung wird hier ein weiterer Ansatz vorgestellt, mit dem der experimentelle Prozess während der Durchführung von Experimenten erfasst werden kann [7, 8, 11, 12].

Bei diesem Ansatz wird im Gegensatz zur probandenfokussierten Erfassung experimenteller Prozesse ein Perspektivwechsel vollzogen. Bei der im vorherigen Abschnitt beschriebenen probandenfokussierten Erfassung dokumentieren die Probanden ihren experimentellen Prozess selbst, was hier durch ein niederschwelliges Ankreuzen einer der Schrittoptionen in einem vorstrukturierten Smartpen-Verlaufsprotokoll realisiert wurde. Bei der objektfokussierten Erfassung erfolgt die Aufzeichnung des experimentellen Prozesses hingegen durch eine am Versuchsaufbau implementierte Sensorik. Diese Sensorik muss apparativ derart an den Versuchsaufbau angepasst werden, dass alle relevanten Freiheitsgrade mit ausreichender zeitlicher Auflösung und Genauigkeit der von den Probanden gewählten Einstellungen erfasst werden können. Erste Beispiele für die Umsetzung dieses Ansatzes finden sich in den Ref. [7, 8, 11, 12]. Die Funktionsweise der genutzten Sensorik für die Erfassung der Manipulation der optischen Bauelemente auf einer optischen Bank wird im Folgenden nochmals skizziert.

Eine objektfokussierte Erfassung des Justageprozesses wurde bei der Studie im vergangenen Wintersemester 2016/17 zur konvergenten Validierung des weiterentwickelten Smartpen-Verlaufsprotokolls bei 30% der Probanden zusätzlich zur probandenfokussierten Erfassung eingesetzt. In einer Laborstudie hat sich dabei gezeigt, dass die objektfokussierte Erfassung den Justageprozess nahezu vollständig und hinreichend genau abbildet [13]. Für die konvergente Validierung des entwickelten Smartpen-Verlaufsprotokolls wird daher angenommen, dass die Validität der objektfokussierten Erfassung auch in einer Feldstudie gegeben ist.

Zur Erfassung des Justageprozesses sind bei diesem objektfokussierten Ansatz an den optischen Bauteilen Blende, Linse und Photozelle zwei oder drei Laserdioden so angebracht, dass Manipulationen an den optischen Bauteilen durch die Verschiebung des Lichtspots von den Laserdioden auf einem halbtransparenten Schirm, der sich hinter dem Experiment befindet, abgebildet werden [7, 8]. Auf der Rückseite des Schirms ist eine Kamera positioniert, die den halbtransparenten Schirm filmt und damit die Bewegung der Lichtspots aufzeichnet. Eine schematische Darstellung dieser Umsetzung einer objektfokussierten Erfassung des experimentellen Prozesses ist in Abb. 5 zu sehen. Als Referenzpunkt bei der späteren

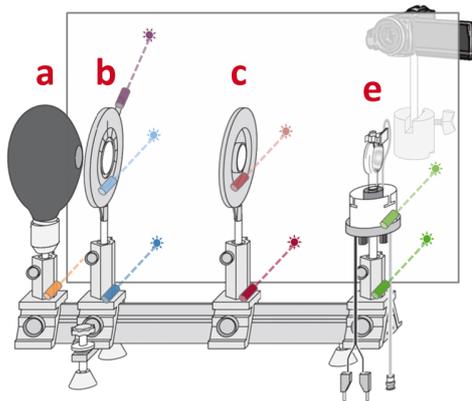


Abb. 5: Schematische Darstellung der objektfokussierten Erfassung bei einem Versuchsaufbau auf einer optischen Bank. Die optischen Bauteile Blende (b), Linse (c) und Photodiode (e) sind je mit zwei oder drei Laserdioden versehen, die Manipulationen an den optischen Bauteilen auf einem hinter dem Experiment befindlichen halbtransparenten Schirm sichtbar machen. An der Lampe (a), die fest auf der optischen Bank positioniert ist, befindet sich für die spätere Auswertung eine Referenzdiode. Die Bewegung der Laserspots auf dem halbtransparenten Schirm wird mit einer rückseitigen Kamera gefilmt. (Verwendung von Abbildungselementen mit freundlicher Genehmigung von ©Leybold® / LD Didactic GmbH; www.leybold-shop.de.)

Auswertung der Videodaten ist an der fest auf der optischen Bank positionierten Lampe ebenfalls eine Laserdiode befestigt.

Die Auswertung der Videodaten erfolgt teilautomatisiert, was in Abb. 6 schematisch dargestellt ist.

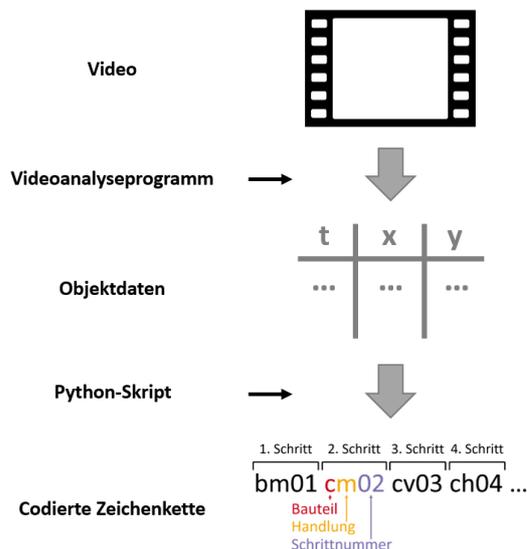


Abb. 6: Schematische Darstellung der teilautomatisierten Auswertung der Videodaten (Details siehe Text).

Mit Hilfe eines Videoanalyseprogramms werden aus den aufgenommenen Videodaten zunächst die Objektdaten für jede Einstellung an einem optischen Bauteil (repräsentiert durch die Bewegung der entsprechenden Lichtspots auf dem halbtransparenten

Schirm) generiert. Für jeden Lichtspot erhält man somit einen zeitlichen Verlauf der x-y-Positionsdaten auf dem halbtransparenten Schirm (siehe auch Ref. [7, 8]). Die so gewonnenen Daten werden anschließend durch ein Python-Skript weiterverarbeitet und für eine automatische Unterteilung in einzelne Handlungsschritte bei der Justage aufbereitet. Ein solcher Handlungsschritt wurde hierfür als durchgängige Einstellung eines Freiheitsgrades (z.B. die horizontale Verschiebung) oder als Auf-/Absetzen eines optischen Bauteils auf die optische Bank definiert. Die Erkennung der Handlungsschritte erfolgt ebenfalls automatisiert durch das Python-Skript [7, 8]. Das Skript gibt schließlich codierte Zeichenketten analog zur in Abschnitt 4 beschriebenen probandenfokussierten Erfassung aus.

6. Vergleich der Daten aus probanden- und objektfokussierter Erfassung

In der in Abschnitt 3 beschriebenen Studie wurden parallel sowohl die probandenfokussierte als auch die objektfokussierte Erfassung der experimentellen Prozesse bei der Justage des optischen Aufbaus zur Untersuchung des Photoeffekts eingesetzt. Beide Erhebungsinstrumente liefern, wie in Abschnitt 4 und 5 beschrieben, codierte Zeichenketten, die die Abfolge der Handlungsschritte bei der Justage repräsentieren. Diese codierten Zeichenketten bilden die Grundlage für eine konvergente Validierung des vorgestellten Smartpen-Verlaufsprotokolls.

Ziel hierbei ist es zu identifizieren, welche Aspekte der Handlungsabfolgen durch das Instrument des Smartpen-Verlaufsprotokolls valide abgebildet werden können.

Der hierfür erforderliche Vergleich einer aus der probanden- und aus der objektfokussierten Erfassung resultierenden Zeichenkette wird exemplarisch in Abb. 7 gezeigt. Dieser Vergleich liefert beispielsweise mit cv03 einen Handlungsschritt, der bei der objektfokussierten Erfassung detektiert wurde, aber durch die Probanden im Smartpen-Verlaufsprotokoll nicht protokolliert wurde (siehe Abb. 7).

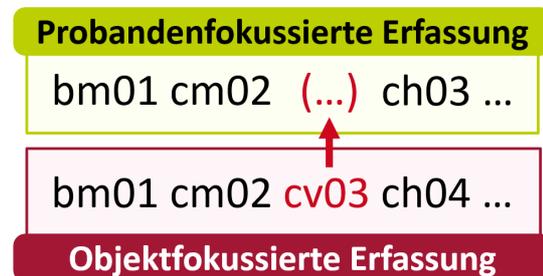


Abb. 7: Exemplarischer Vergleich zweier codierter Zeichenketten aus probanden- und objektfokussierter Erfassung. In diesem Beispiel wurde der dritte Justageschritt bei der probandenfokussierten Erfassung nicht protokolliert.

Im Folgenden wird ein Einblick in die Auswertung von vier Datensätzen gegeben. Erwartungskonform

zeigt sich, dass bei allen vier Datensätzen die objekt-fokussierte Erfassung verglichen mit der probanden-fokussierten Erfassung gleich viele oder mehr Justageschritte aufgezeichnet hat. Insgesamt wurden über die vier Datensätze in der probandenfokussierten Erfassung 65 Justageschritte protokolliert. Die objekt-fokussierte Erfassung hat hingegen 96 Justageschritte aufgezeichnet. Betrachtet man die Justageschritte der probandenfokussierten Erfassung, so zeigt sich, dass sich für 77% der Justageschritte (50 von 65) aus der probandenfokussierten Erfassung eine Entsprechung in den aufgezeichneten Justageschritten der objekt-fokussierten Erfassung finden lässt. Für 15 Justageschritte lässt sich jedoch keine Entsprechung in den Datensätzen der objekt-fokussierten Erfassung finden. Bei 5 dieser 15 Justageschritte deutet sich an, dass die Probanden bei der Protokollierung im Smartpen-Verlaufsprotokoll die Freiheitsgrade „Horizontale Verschiebung“ und „Vertikale Verschiebung“ vertauscht haben könnten. Ein Einblick in die Audioaufnahmen der Smartpens könnte hierfür eine Bestätigung und Hinweis auf die Diskrepanzen in den übrigen 10 Justageschritten liefern.

Ausgehend von den aufgezeichneten Justageschritten der objekt-fokussierten Erfassung zeigen sich umgekehrt 41 zusätzliche Justageschritte, die in der probandenfokussierten Erfassung nicht protokolliert wurden. Eine detailliertere Analyse dieser nicht in der probandenfokussierten Erfassung detektierten Schritte ergibt, dass bei 11 dieser Schritte aufeinanderfolgende gleiche Handlungsschritte bei der Dokumentation im Smartpen-Verlaufsprotokoll durch die Probanden zusammengefasst wurden. Für die übrigen Schritte ist zunächst keine Erklärung ersichtlich, welche die Diskrepanzen auf naheliegende systematische Weise begründen konnte. Eine Auswertung der Audioaufzeichnungen der Smartpens kann möglicherweise auch hier für einige Fälle Hinweise auf eine Erklärung der Diskrepanzen geben.

7. Fazit und Ausblick

Die Diagnostik experimenteller Prozesse hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Oft fehlten bislang jedoch geeignete Instrumente, um die während der Durchführung von Experimenten stattfindenden experimentellen Handlungen in geeigneter Weise und besonders auch bei größeren Probandengruppen mit moderatem Auswerteaufwand abbilden zu können. Am Beispiel der optischen Justage bei einem Versuch zum Photoeffekt wurden zwei prozessorientierte Instrumente zur Diagnostik experimenteller Prozesse entwickelt, angewendet und in ihren Ergebnissen im Detail verglichen.

In einer Laborstudie zeigte sich, dass die objekt-fokussierte Erfassung eine nahezu vollständige Abbildung der relevanten Handlungsabfolgen ermöglicht. Für die Feldstudie im Wintersemester 2016/17 wurde daher die Validität dieses Erhebungsinstrumentes angenommen und für eine konvergente Validierung eines

weiterentwickelten Smartpen-Verlaufsprotokolls eingesetzt.

Ein erster Einblick in das Datenmaterial der Studie aus dem Wintersemester 2016/17 zeigt, dass ein Großteil der bei der probandenfokussierten Erfassung protokollierten Handlungsschritte mit denen aus der objekt-fokussierten Erfassung übereinstimmen. Dies lässt erwarten, dass mit dem weiterentwickelten Smartpen-Verlaufsprotokoll die wesentlichen Abfolgen der Handlungsschritte bei der Durchführung von Realexperimenten mit hinreichender Genauigkeit erfasst werden können und eröffnet einen neuen Zugang zu einer Vielzahl interessanter Fragestellungen im Umfeld des Experimentierens an realen Versuchsaufbauten.

Bei den bislang ausgewerteten Datensätzen, die parallel mit den beiden Methoden erhoben wurden, ergaben sich aber auch merkbare Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen beider Erhebungsmethoden. Insbesondere wurden durch die objekt-fokussierte Erfassung zusätzliche Handlungsschritte detektiert, von denen zunächst nur etwa ein Viertel schlüssig erklärt werden konnte. Eine Einbeziehung der Audioaufzeichnungen der Smartpen-Verlaufsprotokolle soll Hinweise auf Erklärungen der Diskrepanzen zwischen den Datensätzen aus der probanden- und objekt-fokussierten Erfassung von experimentellen Prozessen am Realexperiment liefern.

8. Literatur

- [1] KMK. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik: *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004*. In: Zeitschrift für Pädagogik, 51 (2), S. 280-290.
- [2] NRC. National Research Council: *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington DC: The National Academies Press.
- [3] FRASS, Stephan, WEYERS, Christian, HEINKE, Heidrun: *Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? - Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes*. In: NORDMEIER, Volkhard, GRÖTZEBACH, Helmuth (Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik*. Frankfurt a. M.: o. V., 2014, Beitrag DD 04.02.
- [4] EMDEN, Markus: *Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlichen-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*. In: NIEDDERER, Heiko, FISCHLER, Helmut, SUMFLETH, Elke (Hrsg.): *Studien zum Physik- und*

- Chemielernen (Bd. 118)*. Berlin: Logos Verlag, 2011.
- [5] HOFSTEIN, Avi: *The Laboratory In Chemistry Education: Thirty Years Of Experience With Developments, Implementation, And Research*. Chemistry Education: Research and Practice, 5 (3) (2004), S. 247-264.
- [6] FRASS, Stephan, HEINKE, Heidrun: *Auf der Suche nach Strategien bei der Manipulation von Experimenten*. In: MAURER, Christian (Hrsg.): *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016*. Regensburg: Universität Regensburg, 2017, S. 312-315.
- [7] FRASS, Stephan, HEINKE, Heidrun: *Diagnostik experimenteller Fertigkeiten bei optischen Versuchen*. In: BERNHOLT, Sascha (Hrsg.): *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014*. Kiel: IPN, S. 301-303.
- [8] FRASS, Stephan, HEINKE, Heidrun: *Object-Focused Assessment Of Experimental Processes In Optical Experiments*. In: KIND, Per, DOLIN, Jens (Hrsg.): *E-Book Proceedings of the ESERA 2015 Conference: Science Education Research: Engaging Learners for a Sustainable Future. Part 11*. Helsinki: o. V., S. 1714-1724.
- [9] SCHREIBER, Nico: *Diagnostik experimenteller Kompetenz: Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*. In: NIEDDERER, Heiko, FISCHLER, Helmut, SUMFLETH, Elke (Hrsg.): *Studien zum Physik- und Chemielernen (Bd. 139)*. Berlin: Logos Verlag, 2012.
- [10] VAN SCHAACK, Andrew: *Livescribe in K-12 Education: Research Support*. 2009.
- [11] BÜSCH, Leonard, SCHÖNEBERG, Marie, HEINKE, Heidrun: *Einblick in Prozesse im Realexperiment: Chancen für Forschung & Lehre*. In: MAURER, Christian (Hrsg.): *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016*. Regensburg: Universität Regensburg, 2017, S. 456-459.
- [12] BÜSCH, Leonard, GUNTERMANN, Christina, HEINKE, Heidrun: *Diagnostik experimenteller Vorgehensweisen am Beispiel eines Versuchs zur Radioaktivität*. In: NORDMEIER, Volkhard, GRÖTZEBAUCH, Helmut (Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik*. Dresden: o. V., 2017, Beitrag DD 22.03.
- [13] FRASS, Stephan. Dissertation. Aachen, 2017 (in Vorbereitung).