

Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? - Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes -

Stephan Fraß, Christian Weyers, Heidrun Heinke

RWTH Aachen

frass@physik.rwth-aachen.de, christian.weyers@rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Für eine Interventionsstudie zur Lernwirksamkeit von interaktiven Bildschirmexperimenten bei der Vermittlung experimenteller Fertigkeiten am Beispiel des Versuchs Photoeffekt wird ein Erhebungsinstrument benötigt, mit dessen Hilfe der Prozess des Aufbaus eines optischen Experiments erfasst werden kann. Dabei wird unter dem Aufbau eines optischen Experiments die Anordnung und Justage der optischen Bauelemente verstanden. Vorangegangene Studien haben gezeigt, dass der Entstehungsprozess von Versuchsberichten als produktorientiertes Ergebnis eines physikalischen Versuchs mit Smartpens dokumentiert werden kann. Allerdings wird der Prozess der Justage der Bauelemente bisher nur über die akustische Aufzeichnung der Probandengespräche und damit nur lückenhaft zugänglich. Als Ergänzung zum herkömmlichen Versuchsbericht wurden daher auf die Nutzung von Smartpens abgestimmte, vorstrukturierte Verlaufsprotokolle entwickelt, die typische Abläufe während des Aufbau- und Justageprozesses aus Probandenperspektive dokumentieren sollen. Zudem wird ein objektseitiges Erhebungsinstrument zur Aufzeichnung der prozeduralen Objektdaten der optischen Bauelemente (Position und Einstellung als Funktion der Zeit) entwickelt. In diesem Artikel werden der theoretische Hintergrund der Untersuchungen, die Verortung bei anderen Modellen experimenteller Fertigkeit, das Design der Erhebungsinstrumente sowie exemplarisch erste Ergebnisse der Analyse von Verlaufsprotokollen (N=71) präsentiert.

1. Motivation und Zielsetzung

Interaktive Bildschirmexperimente (IBE) können dabei helfen, die Kluft zwischen theoretischer Vorbereitung und praktischen Anforderungen in Physikalischen Praktika zu überwinden [1]. Außerdem haben sie das Potential einen ähnlich guten Lernerfolg zu bewirken wie Realexperimente [2]. Der Schwerpunkt bisheriger Studien lag in der Untersuchung des mit IBE verbundenen fachlich-inhaltlichen Lernerfolgs. Studien zur Lernwirksamkeit von Simulationen haben gezeigt, dass durch sie auch Prozesskompetenzen wie Beobachtung, Schlussfolgerungen und Experimentieren ähnlich gut angesprochen werden können wie durch traditionelle Methoden [3, 4]. Inwieweit speziell durch IBE handwerklich-experimentelle Fertigkeiten gezielt geschult werden können ist bisher ungeklärt. In der vorgestellten Studie soll dieser Frage am Beispiel der optischen Justage eines Versuchsaufbaus zum Photoeffekt nachgegangen werden.

Ein Teilziel der Studie ist daher die Entwicklung eines auf Experimente an optischen Bänken abgestimmten Erhebungsinstrumentes, das handlungs- und prozessbezogene Aspekte der Justage und damit einhergehende experimentelle Fertigkeiten mit hin-

reichender Genauigkeit auch für große Probandenzahlen erfasst und sie einer qualitativen Bewertung zugänglich macht. Grundlage für die Entwicklung eines solchen Messverfahrens ist ein ausdifferenziertes und zu anderen Kompetenzbereichen abgegrenztes Konstrukt experimenteller Fertigkeiten.

2. Modell experimenteller Fertigkeiten

Die Begriffe Fähigkeiten und Fertigkeiten werden oft synonym oder simultan verwendet. Die verbreitete begriffliche Unschärfe verlangt eine Abgrenzung dieser Studie zugrunde liegenden Auffassung von experimentellen Fertigkeiten. Eine Grundlage für die Abgrenzung bietet eine Unterscheidung gemäß einer Arbeitsdefinition nach Emden [5], dessen Modell sich an einem arbeitspsychologischen Ansatz von Hacker [6, 7] orientiert. Emden unterscheidet die in den naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken gängigen Begriffe *experimentelle Fähigkeiten* und *experimentelle Fertigkeiten* durch ihre Verortung in verschiedenen Ebenen einer allgemeinen arbeitspsychologischen Definition von Fähigkeiten als fundamentales, routiniertes und situationsübergreifendes Handlungspotential. Demnach ist *experimentelle Fähigkeit* das auf der intellektuellen Ebene befindliche Potenzial zur „[Planung d. Verf.], [...] Durchfüh-

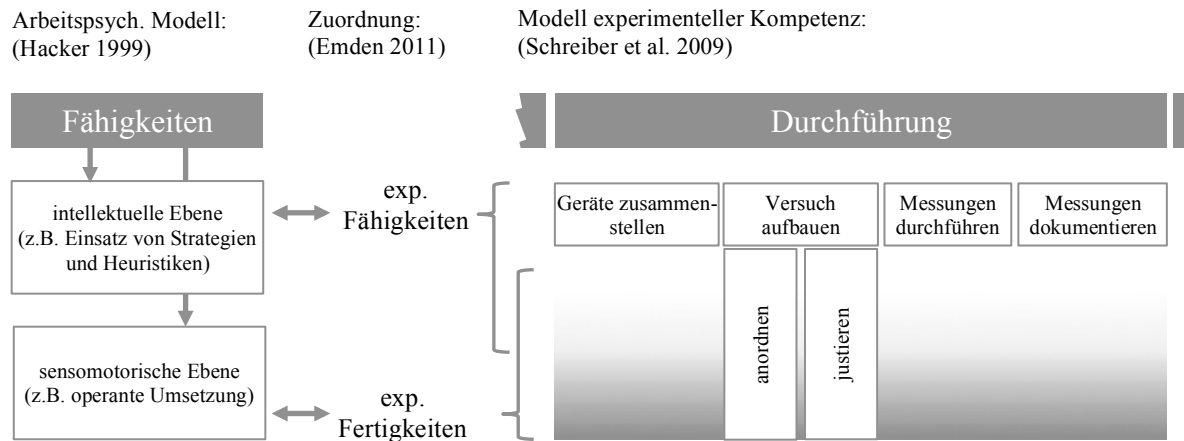


Abb. 1: Zuordnung von experimentellen Fähigkeiten und Fertigkeiten zu dem Fähigkeitsbegriff aus der Arbeitspsychologie (nach Hacker) und einem Strukturmodell experimenteller Kompetenz (nach Schreiber et al.) mit dem Dreischritt von Planung, Durchführung und Auswertung eines Experiments.

zung, Überwachung und Reflexion naturwissenschaftlicher Untersuchungen“ [5]. Dies beinhaltet die „situationsspezifische [...] Auswahl und den Einsatz von [...] Strategien und Heuristiken“ [5]. *Experimentelle Fertigkeit* ist auf der anderen Seite das Potenzial zur „händischen Durchführung labor-spezifischer Handlungsabläufe“. Sie zeigt sich in der „operanten Umsetzung von Versuchsplänen auf sensomotorischer Ebene“ [5]. So eingeordnet stellen *experimentelle Fähigkeiten* und *Fertigkeiten* zwei unterschiedliche Ausprägungen naturwissenschaftlichen Arbeitens dar, die durch ein übergeordnetes, arbeitspsychologisches Konstrukt *Fähigkeiten* bestimmt sind und sich gegenseitig im übergeordneten Experimentierziel bedingen (vgl. Abbildung 1).

Hülsman und Müller-Martini [8] schärfen die kausale Relation zwischen Fähigkeiten und Fertigkeiten weiter aus. Sie sehen in Fähigkeiten „vorgeschaltete psychische Bedingungen, die den Einsatz der spezifisch zur Lösung einer Aufgabe notwendigen Fertigkeiten regulieren“ [5]. Nach diesem Verständnis ließen sich experimentelle Fertigkeiten aufgrund ihrer untergeordneten Struktur nur im Kontext experimenteller Fähigkeiten verstehen und untersuchen.

Legt man die gängigen, zumeist dreischrittigen Kompetenzmodelle mit *Planung*, *Durchführung* und *Auswertung* von Experimenten zugrunde (vgl. unter anderem [9-11]), so treten experimentelle Fertigkeiten besonders im zweiten Schritt *Durchführung* zu Tage. Dies bedeutet, dass experimentelle Fertigkeiten stark domänenspezifische Kompetenzen (nach Hammann [2]) darstellen. Insbesondere können sie nur bei der direkten Konfrontation mit einem konkreten Versuchsobjekt geschult bzw. erhoben werden. Im Strukturmodell nach Schreiber et al. [9] kommen hierfür beispielsweise die Merkmale *Versuch aufbauen* und *Messung durchführen* in Frage. Im Merkmal *Aufbau aufbauen* werden dabei die Handlungen des Anordnens der Versuchsbestandtei-

le und ihrer Justage subsumiert. Für die angestrebte Intervention ist daher eine abgrenzende Definition von Justage erforderlich: Sie beinhaltet das genaue Einstellen bzw. Ausrichten von technischen Geräten nach einer groben Anordnung auf dem Versuchsort, jedoch vor einer durchzuführenden Messung.¹

Beispiele für Experimente mit einem in diesem Sinne erhöhten Justagebedarf sind solche, die optische Bauteile beinhalten: In den meisten Fällen müssen optische Bauteile bei der Justage hinreichend genau positioniert und gegeneinander ausgerichtet werden. In Praktikumsversuchen kommen dabei häufig optische Bänke zum Einsatz.

3. Versuch Photoeffekt

Im Zentrum der geplanten Studie steht der optische Aufbau des Versuchs Photoeffekt (vgl. Abbildung 2). Durch die Justage der optischen Bauelemente sollen die Studierenden das Licht einer Quecksilberdampfampe (a) so auf eine Photozelle (e) ausrichten, dass die Lichtintensität auf der Kathode der Photozelle maximal, der Anodenring der Zelle jedoch nicht beleuchtet wird. Hierfür stehen eine Irisblende (b) und eine Linse (c) zur Verfügung. Für die spätere Messung muss zudem ein Filterrad (d) mit vier Interferenzfiltern im Strahlengang platziert werden. Alle Bauteile befinden sich am Beginn des Experiments im kontrollierten dejustierten Zustand abseits der optischen Bank. Sie müssen von den Studierenden zunächst auf die optische Bank gesetzt werden und können dann vertikal und horizontal auf der optischen Bank bewegt werden. Bei der Irisblende kann zudem die Größe der Öffnung

¹ Dies soll jedoch keine Abfolge im Experimentierprozess vorgeben. Merkmale können in verschiedene Reihenfolgen, iterativ oder unvollständig auftreten [9].

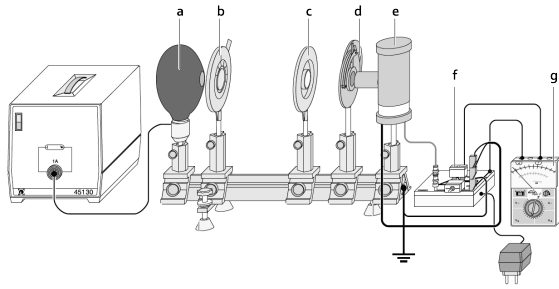


Abb. 2: Schematischer Aufbau zum Versuch Photoeffekt. Details siehe Text. © LD Didactic GmbH

variiert werden. Nach erfolgreicher Anordnung und Justage der optischen Bauteile soll über ein geeignetes Messverfahren die maximale kinetische Energie der in der Photozelle ausgelösten Photoelektronen als Funktion der Frequenz des einfallenden Lichtes gemessen werden. Schaltet man einen Kondensator (f) parallel zur Photozelle, so ist die maximale Energie der Photoelektronen über die am Multimeter (g) ablesbare maximale Kondensatorspannung zugänglich. Aus der Auftragung dieser maximalen Kondensatorspannung gegen die Frequenz des einfallenden Lichtes kann mittels linearer Regression das Planck'sche Wirkungsquantum bestimmt werden.

4. Forschungsfragen und Studiendesign

Erste Erhebungen aus dem Wintersemester 2012/13 zeigen, dass die Studierenden die optische Justage nur unzureichend bzw. unreflektiert vollziehen. Es wurden daher auf IBE basierende Schulungen zur Justage typischer optischer Bauteile entwickelt, die die Funktionsweise der einzelnen Bauteile veranschaulichen und die Auswirkungen der einzelnen Parameter wie vertikale und horizontale Position des Bauteils bzw. Öffnung der Irisblende illustrieren. Die Schulung besteht aus mehreren Modulen, die jeweils auf ein Bauteil bzw. auf ein Justageziel fokussieren und den Studierenden Raum für Interaktionen auf verschiedenen Ebenen ermöglichen [1, 12]. Folgende Forschungsfragen sollen mit der Studie adressiert werden:

FF1: Können mit interaktiven Bildschirmexperimenten experimentelle Fertigkeiten in Form von händischen Durchführungen laborspezifischer Handlungsabläufe geschult werden?

FF2: Führt eine IBE-gestützte Schulung von Studierenden zu einer messbar besseren Ausprägung der experimentellen Fertigkeit des Justierens optischer Bauelemente?

Um dies zu prüfen soll die Wirksamkeit der Justageschulungen in einer Feldstudie durch eine Intervention im regulären Praktikumsbetrieb untersucht werden. Hierfür bedarf es eines Erhebungsinstrumentes, mit dem die Prozesse während des Anordnens und der Justage der optischen Bauelemente genau verfolgt und analysiert werden können.

5. Erhebungsinstrumenten zur Diagnose experimenteller Fertigkeiten

Da die Studie darauf abzielt experimentelle Fertigkeiten bei der Justage von optischen Bauteilen zu erheben, konzentriert sie sich auf den Bereich der *Durchführung* des Experiments. Der in bisherigen Studien zur Erhebung experimenteller Fähigkeiten zumeist realisierte holistische Ansatz bezüglich der zugrunde liegenden Kompetenzstrukturierungsmodelle ist hier nicht relevant. Dies erlaubt es die Untersuchung als Feldstudie in einem physikalischen Praktikum durchzuführen, bei dem Versuchssituationen geschaffen werden, die vorgegebene Fragestellungen, Versuchsmaterialien, Messaufträge und Auswertungsansätze beinhalten, und deren Fokus auf dem Aufbau des Versuches einschließlich der Justage der Bauteile und auf messtechnischen Aspekten liegt. Das Erhebungsinstrument soll daher auf die prozeduralen Aspekte der Teilkompetenz *Versuch aufbauen* fokussieren. Es ergibt sich folgende Forschungsfrage:

FF3: Kann man ein Erhebungsinstrument realisieren, das den Prozess des Anordnens und Justierens optischer Bauteile mit hoher zeitlicher und örtlicher Genauigkeit objektiv abbildet?

Im Zentrum einer solchen Erhebung müssen demnach das Versuchsobjekt, die optische Bank samt Bauteilen und alle sie betreffenden Handlungen der Probanden stehen. Jedoch reicht die einfache Erfassung der prozeduralen Objektdaten der Bauteile nicht für eine Bewertung des experimentellen Prozesses der Justage aus. Vielmehr müssen die auf intellektueller Ebene ausschlaggebenden Strukturierungen der händischen Umsetzung, wie die Intentionen der experimentellen Handlungen und deren Bewertung seitens der Probanden, miterhoben werden. Dies ist beispielhaft für einen Justageschritt in Abbildung 3 illustriert.

Für die Erfassung der Ziele eines jeden Justageschrittes aus der Perspektive der Probanden ist zunächst ein Überblick über den Justageprozess nötig. Dabei müssen Justageziele kleinschrittig erfasst und eine Bewertung der Handlung hinsichtlich des gesteckten Zieles ermöglicht werden. Diese Daten werden mit eigens entwickelten *Smartpen-Verlaufsprotokollen* erhoben, die weiter unten ausführlich erläutert werden. Zusätzlich soll ein objektives Erhebungsinstrument objektseitig für jedes optische Bauteil alle relevanten Freiheitsgrade wie horizontale und vertikale Position, Einstellung der Blendenöffnung oder des Farbfilters in ihrem zeitlichen Verlauf hinreichend genau abbilden. Da es sich um eine optische Justage handelt, wird dabei eine hohe örtliche Genauigkeit von $\Delta = 2$ mm angestrebt. Die Daten werden mittels eines laserdiodengestützten Messsystems erfasst, das im Folgenden *Laserdiodesystem* genannt wird.

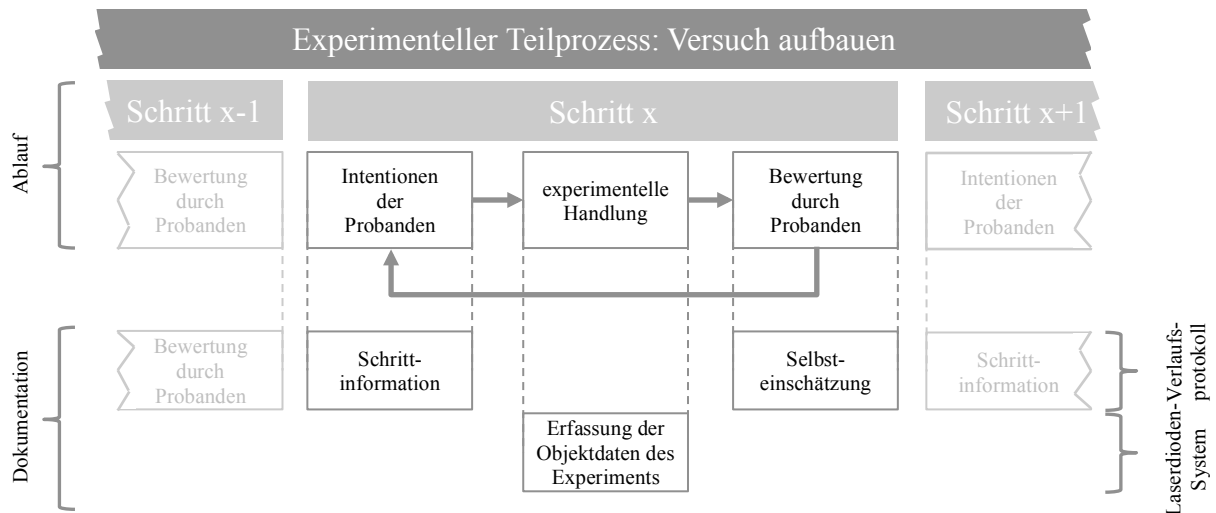


Abb. 3: Exemplarische Darstellung eines Justageschrittes mit den entsprechenden Dokumentationsformen. Im Verlaufsprotokoll umschließt jeder durch die Schrittinformation und die Selbsteinschätzung definierte Schritt eine auf der sensomotorischen Ebene stattfindende experimentelle Handlung. Diese wird objektiv durch das Laserdioden-System dokumentiert.

Es wird erwartet, dass aus den nach Abbildung 3 gewonnenen Daten Rückschlüsse auf die Qualität von Justageprozessen gezogen werden können. Dies führt zur vierten Forschungsfrage:

FF4: Lässt sich aus den erfassten Daten ein bewertendes Konstrukt „Justagegüte“ ableiten?

Auf der Basis eines solchen Konstruktes kann die Lernwirksamkeit von IBE-gestützten Schulungen experimenteller Fertigkeiten am Beispiel der Justage optischer Versuchsaufbauten bewertet werden.

6. Verlaufsprotokolle: Methode

Von den Probanden selbst angefertigte Protokolle liefern ein geeignetes Ersatzmaß für eine prozessbegleitende Beobachtung [13]. Daher wird eine Erhebung im Protokollformat angestrebt. Der Fokus der typischerweise von Studierenden in Praktika angefertigten Versuchsberichte liegt jedoch auf der Präsentation aufgenommener Messdaten [14]. Die Justage fließt in diese Messdaten, wenn überhaupt, nur indirekt ein [5]. Daher wurden *Smartpen-Verlaufsprotokollbögen* für den Aufbau eines optischen Experiments entwickelt, um einen detaillierten Einblick in den Prozess der Justage aus der Perspektive der Probanden zu erhalten. Die Bögen werden von den Studierenden *während* der Anordnung und Justage der optischen Bauteile mit einem Smartpen als Ergänzung zum Versuchsbericht ausgefüllt. Da die Studierenden in Zweiergruppen an den Versuchsaufbauten arbeiten und dabei miteinander kommunizieren, können durch den Smartpen-Einsatz neben der zeitlichen Entstehung des Schriftbildes auch die Gespräche der Probanden und somit deren ausgetauschte Überlegungen erfasst werden, ohne eine große Änderung der Interaktionsrealität zu bewirken [15, 16]. Die in Abbildung 4 gezeigte Form des Bogens gibt den Probanden nur eine grobe Vorstruk-

turierung für die Protokolltätigkeit vor. Die Studierenden sind frei in der Wahl des Inhaltes, der Abfolge und in der Ausdrucksweise.

Unmittelbar vor Beginn der Versuchsdurchführung im Praktikum werden die Probanden in einer 15-minütigen Einführung in den Umgang mit den Smartpens und den Verlaufsprotokollbögen eingewiesen. Insbesondere wird dabei die Unterteilung des Bogens in *Justageschritte* erläutert. Ein solcher Schritt wird in der Einweisung als die ununterbrochene Einstellung eines Freiheitsgrades (horizontale Position, vertikale Position, Blendenöffnung, Filterradeinstellung) oder das Aufsetzen eines Bauteils auf die optische Bank definiert. Der Prozess des Anordnens und der Justage wird so in kleine Teilprozesse zerlegt. Diese Zerlegung des experimentellen Prozesses in Teilprozesse ähnelt dem Vorgehen von Emden [5]. Allerdings werden im Unterschied zu seiner Arbeit hier die zeitlichen Blöcke nicht extern starr vorgegeben. Stattdessen findet die Sequenzierung prozessabhängig durch die Probanden selbst statt, während die Zeitachse durch den Smartpen erfasst und später ausgelesen wird. Die genormte Untergliederung der Verlaufsprotokolle erlaubt später einen leichteren Vergleich der experimentellen Abläufe verschiedener Praktikumsgruppen.

Nachdem der Schrittinhalt definiert wurde, sind die Studierenden dazu angehalten in der Skizze (vgl. Abbildung 4) mit der Schrittnummer zu markieren, an welcher Stelle sie am Versuchsaufbau etwas verändern. Haben sie den von ihnen angegebenen Freiheitsgrad justiert, so sollen sie anschließend die Kriterien niederschreiben, anhand derer sie den Erfolg der Veränderung, genannt Güte der Justage, einordnen und mittels einer fünfstufigen Skala beurteilen. Da die Studierenden die Kriterien selbst festlegen, soll die Skala sie primär dazu anhalten die

Datum: _____ Smartpen-Nr.: _____

a) Quecksilber-Lampe b) Irisblende c) Linse
d) Filterrad + Irisblende e) Photozelle f) Verschlusskappe

Schrittfolge	Güte der Justage
1 Schritt:	
Kriterien:	sehr gut <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Hilfe durch Betreuer <input type="checkbox"/>	
2 Schritt:	
Kriterien:	sehr gut <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Hilfe durch Betreuer <input type="checkbox"/>	
3 Schritt:	
Kriterien:	sehr gut <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Hilfe durch Betreuer <input type="checkbox"/>	
4 Schritt:	
Kriterien:	sehr gut <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Hilfe durch Betreuer <input type="checkbox"/>	

Abb. 4: Exemplarische Seite der Verlaufsprotokolle. Pro Seite können vier Schritte der Justage des optischen Aufbaus durch die Probanden dokumentiert werden, wobei jeweils die Handlung, Kriterien, Justagegüte, Betreuerhilfe und eine Markierung in der Skizze (© LD Didactic GmbH) angegeben werden sollen.

einzelnen Justagehandlungen zu reflektieren und zu beurteilen. Wurde der Versuchsbetreuer zu Hilfe geholt, soll auch dies durch ein entsprechendes Kästchen dokumentiert werden (vgl. Abbildung 4).

7. Verlaufsprotokolle: Ergebnisse

Das Verlaufsprotokoll kam erstmals in einer Pilotierung im Wintersemester 2013/14 bei 71 Praktikumsgruppen à zwei Probanden zum Einsatz. Nach einer ausführlichen exemplarischen Einführung haben die meisten Studierendengruppen die Verlaufsprotokolle entsprechend der Vorgaben ausgefüllt. In einzelnen Fällen wurden aber einige Schritte gar nicht protokolliert oder mehrere Bauteile bzw. Freiheitsgrade in einem Schritt aufgeschrieben. In den im Folgenden präsentierten Ergebnissen einer ersten Analyse wurden nur die korrekt ausgefüllten Schritte berücksichtigt. Die betrachtete Stichprobe N weicht daher teilweise von der tatsächlichen Zahl der erfassten Versuchsgruppen $N_{\max} = 71$ nach unten ab.

7.1. Zeit

Durch Smartpendaten wird die zeitliche Entstehung des Schriftbildes eines Dokumentes nachvollziehbar.

Daher wurde ein *Schritt* im Justageprotokoll (vgl. Abbildung 4) so konzipiert, dass der erste und letzte Eintrag die dokumentierte Justagehandlung zeitlich und logisch umklammern: Vor der Justagehandlung soll definiert werden, was gemacht wird, und danach, wie das Ergebnis der Handlung bewertet wird (vgl. Abbildung 3). Die Zeitdifferenzen zwischen dem ersten und letzten Eintrag zu einem Schritt lassen also nicht nur Rückschlüsse auf die Zeit zu, die zum Ausfüllen des Schrittfeldes benötigt wurde, sondern erlauben bei richtiger Nutzung des Bogens auch eine obere Abschätzung der Zeiten, die für das Einstellen des jeweils dokumentierten Freiheitsgrades am Versuchsaufbau benötigt wurden.

Gesamtjustagezeit

Hieraus ergeben sich zwei Ansätze für die Ermittlung der Zeiten, die für das Anordnen und Justieren der Bauteile insgesamt benötigt wurden (Gesamtjustagezeit):

- (A) Differenz zwischen dem ersten Eintrag des ersten Schrittes und dem letzten Eintrag des letzten Schrittes,
- (B) Summe der Zeiten, die für alle einzelnen Schritte benötigt wurden.

Der Unterschied der beiden Definitionen liegt in der Berücksichtigung des Geschehens zwischen zwei Schritten. Definition (A) bezieht dies mit ein, wohingegen Definition (B) dies vernachlässigt. Die Verteilungen der ermittelten Gesamtjustagezeiten für beide Definitionen finden sich in Abbildung 5. Die nach Methode (A) ermittelten Daten können als sehr zuverlässig angesehen werden, während die Güte der nach Methode (B) ermittelten Daten in starkem Maße davon abhängt, wie exakt sich die Studierenden an die Anleitung zum Ausfüllen der Verlaufsprotokolle gehalten haben. Vereinzelt wurden die Schritte erst nach der eigentlichen Justagehandlung notiert oder gar das ganze Protokoll komplett nach der gesamten Justage ausgefüllt. Deshalb sind die mit Methode (B) ermittelten Werte tendenziell zu klein.

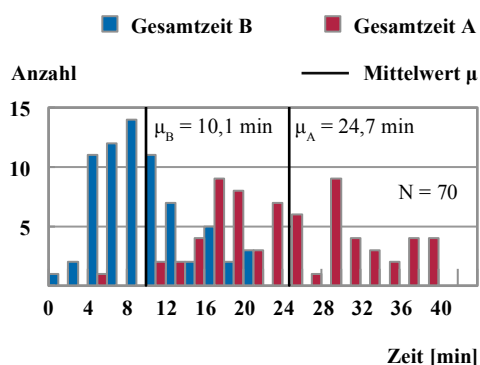


Abb. 5: Verteilung der Gesamtjustagezeit nach zwei Methoden. (A) Differenz zwischen Anfang des ersten Schrittes und Ende des letzten Schrittes (B) Summe der Einzelschrittzeiten.

Der Unterschied zwischen den Zeiten, die mit den Methoden (A) und (B) bestimmt werden, ist ein Maß dafür, wie effektiv die Justagedauer für echte Justagehandlungen genutzt wurde. Demnach wurden während des Aufbaus der optischen Komponenten des Versuchs nur maximal 40% der Gesamtzeit mit den eigentlich praktisch relevanten Tätigkeiten des Anordnens und Justierens der optischen Bauteile zugebracht. Haller [17] hat in einer empirischen Studie gezeigt, dass durchschnittlich in 30% der gesamten Praktikumszeit nicht direkt am Experiment gearbeitet wird. Die Daten der durchgeführten Pilotierung deuten darauf hin, dass dieser Effekt bei der Anordnung und der Justage der Bauelemente mindestens in einem vergleichbarem Maße auftritt.

Zeit je Bauteil

Die nach Methode (B) ermittelten Daten lassen zudem eine nach Bauteilen differenzierte zeitliche Betrachtung zu. In Abbildung 6 finden sich entsprechende Verteilungen beispielhaft für die Hg-Lampe, die Irisblende und die Photozelle. Es ist zu beachten, dass die dargestellten Verteilungen die benötigte Schrittzeit je Bauteil darstellen und damit die eigentliche Justagezeit durch die ebenfalls enthaltene Dokumentationszeit systematisch überschätzen. Diese Überschätzung fällt bei kleinen Justagezeiten, wie beispielsweise bei der Hg-Lampe und der Photozelle, stärker ins Gewicht als bei der Irisblende oder der Linse mit zur Irisblende vergleichbaren Justagezeiten. Die Mittelwertunterschiede zwischen den Zeiten, in denen tatsächlich experimentelle Handlungen z.B. an der Lampe und der Irisblende durchgeführt werden, würden demnach größer ausfallen als in Abbildung 6 dargestellt.

Zeit je Freiheitsgrad

Die Schrittinformationen lassen eine weitere Differenzierung der erhobenen Zeiten für die protokollierten Freiheitsgrade eines jeden Bauteils zu. Aus den Antworten der offenen Items in den Verlaufsprotokollen konnten hierdurch die folgenden Kategorien der experimentellen Justagehandlungen gefunden werden: Aufstellen, horizontale und vertikale Positionierung, Verdrehung der Bauteile gegenüber der optischen Achse, Öffnung der Irisblende sowie Wahl des Farbfilters. Nur im Fall der Linse zeigt sich ein signifikanter Unterschied in den für die verschiedenen Freiheitsgrade aufgewendeten Justagezeiten. Speziell finden sich dort für die horizontale Positionierung signifikant längere Positionierzeiten als für die vertikale Achse.

7.2. Schritt Betrachtung

Die Betrachtung der Schritte lassen nicht nur eine Aussage über die pro Bauteil bzw. pro Freiheitsgrad benötigte Zeit zu, sondern geben auch Einblicke in den Ablauf des Aufbaus und des Justageprozesses der einzelnen Bauteile. In Abbildung 7 ist die Zahl der Justagehandlungen (über alle Probanden hinweg)

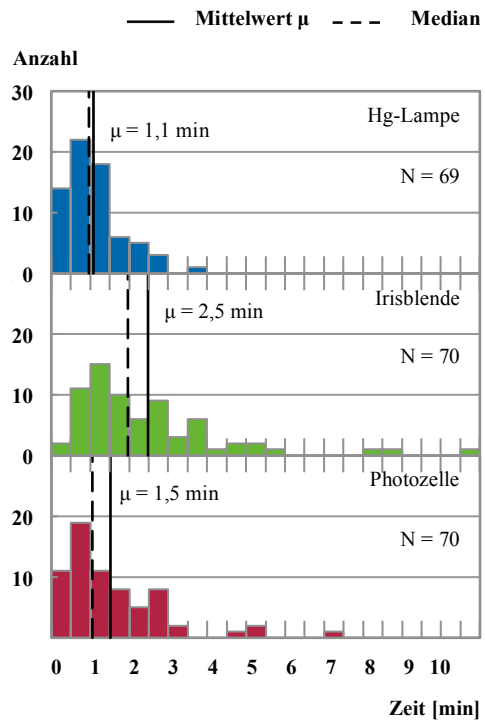


Abb. 6: Verteilungen der Gesamtjustagezeiten nach Definition (B) für ausgewählte Bauteile.

je Schritt und Bauteil abgebildet. Es lassen sich zwei Phasen in Abbildung 7 erkennen:

- 1) *Aufstellphase:* In den ersten 6 Schritten lässt sich eine „Welle“ über die Bauteile hinweg erkennen. Ein erheblicher Anteil der Studierenden stellt die Bauteile gemäß der Anleitungsskizze (vgl. Abbildung 2) von links nach rechts auf die optische Bank.
- 2) *Justagephase:* Nachdem alle Bauteile auf der optischen Bank stehen, werden diese gegeneinander ausgerichtet und eingestellt. Es lässt sich keine klare Schrittfolge über alle Gruppen hinweg erkennen, wohl aber eine deutliche Aktivität bei den Bauteilen zwischen Lampe und Photozelle.

Das Ende der Aufstellphase wurde per definitionem zu dem Zeitpunkt festgelegt, als die Hälfte der Studierenden mit der Justage fertig waren und die Protokolltätigkeit eingestellt hatten. Auffallend ist, dass nicht alle Bauteile in gleicher Weise in die Justagephase einbezogen wurden - Lampe und Verschlusskappe spielen eine untergeordnete Rolle. Dies spiegelt sich auch in der durchschnittlichen pro Bauteil protokollierten Schrittzahl wider: Lampe (1,3 Schritte), Irisblende (2,8 Schritte), Linse (2,6 Schritte), Filterrad (2,6 Schritte), Photozelle (2,1 Schritte) und Kappe (1,3 Schritte). Dies legt den Schluss nahe, dass die an der Justage beteiligten Bauteile durchschnittlich in mehr als zwei Schritten im Verlaufsprotokoll dokumentiert sein müssen.

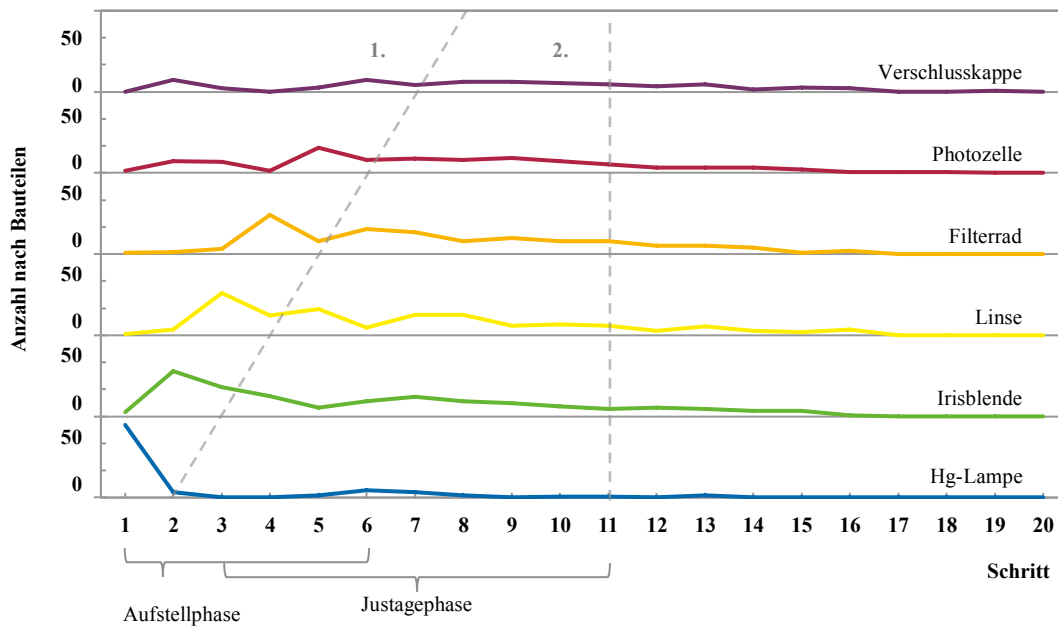


Abb. 7: Anzahl der Justagehandlungen je Schritt für die Bauteile. Die Bauteile wurden überwiegend zunächst gemäß Anleitungsabbildung (vgl. Abb. 2) aufgestellt (Bereich 1) und dann justiert (Bereich 2).

7.3. Prozedurale Strategien

Neben der oben gefundenen *skizzengeleiteten* Anordnungs- und Justagestrategie, die auf die Mehrheit der Studierenden zutrifft, lassen sich zwei weitere Vorgehensweisen aus den Daten erkennen. So ergibt sich insgesamt:

- (A) *Skizzengeleitetes Vorgehen:* Die Studierenden setzen zunächst die in der Anleitungsskizze abgebildeten Bauteile von links nach rechts auf die optische Bank und justieren dann die Bauteile (44% der Studierenden).
- (B) *Physikalisch-logisches Vorgehen:* Die Studierenden setzen zunächst Lampe und Photozelle auf die optische Bank. Anschließend werden nacheinander die übrigen Bauteile einzeln aufgesetzt und justiert bzw. untereinander abgestimmt (27% der Studierenden).
- (C) *Bauteilfokussiertes Vorgehen:* Die Bauteile werden in einer nicht definierten Reihenfolge aufgesetzt und jeweils gleich im Anschluss justiert. Eine Ausrichtung untereinander bzw. Abstimmung der Bauteile findet nicht statt (15% der Studierenden).

8. Laserdioden-System

Nachdem im Wintersemester 2013/14 mit den Verkaufsprotokollen ein erster probandenseitiger Einblick in den Aufbau und den Justageprozess der optischen Komponenten des Versuchs Photoeffekt gewonnen wurde, soll dieser nun durch eine objektseitige Betrachtung vervollständigt werden. In den Verkaufsprotokollbögen wurden die einzelnen Schritte in einer abstrahierten Form notiert. D.h. ob beispielsweise die Linse auf der Suche nach der optimalen Einstellung im Strahlengang mehrmals

horizontal hin und her geschoben wird, kann und soll mit den Bögen nicht erfasst werden. Um diese realen Veränderungen der Freiheitsgrade zu erheben, wird jedes Bauteil mit Laserdioden versehen. Diese bilden auf einem hinter der optischen Bank stehenden halbtransparenten Schirm Lichtpunkte ab, deren Positionsänderungen in Abhängigkeit von der Zeit mit Hilfe einer hinter dem Schirm stehenden Kamera dokumentiert werden können (vgl. Abbildung 8). Die Diode ist derart am Bauteil montiert, dass von den Koordinaten ihrer Projektion auf dem Schirm indirekt auf die Position und Einstellung des Bauteils geschlossen werden kann. Die verschiedenen prozeduralen Objektdaten der Bauteile können dann über ein Videoanalyseprogramm ausgelesen werden. Die so gewonnenen Daten der Bauteile und die Protokollbögen werden schließlich über eine Synchroni-

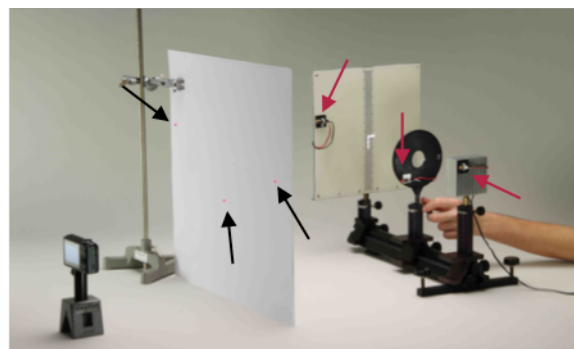


Abb. 8: Laserdioden-System. Mit Laserdioden (rote Pfeile) werden die Einstellungen der optischen Elemente (hier Lampe, Linse und Schirm) auf einen halbtransparenten Schirm abgebildet (schwarze Pfeile) und von einer dahinter liegenden Kamera gefilmt.

sation der Zeitskalen von Smartpen und Kamera miteinander verknüpft. So können die aufgezeichneten Objektdaten der optischen Bauelemente zum einen für eine Bewertung des momentanen Justagezustandes herangezogen werden, aber auch einem Abgleich mit den von den Praktikanten protokollierten Justageschritten dienen. Die Intentionen der experimentierenden Studierenden, ihre gewählten Kriterien und die Selbsteinschätzungen ihrer Handlungen können so mit dem objektiv erfassten Ablauf des Versuchsaufbaus verglichen werden.

9. Ausblick

Nach einer Pilotierung im Sommersemester 2014 mit beiden Erhebungsinstrumenten soll zum einen das Laserdioden-System weiter technisch optimiert werden. Zum anderen soll ein halbautomatisiertes Auswertungsverfahren der mit dem Laserdioden-System erhobenen Daten und ihrer Verknüpfung mit den Resultaten der Verlaufsprotokolle etabliert werden.

10. Literatur

- [1] Zastrow, M. (2001): Interaktive Experimentieranleitungen - Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im Physikalischen Praktikum. In: H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 18, Berlin: Logos
- [2] Brell, C. (2008): Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht: empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE. In: Niedderer, H.; Fischler, H. (Hrsg.), Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 74, Berlin: Logos
- [3] Smetana, L. K. & Bell, R. L. (2012): Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. In: International Journal of Science Education, 34 (9), 1337-1370
- [4] Klahr, D.; Triona, L.; Williams, C. (2007): Hands on what? The relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children. In: Journal of Research in Science Teaching, 44 (1), 183-203
- [5] Emden, M. (2011): Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I. In: H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 118, Berlin: Logos
- [6] Hacker, W. (1986): Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften
- [7] Hacker, W. (1999): Regulation und Struktur von Arbeitstätigkeiten. In C. Graf Hoyos & D. Frey (Hrsg), Arbeits- und Organisationspsychologie. Ein Lehrbuch (S. 385-397). Weinheim: Psychologie Verlags Union
- [8] Hülsmann, M. & Müller-Martini, M. (2006): Kompetenzen externer Individuen im Competence-based View: einige Basisüberlegungen. In: C. Burmann, J. Freiling & M. Hülsmann (Hrsg.), Neue Perspektiven des Strategischen Kompetenz-Managements (S. 374-393)
- [9] Schreiber, N.; Theyßen, H.; Schecker, H. (2009): Experimentelle Kompetenz messen?! Physik und Didaktik in Schule und Hochschule 2009, 8 (3), 92-101
- [10] Hammann, M. (2004): Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU), 57 (4), 196-203
- [11] Walpuski, M. (2006): Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback. In: H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 49. Berlin: Logos
- [12] Strzebkowski, R. (1995): Realisierung von Interaktivität und multimedialen Präsentationsformen. In: L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), Information und Lernen mit Multimedia, Weinheim: Beltz – Psychologische Verlags Union
- [13] Baxter, G. P. & Shavelson, R. J. (1994): Science Performance Assessments. Benchmark and Surrogates. International Journal of Educational Research, 21 (3), 279-298
- [14] Ditmar, T. (2012): Protokolle mit dem Smartpen – Eine Untersuchung am Photoeffekt-Versuch für Studierende des Maschinenbaus. Nicht veröffentlichte schriftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung, RWTH Aachen
- [15] Fraß, S. (in Druck): Erhebung von Daten für IBE mit Smartpens. In: S. Bernholt (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in München 2013, Bd. 34, Kiel: IPN
- [16] Dinkelaker, J.; Herrle, M. (2009). Erziehungswissenschaftliche Videographie. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften
- [17] Haller, K. (1990): Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum. In: Niedderer, H.; Fischler, H. (Hrsg.), Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 5, Berlin: Logos