

Diagnostik experimenteller Fertigkeiten bei optischen Versuchen

Trotz der gewachsenen Bedeutung der Diagnostik experimenteller Prozesse trifft man auf große Schwierigkeiten bei der Suche nach hierfür geeigneten Instrumenten. Speziell fehlt es an Möglichkeiten, experimentelle Prozesse in der Phase der Versuchsdurchführung zuverlässig so zu dokumentieren, dass einerseits die experimentellen Prozessparameter mit einer für die Beurteilung der Prozessqualität notwendigen Genauigkeit vorliegen, andererseits dies auch für größere Probandenzahlen mit vertretbarem Aufwand auswertbar ist. Als Ausweg aus dieser Problematik sind mehrfach Simulationen von Experimenten eingesetzt worden, deren Logdateien ein detailliertes Nachvollziehen der Prozesse bei der Durchführung der Simulation erlauben (vgl. z. B. Gößling, 2010; Schreiber, 2012). Allerdings sind diese Simulationen keine vollständige Abbildung der realen Experimentiersituation. Der so dargestellte virtuelle „Experimentierraum“ (gemäß Klahr & Dunbar, 1998) gibt Fehlerquellen und Fehlerpfade nur eingeschränkt wieder und kann Handlungsverläufe für einen Benutzer zwar im Sinne einer „direkten Manipulation“ (Shneiderman, 1982) intuitiv erfassbar machen (Schulz, 1998), aber sensomotorische Einflüsse beim Experimentieren nicht berücksichtigen.

Vor diesem Hintergrund wurde in Vorbereitung einer Interventionsstudie zur Lernwirksamkeit interaktiver Bildschirmexperimente bei der Schulung experimenteller Fertigkeiten, hier beim Aufbau und bei der Justage eines optischen Experiments (Fraß, im Druck), ein neuartiges Instrument zur diagnostischen Betrachtung des experimentellen Prozesses am Realexperiment entwickelt. Dieses Instrument kann auf optische Experimente auf einer optischen

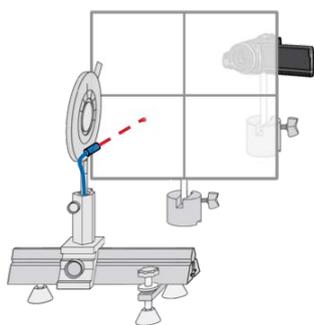


Abb. 1: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips des Erhebungsinstrumentes am Beispiel der Irisblende. Alle Bauteile werden mit Laserdioden bestückt, die jeweils einen Lichtpunkt auf einen dahinterliegenden Schirm projizieren. Der zeitliche Verlauf der Lichtpunkte wird von einer Kamera aufgezeichnet und mittels eines Videoanalyseprogramms ausgewertet.

Bank angewendet werden und gestattet eine automatisierte Diagnose und Bewertung der experimentellen Prozessabläufe am Realexperiment mit hoher zeitlicher Auflösung auch für große Probandenzahlen. Hierfür werden die wesentlichen prozeduralen Objektdaten wie die horizontale bzw. vertikale Position und die Einstellung jedes optischen Bauteils mithilfe von Laserdioden, einer Kamera und einem Videoanalyseprogramm erfasst und einer weiteren automatisierten Auswertung zugänglich gemacht. Im Folgenden werden die technische Umsetzung und mögliche Auswertungsansätze anhand eines Beispieldatensatzes für den optischen Aufbau eines Versuchs zur Untersuchung des Photoeffekts vorgestellt.

Das Erhebungsinstrument

Der Versuchsplatz ist durch einen halbdurchsichtigen Schirm in zwei Hälften getrennt. In der vorderen Hälfte befindet sich der reguläre Versuchsaufbau bestehend aus einer optischen Bank mit diversen optischen Reitern (hier mit einer Hg-Lampe, Irisblende, Linse, Photozelle). Alle optischen Bauteile sind mit Laserdioden versehen, die so an ihnen befestigt sind, dass alle einstellbaren Freiheitsgrade (horizontale Position, vertikale Position bzw. Blendenöffnung) durch je einen Lichtpunkt auf dem Schirm abgebildet werden (vgl. Abbildung 1). Damit die Lichtpunkte deutlich sichtbar werden, keine Re-

flexionen in Richtung der Probanden auftreten und die Erhebungsseite nicht einsehbar ist, wurde die Acrylglasplatte auf der Probandenseite aufgeraut. Der zeitliche Verlauf der Lichtpunkte wird auf der Erhebungsseite von einer Kamera gefilmt und später durch ein Videoanalyseprogramm wie *Tracker* oder *MeasureDynamics* ausgewertet. Auf diese Weise erhält man für jeden Freiheitsgrad zu jedem Bauteil ein Verlaufsdiagramm, wie es in Abbildung 2 (oben) exemplarisch für die Irisblende dargestellt ist.

Schritterkennung

Zur Analyse des Aufbau- und Justageprozesses des optischen Experiments ist es zweckmäßig, den Prozess in mehrere Teilprozesse aufzuteilen, die wir experimentelle Schritte nennen. Ein solcher Schritt ist als „die ununterbrochene Einstellung eines Freiheitsgrades oder das Aufsetzen eines Bauteils auf die optische Bank“ (Fraß, 2014) definiert.

Die Diagnostik experimenteller Prozesse für große Probandenzahlen erfordert eine automatisierte Erkennung der experimentellen Schritte. Hierzu müssen Schwellenwerte für die zeitliche und räumliche Abgrenzung der einzelnen Schritte geeignet gewählt werden. Diese Schrittdefinition lässt sich zum einen durch eine geeignete Wahl relevanter Schwellenwerte realisieren. Diese Werte legen für einen Freiheitsgrad fest, wie groß die detektierte Differenz zwischen den Werten zweier Frames (Bildrate: 2fps) mindestens sein muss, um als Ereignis detektiert zu werden. Sie hängen maßgeblich von der Messgenauigkeit des verwendeten Videoanalyseprogramms ab. Zum anderen muss ein zeitliches Homogenisierungsmaß definiert werden. Zur zeitlichen Abgrenzung der einzelnen Schritte wird ein Zeitwert gesucht, um den sich zwei detektierte Ereignisse desselben Freiheitsgrades zeitlich maximal unterscheiden dürfen, damit sie noch als „ununterbrochene Einstellung“ dieses Freiheitsgrades angesehen und deshalb in einem Schritt zusammengefasst werden können. Hierfür wird zunächst die im Datensatz vorhandene minimale zeitliche Differenz zwischen zwei Ereignissen unterschiedlicher Freiheitsgrade gesucht, da hier in jedem Fall gemäß der Definition zwei unterschiedliche Schritte stattgefunden haben müssen. Mit Hilfe der genannten Kriterien kann ein geeigneter Algorithmus aus dem Verlaufsdiagramm der einzelnen Objektdaten eine zeitlich skalierte

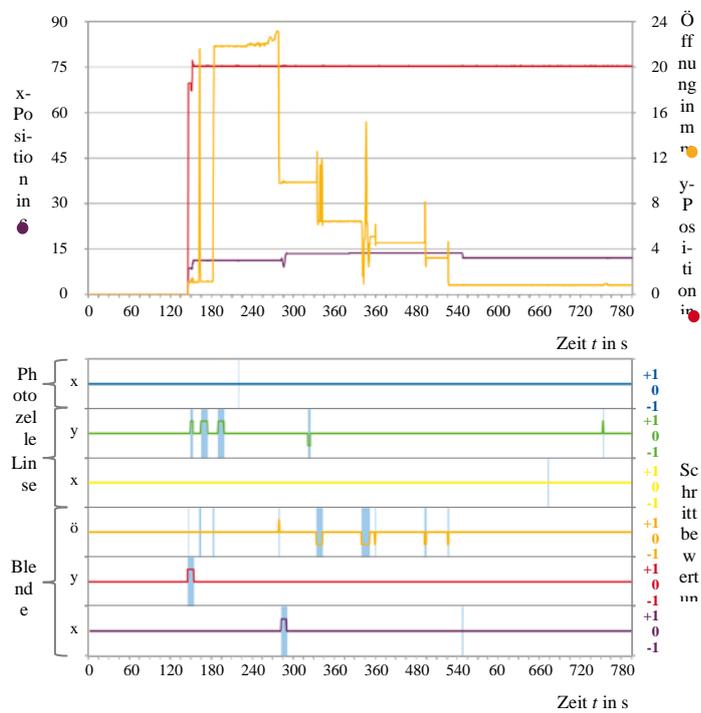


Abb. 2: (Oben) Verlaufsdiagramm für die drei Freiheitsgrade (x-Position, y-Position und Öffnungsdurchmesser) der Irisblende. (Unten) Schrittdiagramm und Schrittewertung für alle Bauteile. Blau hinterlegt sind die aus den Verlaufsdiagrammen detektierten Schritte. Farblich darüber liegen die jeweiligen Bewertungen.

lierte Schrittabfolge extrahieren (vgl. Abbildung 2 unten). Die Identifizierung der in Abbildung 2 (unten) blau hinterlegten experimentellen Schritte bildet den Grundstein für eine weitere automatisierte Auswertung in Form der Bewertung dieser Schritte.

Schrittbewertung

Die Bewertung der Prozessqualität beim Experimentieren wird auf die Wirkungen der einzelnen Schritte bei der Versuchsdurchführung zurückgeführt. Im vorliegenden Fall bestand die Aufgabe der Experimentatoren darin, Blende, Linse und Photozelle so zu justieren, dass „die beleuchtete Fläche auf der Photokathode so groß wie möglich, der Anodenring jedoch nicht getroffen wird“ (Praktikumsanleitung MTL 1.1, 2014). In die Lösung dieser Aufgabe sind in komplexer Weise alle aufgeführten Bauteile involviert. Daher werden für die Bewertung keine bauteilspezifischen Kriterien herangezogen, sondern es wird das genannte Ziel zugrunde gelegt. Dazu werden die Position des Leuchtflecks bzgl. des Kathodenmittelpunktes, die beleuchtete Fläche auf der Kathode (dient hier als optischer Schirm) und das Kriterium eines unbeleuchteten Anodenrings als Bewertungsmaße verwendet. Aus den aufgezeichneten Objektdaten der Bauteile kann die Position und die Größe des Leuchtflecks auf der Kathode der Photozelle rekonstruiert werden. Ein Vergleich des Zustands zu Beginn eines experimentellen Schrittes mit dem am Ende lässt dann eine bewertende Aussage über die Progression durch den betrachteten Schritt bei der optischen Justage des Versuchsaufbaus zu. Es wird ein trichotomes Bewertungsmaß angestrebt, das die Schritte hinsichtlich einer Verbesserung (+1), Verschlechterung (-1) oder Stagnation (0) des Justagezustandes einteilt. Da alle Bewertungskriterien aus dem erfassten Verlaufsdiagramm ermittelt werden können, ist auch an dieser Stelle eine automatisierte Bewertung aller Schritte möglich, deren Ergebnis für den Beispieldatensatz in Abbildung 2 (unten) gezeigt ist.

Ausblick

Es ist gelungen, das Verlaufsdiagramm des experimentellen Prozesses beim Aufbau und bei der Justage eines optischen Versuchs mit hoher örtlicher und zeitlicher Auflösung aufzunehmen, in einem automatisierten Verfahren in verschiedene Schritte einzuteilen und diese hinsichtlich ihres Einflusses auf den Justagezustand des gesamten Aufbaus zu beurteilen. Damit sind die Grundlagen gelegt um ein umfassendes latentes Konstrukt der Güte experimenteller Prozesse am Beispiel der optischen Justage zu formulieren. Dieses Konstrukt soll sowohl den finalen Justagezustand als produktorientierten Aspekt als auch prozessorientierte Aspekte der Justage wie die Anzahl der Schritte pro Freiheitsgrad, die Zielgerichtetheit innerhalb eines Schrittes, die durchschnittliche Schrittbewertung, die Gesamtjustagezeit und die reine Justagezeit beinhalten. Ist dies gelungen, soll das so definierte mehrdimensionale Konstrukt durch ein Expertenrating validiert und ggf. angepasst werden, um nachfolgend bei der Bewertung experimenteller Prozesse zum Einsatz zu kommen.

Literatur

- Schreiber, N. (2012): Diagnostik experimenteller Kompetenz: Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells (Dissertation). Berlin: Logos
- Göbbling, J. M. (2010): Selbständig entdeckendes Experimentieren: Lernwirksamkeit der Strategieranwendung (Dissertation). Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1998): Dual Space Search During Scientific Reasoning. In: *Cognitive Science* 12, S. 1-48
- Shneiderman, B. (1982): The future of interactive systems and the emergence of direct manipulation. *Behavior & Information Technology*, 1(3): 237-256
- Schulz, A. (1998): *Interfacedesign: Die visuelle Gestaltung interaktiver Computeranwendungen* (Dissertation). St. Ingberg: Röhrling Universitätsverlag
- Fraß, S. (in Druck). Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.) *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Frankfurt*.
- RWTH Aachen (Hrsg.) (2014): *Praktikumsanleitung zum Versuch MTL 1.1 Photoeffekt*. S. 4