

Auf der Suche nach Strategien bei der Manipulation von Experimenten

Bei der Untersuchung experimenteller Prozesse stand bisher die praktische Durchführung des Experiments selten im Vordergrund, da es an geeigneten Instrumenten zur Erhebung der relevanten Prozessdaten mangelte. Insbesondere müssen bei einer prozessfokussierten Erfassung am Realexperiment die Instrumente auf die experimentelle Aufgabe abgestimmt werden, was dies in der Regel zu einem aufwendigen Unterfangen macht. Die neue Technologie des *Smartpens* (van Schaack, 2009) bzw. der neue Erhebungsansatz der sogenannten *objekt-fokussierten Erfassung* (vgl. Fraß & Heinke, 2016) ermöglichen die Entwicklung neuer Instrumente, um den bisherigen Erhebungsproblematiken entgegenzutreten und die bestehende diagnostische Lücke zu schließen. Um den Prozess der Durchführung eines Experiments an einem realen Versuchsaufbau mit seinen wesentlichen Parametern erfassen und bewerten zu können, wurden daher am Beispiel der Justage optischer Bauteile als integralem Bestandteil vieler optischer Experimente zwei Instrumente entwickelt, die beide in der Lage sind, den experimentellen Prozess adäquat abzubilden. Ausgehend von einer inhaltlichen und chronologischen Strukturierung werden in diesem Beitrag diese zwei Instrumente zur Erfassung experimenteller Prozesse vorgestellt und eine Aufbereitungs- und Auswertungsmethodik umrissen, die es erlaubt, die entstandenen Prozessdaten für größere Probandengruppen einer explorativen Analyse zu unterziehen. Durch diese Analyse gelingt es, beschreibende Merkmale des experimentellen Prozesses und damit auch von den Probanden verfolgte Strategien bei der Manipulation des Experiments zu identifizieren.

Strukturierung

Im konkreten Fall soll der Justageprozess von optischen Bauteilen eines Versuchsaufbaus zum Photoeffekt von Probanden in Partnerarbeit durchgeführt werden. Um diesen (experimentellen) Prozess abbilden zu können, ist es zweckmäßig, ihn zunächst sowohl inhaltlich als auch chronologisch zu strukturieren. Die inhaltliche Dimension dieser optischen Justage besteht dabei aus einer Menge von *Aktionen*, in denen die optischen Bauteile auf die optische Bank gesetzt oder gemäß der einstellbaren Parameter, wie horizontale bzw. vertikale Position, Öffnung der Blenden oder Wahl des Farbfilters, justiert werden. Die chronologische Strukturierung erfolgt anhand einer Einteilung in aufeinanderfolgende experimentelle Schritte. Ein solcher Schritt ist dabei als die ununterbrochene Ausführung einer solchen Aktion definiert (vgl. Fraß, Weyers & Heinke, 2014).

Instrumente zur Prozesserfassung

Im Folgenden werden zwei Erhebungsansätze vorgestellt, bei denen diese Strukturierung umgesetzt wurde: ein probandenfokussierter und ein objektfokussierter Ansatz.

Probandenfokussierte Erhebung: Bei dieser Erhebungssystematik steht der Proband mit seinen Aktionen oder Gesprächen, die bei der Durchführung des Experiments erfasst werden, im Mittelpunkt (vgl. Abb. 1). Dieser Ansatz wurde bereits in vielfältiger Art und Weise realisiert: Beispielsweise wurden Erhebungsformate entwickelt, bei denen der Prozess von Dritten erfasst wird, etwa mittels direkter Beobachtung (vgl. bspw. Lock, 1989; Shavelson, Baxter & Pine, 1991) oder durch Videostudien (vgl. bspw. Emden, 2011; Neumann, 2004; Walpuski, 2006). In anderen Erhebungen dokumentieren die Probanden den Prozess selbst, beispielsweise durch Versuchsberichte, die im Anschluss analysiert werden (vgl. bspw. Shavelson, Ruiz-Primo & Wiley, 1999) oder durch vorstrukturierte Protokolle (vgl. bspw.

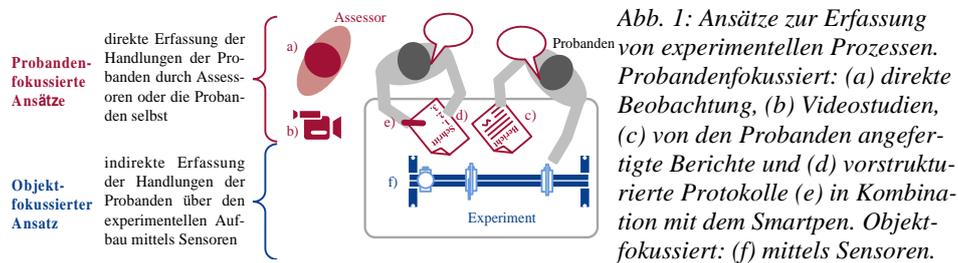


Abb. 1: Ansätze zur Erfassung von experimentellen Prozessen. Probandenfokussiert: (a) direkte Beobachtung, (b) Videostudien, (c) von den Probanden angefertigte Berichte und (d) vorstrukturierte Protokolle (e) in Kombination mit dem Smartpen. Objekt-fokussiert: (f) mittels Sensoren.

Emden, 2011; Hofstein, 2004), deren Formate bereits eine chronologische Struktur des Prozesses abbilden, sodass lediglich inhaltliche Aspekte durch die Probanden eingetragen werden müssen.

Mit dem Einsatz eines sogenannten *Smartpens*, der die Entstehung des Schriftbildes und das dabei von den Probanden Gesprochene synchron erfasst und einer Auswertung zugänglich macht, können die bisherigen Protokollformate zu vorstrukturierten Smartpen-Verlaufsprotokollen weiterentwickelt werden (Fraß u. a., 2014). In diesem Protokollformat sind die experimentellen Schritte a priori gegeben, indem diese als Schrittfelder abgebildet sind. Die inhaltliche Zuschreibung der durchgeführten Aktionen zu den Schrittfeldern erfolgt dann durch die Probanden selbst während der eigentlichen Durchführung. Der Einsatz hat gezeigt: Je weniger die Probanden in ein solches Schrittfeld eintragen müssen, also je niederschwelliger die Vervollständigung eines solchen Schrittfeldes im Laufe des zu dokumentierenden Prozesses ist, desto genauer werden einerseits zeitliche Aspekte des Prozesses abgebildet, aber umso weniger kommunizieren andererseits auch die Probanden über die vollzogene Handlung. Durch die Gestaltung des Protokollformulars ist es somit steuerbar, welche Informationen erfasst werden sollen und wie detailgetreu der Prozess selbst aufgelöst wird.

Objekt-fokussierte Erfassung: Bei diesem Erhebungsansatz wird der Erhebungsfokus vom Probanden (vgl. Abb. 1 rot) auf den experimentellen Aufbau (vgl. Abb. 1 blau) verlagert. Hierbei erfolgt die Erfassung der von den Probanden durchgeführten Aktionen mit dem experimentellen Aufbau indirekt über den experimentellen Aufbau selbst. Hierfür werden prozedurale Objektdateien, die die zeitliche Entwicklung der Einstellungen des experimentellen Aufbaus beschreiben, mit einer geeigneten Sensorik am Aufbau erfasst (vgl. Fraß & Heinke, 2014, 2016). Diese lassen einen Rückschluss auf die Aktionen der Probanden zu. Im Fall der optischen Justage führt dieser Erhebungsansatz zu einem zeitlich und örtlich hoch aufgelösten Abbild der einzustellenden relevanten Freiheitsgrade jedes involvierten Bauteils. Im Gegensatz zu den Smartpen-Verlaufsprotokollen erfolgt die Strukturierung des erfassten Prozesses in experimentelle Schritte nicht während der Durchführung des Experiments, sondern a posteriori anhand der Prozessdaten. Diese offenbaren, wann welcher Freiheitsgrad des experimentellen Aufbaus manipuliert wurde. Eine automatisierte Analyse mittels zeitlicher und örtlicher Schwellenwerte liefert die gewünschte Strukturierung in unterscheidbare experimentelle Schritte.

Methodik zur Prozessanalyse

In Übereinstimmung mit bisherigen Aufbereitungsformaten (vgl. bspw. Schreiber, 2012; Walpuski, 2006) werden die erfassten Prozesse in einem zweidimensionalen Format für jeden Probanden dargestellt (siehe Abb. 2 *Individualebene*): Die Abszisse beinhaltet den chronologischen Aspekt in Form der experimentellen Schritte, die mit Zahlen kodiert wurden, und die Ordinate stellt die mit dem experimentellen Aufbau möglichen Aktionen dar. Diese werden im Beispiel mit Buchstaben kodiert. Anhand einer solchen Darstellung lassen sich zwar die Prozesse auf Individualebene beschreiben und bewerten, für die Gruppe typi-

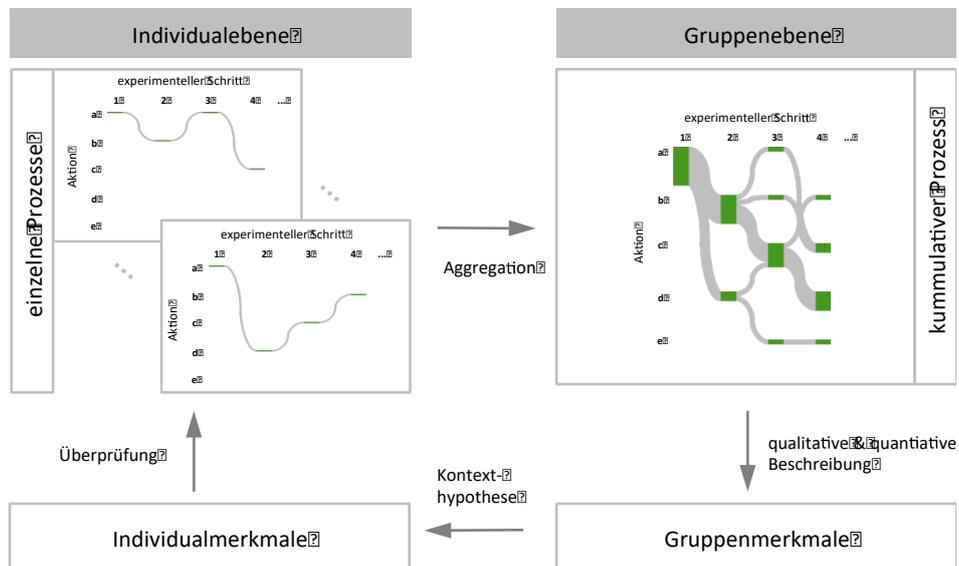


Abb. 2: Genese der Merkmale zur Beschreibung der im Prozess genutzten Strategien

sche strategische Merkmale, in Form von charakteristischen Abfolgen von Aktionen, lassen sich aber nur schwer diagnostizieren.

Die in anderen Fachdisziplinen bereits eingesetzten Mengenflussdiagramme (vgl. bspw. Sankey, 1898; Schmidt, 2006), sog. Sankey-Diagramme, bieten hierfür bisher ungenutzte Möglichkeiten der Prozessanalyse. Ausgehend von gängigen Darstellungsprinzipien wurde daher eine Adaption von Sankey-Diagrammen entwickelt, die auf Basis der oben vorgenommenen Einteilung in experimentelle Schritte in der Lage ist, durch Aggregation der einzelnen Datensätze die Abfolge der Prozessaktionen auf Gruppenebene abzubilden (siehe Abb. 2 *Gruppenebene*). Merkmale auf Gruppenebene können so erkannt und einer weiteren Analyse zugänglich gemacht werden. Anhand des Darstellungsformates sind dann sowohl qualitative Beschreibungen in Form von Aktionsfolgen, die im Lichte der experimentellen Aufgabe betrachtet werden können, als auch deren quantitative Untersuchungen möglich. Sind für die untersuchte Gruppe typische Gruppenmerkmale identifiziert, so können diese im einfachsten Fall auch für die Beschreibung der Prozesse auf Individualebene herangezogen werden. Allerdings müssen entsprechende Schlussfolgerungen auf Individualebene mit Hilfe der einzelnen Datensätze gesondert überprüft werden.

Fazit und Ausblick

In den von den beiden Instrumenten erfassten Datensätzen können jeweils mittels der oben beschriebenen Methodik charakteristische Merkmale gesucht werden, die strategische Aspekte des experimentellen Prozesses (hier der Justage eines optischen Aufbaus) beschreiben. Dies ist mit beiden Methoden bereits erfolgreich an dem vorgestellten experimentellen Beispiel erfolgt. Obwohl die in diesem Beitrag vorgestellten Erhebungs- und Auswertemethoden anhand des konkreten Prozesses der Justage eines optischen Aufbaus erläutert wurden, lassen sie sich auch auf andere Experimente (vgl. bspw. Büsch, Schöneberg & Heinke, im Druck) übertragen. Zudem wird erwartet, dass die Auswertung mit Sankey-Diagrammen auch in weiteren Bereichen fachdidaktischer Forschung, wie z.B. bei der Ermittlung von Lösungsstrategien komplexerer Aufgaben, nutzbringend eingesetzt werden kann.

Literatur

- Büsch, L., Schöneberg, M. & Heinke, H. (im Druck). Einblick in Prozesse im Realexperiment: Chancen für Forschung & Lehre. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016. Kiel: IPN.
- Emden, M. (2011). Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlichen-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 118). Berlin: Logos Verlag.
- Fraß, S. & Heinke, H. (2014). Diagnostik experimenteller Fertigkeiten bei optischen Versuchen. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014 (S. 301–303). Kiel: IPN.
- Fraß, S. & Heinke, H. (2016). Object-Focused Assessment Of Experimental Processes In Optical Experiments. In E-Book Proceedings of the ESERA 2015 Conference: Science Education Research For Evidence-based Teaching and Coherence in Learning, Part 11 (Jens Dolin & Per Kind) (S. 1714–1724). Helsinki.
- Fraß, S., Weyers, C. & Heinke, H. (2014). Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? - Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes. In V. Nordmeier & H. Grötzebach (Hrsg.), *Didaktik der Physik Frühjahrstagung*. Frankfurt.
- Hofstein, A. (2004). The Laboratory In Chemistry Education: Thirty Years Of Experience With Developments, Implementation, And Research. *Chemistry Education, Research and Practice*, 5(3), 247–264.
- Lock, R. (1989). Assessment of Practical Skills Part 1. The Relationships between Component Skills. *Research in Science & Technological Education*, 7(2), 221–233.
- Neumann, K. (2004). Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) *Studien zum Physiklernen* (Bd. 38). Berlin: Logos Verlag.
- Sankey, M. H. P. R. (1898). Introductory Note on the Thermal Efficiency of Steam-Engines. (No. 134). *Minutes of Proceedings of The Institution of Civil Engineers*. Vol. CXXXIV, Session 1897-98. Part IV.
- Schmidt, M. (2006). Der Einsatz von Sankey-Diagrammen im Stoffstrommanagement. (A. Häfner, N. Jost, K.-H. Rau, R. Scherr, C. Wehner & R. Maurer, Hrsg.) *Beiträge der Hochschule Pforzheim*. Pforzheim.
- Schreiber, N. (2012). Diagnostik experimenteller Kompetenz: Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 139). Berlin.
- Shavelson, R. J., Baxter, G. P. & Pine, J. (1991). Performance Assessment in Science. *Applied Measurement in Education*, 4(4), 347–362.
- Shavelson, R. J., Ruiz-Primo, M. A. & Wiley, E. W. (1999). Note on Sources of Sampling Variability in Science Performance Assessments. *Journal of Educational Measurement*, 36(I), 61–71.
- van Schaack, A. (2009). *Livescribe in K – 12 Education: Research Support*.
- Walpuski, M. (2006). Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 49). Berlin: Logos Verlag.