

## Prozessorientierte Instrumente zur Erhebung experimenteller Strategien

### Einleitung

Durch die Formulierung von experimentellen Kompetenzen, wie sie beispielsweise durch die Kultusministerkonferenz der Länder in den Bildungsstandards für die Physik vorgenommen wurde, hat die Diagnostik experimenteller Prozesse in den letzten Jahren eine zunehmende Bedeutung erfahren (KMK, 2004). Diese Entwicklung zeigt sich nicht nur in Deutschland, sondern auch über die nationalen Grenzen hinaus (siehe NRC, 2012). Bei vorangegangenen Untersuchungen des experimentellen Prozesses wurden Prozessaspekte während der Durchführung von Realexperimenten nur selten betrachtet. Einer der Gründe hierfür liegt darin, dass für eine solche Untersuchung Instrumente benötigt werden, die die experimentellen Handlungsabfolgen in dieser Phase des Experimentierens in geeigneter Weise abbilden können. Im vorliegenden Beitrag werden daher zwei prozessorientierte Instrumente zur Dokumentation solcher experimentellen Prozesse kurz vorgestellt, die vor diesem Hintergrund entwickelt wurden, und deren Einsatzmöglichkeiten diskutiert. Für eine detaillierte Beschreibung der probandenfokussierten Erfassung mit Smartpen-Verlaufsprotokollen und der objektfokussierten Erfassung wird auf (Joußen, Fraß & Heinke, 2017) verwiesen. Beide Erhebungsinstrumente wurden im Wintersemester 2016/17 bei einem Praktikumsversuch zum Photoeffekt an der RWTH Aachen parallel eingesetzt, um den Prozess der optischen Justage abzubilden.

### Zwei prozessorientierte Instrumente

Als erstes prozessorientiertes Instrument wird in diesem Abschnitt die probandenfokussierte Erfassung mittels vorstrukturierter Smartpen-Verlaufsprotokolle vorgestellt. In diesem wei-

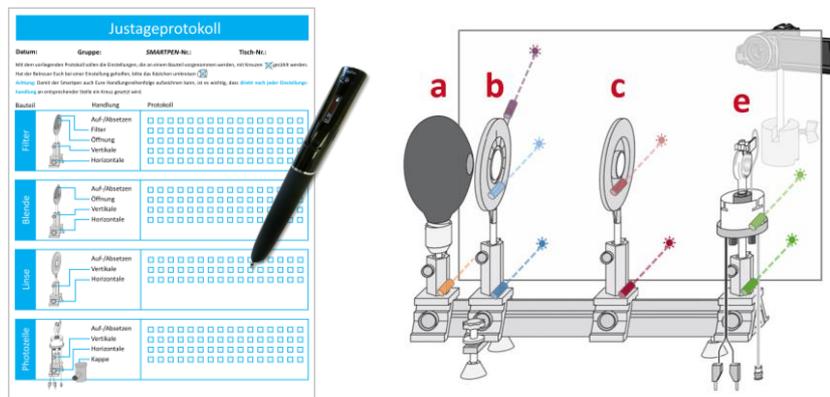


Abb. 1: Bei der probandenfokussierten Erfassung mit Smartpen-Verlaufsprotokollen (links) dokumentieren die Probanden die Abfolge ihrer experimentellen Handlungen in einem vorstrukturierten Smartpen-Protokollformular. Bei der objektfokussierten Erfassung (rechts) wird die Abfolge der experimentellen Handlungen durch eine am Versuchsaufbau implementierte Sensorik aufgenommen. (Verwendung von Abbildungselementen mit freundlicher Genehmigung von ©Leybold® / LD Didactic GmbH; [www.leybold-shop.de](http://www.leybold-shop.de).)

terentwickelten Protokollformular sind alle im vorliegenden Experimentierraum relevanten Handlungen vollständig abgebildet und in Schritte gegliedert (vgl. Fraß, Weyers & Heinke, 2014). Dafür sind die möglichen experimentellen Handlungen im Protokoll nach Bauteil und nach den jeweils möglichen Justagehandlungen strukturiert. Die Probanden dokumentieren ihren Justageprozess während der Durchführung durch Ankreuzen einer der möglichen Schrittoptionen. Durch die Verwendung von Smartpens ist eine zeitliche Rekonstruktion der Justageschritte möglich. Zudem sind auch die Gespräche der Probanden-Teams während der einzelnen Handlungsschritte zugänglich. Das vorstrukturierte Smartpen-Verlaufsprotokoll ist in Abb. 1 (links) dargestellt. Bei der Auswertung der Daten aus der probandenfokussierten Erfassung wurden die Justageschritte kodiert und anschließend zu einer Zeichenkette aneinandergereiht, welche die Abfolge der experimentellen Schritte beschreibt.

Im Gegensatz zur probandenfokussierten Erfassung wird bei der objektfokussierten Erfassung der experimentelle Prozess nicht durch die Dokumentation der Probanden zugänglich, sondern durch eine am Versuchsaufbau implementierte Sensorik, die alle relevanten Manipulationen am Realexperiment aufzeichnet (siehe auch Fraß & Heinke, 2017; Büsch, Schöneberg & Heinke 2017; Büsch, Guntermann & Heinke, 2017). Im hier betrachteten optischen Experiment sind dafür an jedem optischen Bauteil zwei oder drei Laserdioden angebracht, die einen Lichtspot auf einem halbtransparenten Schirm erzeugen. Auf der Rückseite dieses Schirms befindet sich eine Videokamera, die die Bewegung der Lichtspots auf dem halbtransparenten Schirm aufzeichnet. Die Laserdioden sind dabei an den optischen Bauteilen so positioniert, dass die relevanten Manipulationen an den Bauteilen durch die Bewegung der Lichtspots auf dem Schirm abgebildet werden. Die am Versuchsaufbau zum Photoeffekt implementierte Sensorik ist in Abb. 1 (rechts) dargestellt. Im Anschluss an die Videoaufzeichnung erfolgt eine teilautomatisierte Auswertung der aufgenommenen Videodaten. Hierzu werden mit Hilfe eines Videoanalyseprogramms zunächst x-y-t-Daten für jeden Lichtspot auf dem Schirm extrahiert. Die so erhaltenen x-y-t-Daten werden dann durch ein Python-Skript aufbereitet und es erfolgt eine automatische Unterteilung in einzelne Handlungsschritte. Ein Handlungsschritt wurde hierfür als durchgängige Einstellung eines Freiheitsgrades (z.B. die horizontale Verschiebung der Irisblende) oder als Auf-/Absetzen eines optischen Bauteils definiert. Als Ausgabe erhält man eine zur probandenfokussierten Erfassung analog kodierte Zeichenkette.

Die Studie im Wintersemester 2016/17 mit  $N = 14$  Datensätzen von experimentierenden Probandenpaaren ermöglichte einen Vergleich der aus beiden Ansätzen gewonnenen Abfolgen von Handlungsschritten. Für die meisten Datensätze zeigte sich dabei eine gute Übereinstimmung, jedoch finden sich auch Diskrepanzen. So lassen sich Anhaltspunkte dafür finden, dass Probanden bei der Dokumentation ihres Justageprozesses im vorstrukturierten Smartpen-Verlaufsprotokoll Justagehandlungen am gleichen Bauteil oder aber Bauteile selber bei der Dokumentation vertauscht haben. Darüber hinaus lassen sich Handlungsschritte finden, die zwar in der objektfokussierten Erfassung aufgezeichnet, jedoch nicht von den Probanden im Protokoll dokumentiert wurden. Auch werfen vereinzelt beobachtete nicht protokollierte, aber in der objektfokussierten Erfassung aufgezeichnete Justageschritte nach einer vorherigen Montage eines Bauteils die Frage auf, ob hier in der objektfokussierten Erfassung Artefakte der vorherigen Montage aufgezeichnet werden. Für ein besseres Verständnis der beobachteten Diskrepanzen ist eine weitere Studie mit paralleler probanden- und objektfokussierten Erfassung des experimentellen Prozesses und zusätzlicher Videoaufzeichnung der Probanden beim Justageprozess geplant.

### **Einsatzmöglichkeiten der beiden prozessorientierten Instrumente**

Die probandenfokussierte Erfassung ermöglicht es mit einem etablierten methodischen Ansatz (bspw. Hofstein, 2004 und Emden, 2011) den experimentellen Prozess mit einer guten zeitlichen Auflösung abzubilden. Mit dem vorstrukturierten Smartpen-Verlaufsprotokoll ist

ein Protokollformat gegeben, das bei geeigneter Ausführung eine niederschwellige Nutzung während der experimentellen Durchführung gestattet. Durch eine Anpassung des Protokollformats kann dabei der Dokumentationsprozess der Probanden gesteuert werden. Das ist insbesondere deshalb interessant, weil durch die Verwendung eines Smartpens auch die Gespräche der Probanden mit ihrer zeitlichen Zuordnung zu den experimentellen Handlungsabfolgen zugänglich sind. Somit kann durch die Gestaltung des Smartpen-Verlaufsprotokolls entweder ein hoher Detailgrad der experimentellen Handlungen forciert oder eine Bewertung einzelner experimenteller Handlungsschritte durch die Probanden eingefordert werden, was dann aber mit einer größeren Dokumentation der experimentellen Abläufe einhergehen wird. Durch die zugänglichen Daten erlaubt es die probandenfokussierte Erfassung mit Smartpen-Verlaufsprotokollen auf Individualebene qualitative Studien experimenteller Prozesse durchzuführen. Der moderate Auswerteaufwand vieler Smartpen-Daten ermöglicht aber ebenso explorative und quantitative Studien zum experimentellen Vorgehen der Probanden und der damit verbundenen experimentellen Strategien auf Gruppenebene. Dies kann auch für Interventionsstudien genutzt werden, in deren Fokus die Vermittlung experimenteller Kompetenzen steht.

Die meisten der oben für die probandenfokussierte Erhebung mit Smartpen-Verlaufsprotokollen skizzierten Einsatzmöglichkeiten sind auch für die objektfokussierte Erfassung der Prozessdaten umsetzbar. Bei qualitativen Studien auf Individualebene können sich bei alleiniger Nutzung der objektfokussierten Erfassung allerdings je nach Fragestellung Einschränkungen in der Aussagekraft der Daten ergeben, sofern nicht ergänzend die Kommunikationsprozesse beim Experimentieren (z.B. durch die Nutzung eines Smartpens zur Erstellung eines gewöhnlichen Messprotokolls) oder Think-Aloud-Daten aufgenommen werden. Durch die vollständig oder teilweise automatisierte Auswertung der Prozessdaten bei der objektfokussierten Erfassung werden auf Gruppenebene aber auch Studien mit großen Probandenzahlen leicht durchführbar, wenn zuvor einmal der Aufwand für die geeignete Präparation der Versuchsaufbauten geleistet wurde. Große Probandenzahlen bieten auch hier wieder den Zugang zur explorativen Identifikation experimenteller Strategien oder deren quantitativer Untersuchung im Rahmen von Interventionsstudien.

Die objektfokussierte Erfassung der Prozessdaten eröffnet zusätzlich neue Optionen für die Vermittlung experimenteller Kompetenzen in der Durchführungsphase von Experimenten. Da alle relevanten Manipulationen am Realexperiment digital erfasst werden, kann das Experiment in seinem Ablauf rekonstruiert werden. Dies ermöglicht ein Feedback für den Lerner in Lehrsituationen, in denen Lehrkraft und Lerner wichtige Aspekte des experimentellen Prozesses gemeinsam rekapitulieren. Es erlaubt aber auch eine Bewertung von Prozessaspekten des Experimentierens in größeren Lerngruppen, in denen einzelne Lerner oder Kleingruppen an verschiedenen experimentellen Aufbauten arbeiten, die durch eine einzelne Lehrkraft nicht gleichzeitig beobachtet werden können. Bei Umsetzung einer vollautomatisierten Datenauswertung können die Lerner zudem in digital gestützten Lehr-Lern-Szenarien am realen Experiment ein direktes Feedback zu ihren experimentellen Handlungsschritten erhalten.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Im vorliegenden Beitrag wurden zwei prozessorientierte Instrumente zur Erhebung der Prozessdaten bei der Durchführung von Realexperimenten vorgestellt. Ein paralleler Einsatz beider Instrumente zeigte, dass für die meisten Datensätze eine gute Übereinstimmung vorliegt. Beobachtete Diskrepanzen sollen durch den zusätzlichen Einsatz einer Videokamera aufgeklärt werden. Die Einsatzmöglichkeiten beider prozessorientierter Instrumente wurden diskutiert. Sie weisen auf ein großes Potential für die Untersuchung experimenteller Prozesse, das im Falle der objektfokussierten Erfassung durch neue Zugänge zur Vermittlung experimenteller Kompetenzen erweitert wird.

**Literatur**

- BÜSCH, Leonard, GUNTERMANN, Christina, HEINKE, Heidrun: Diagnostik experimenteller Vorgehensweisen am Beispiel eines Versuchs zur Radioaktivität. In: NORDMEIER, Volkhard, GRÖTZEBAUCH, Helmuth (Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik*. Dresden: o. V., 2017, Beitrag DD 22.03.
- 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.
- 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.
- 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.
- FRASS, Stephan, WEYERS, Christian, HEINKE, Heidrun: Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? - Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes. In: NORDMEIER, Volkhard, GRÖTZEBAUCH, 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.
- 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.
- JOUSSEN, Norman, FRASS, Stephan, HEINKE, Heidrun: Diagnostik experimenteller Prozesse: Validierung eines prozessorientierten Instruments. In: NORDMEIER, Volkhard, GRÖTZEBAUCH, Helmuth (Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik*. Dresden: o. V., 2017, Beitrag DD 2.18.
- KMK. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik: *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. Beschluss vom 16.12.2004. München: Luchterhand.
- NRC. National Research Council: *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington DC: The National Academies Press.