

Entwicklung eines Echtzeit-Feedback-Systems für die Durchführung von Realexperimenten

Norman Joußen*, Heidrun Heinke*

*I. Physikalisches Institut IA, RWTH Aachen, Sommerfeldstraße 14, 52074 Aachen
joussen@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Zur detaillierten Untersuchung experimenteller Prozesse bei der Durchführung von Realexperimenten wurde in den letzten Jahren mit der objektfokussierten Erfassung ein neuer Ansatz entwickelt. Anders als bei probandenfokussierten Erhebungsmethoden, wie beispielsweise Laborberichten, vorstrukturierten Protokollen, der direkten Beobachtung oder Videostudien, wird die Abfolge der experimentellen Handlungen bei dem objektfokussierten Ansatz indirekt durch eine am Versuchsaufbau implementierte Sensorik und eine mindestens teilautomatisierte Auswertung der Sensordaten erfasst. Durch die Sicherstellung einer vollautomatisierten Auswertung der Sensordaten kann das Potential dieses Ansatzes für Forschung und Lehre deutlich erweitert werden. Dies erfordert für Experimente auf der optischen Bank einen Wechsel der bisher am Versuchsaufbau implementierten Sensorik. Im Beitrag wird die Umsetzung des objektfokussierten Ansatzes mit einer möglichen neuen Sensorik für Versuche auf der optischen Bank präsentiert und das Potential für Forschung und Lehre diskutiert. Insbesondere werden Einsatzszenarien in der Lehre beschrieben, die sich mit dem objektfokussierten Ansatz und einer vollautomatischen Auswertung der Sensordaten realisieren lassen.

1. Einleitung

Die Vermittlung und Bewertung von experimentellen Kompetenzen hat in den letzten Jahren durch die Verankerung im Bereich Erkenntnisgewinnung in den Bildungsstandards für das Fach Physik eine zunehmende Bedeutung erhalten. Eine Vermittlung und Bewertung von experimentellen Kompetenzen setzt aber voraus, dass geeignete Methoden zur Untersuchung experimenteller Prozesse vorhanden sind.

Im vorliegenden Beitrag wird ein Fokus auf die Untersuchung von experimentellen Prozessen bei der Durchführung von Realexperimenten gelegt. Diese Fokussierung ist darin motiviert, dass das Realexperiment sowohl in der Forschung als auch in der Lehre einen hohen Stellenwert einnimmt. Eine Untersuchungsmethode zur Erfassung experimenteller Prozesse bei der Durchführung von Realexperimenten sollte die Experimentiersituation am Realexperiment dabei so unverändert wie möglich lassen. Zudem sollte der experimentelle Prozess vollständig erfasst werden sowie rekonstruier- und vergleichbar sein. Erst dann ist u.a. eine Bewertung von experimentellen Kompetenzen möglich.

Bei Betrachtung bisheriger Forschungsvorhaben zur Untersuchung experimenteller Prozesse zeigt sich ein vielfältiges Spektrum von methodischen Ansätzen, was in Abbildung 1 illustriert ist. So werden experimentelle Prozesse durch Laborberichte (z.B. Shavelson & Baxter 1991) oder zeitlich beziehungsweise phasenweise vorstrukturierte Protokolle (z.B. Hofstein 2004, Emden 2011) erfasst. Diese Ansätze können darüber hinaus auch durch den Einsatz eines Smartpens ergänzt werden, um Zugang zur Kommunikationsebene der Probanden zu erhalten (z.B. Fraß

et al. 2014). Darüber hinaus finden sich aber auch Studien, bei denen die experimentellen Prozesse mittels direkter Beobachtung (z.B. Shavelson & Baxter 1991, Lock 1989 oder Kircher & Priemer 2010) oder Videoaufzeichnungen (z.B. Neumann 2004, Walpuski 2006, Emden 2011 oder Heidrich et al. 2014) der Probanden erfasst wurden.

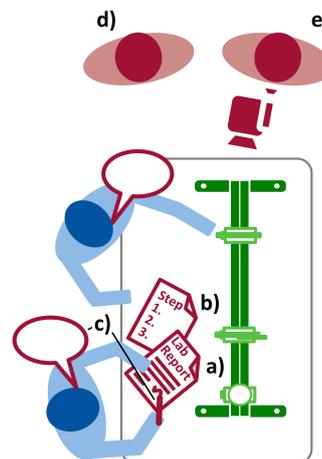


Abb. 1: Illustration probandenfokussierter Ansätze zur Erfassung experimenteller Prozesse bei Realexperimenten. a) Laborberichte, b) zeitlich/phasenweise vorstrukturierte Protokolle, c) Smartpen-Studien, d) direkte Beobachtung, e) Videostudien.

Bei den oben beschriebenen Forschungsansätzen gelingt der Zugang zum experimentellen Prozess über die Probanden und dabei insbesondere ihre Kommu-

nikation und ihre experimentellen Handlungen. In unserer Arbeitsgruppe wurde in den letzten Jahren neben diesen probandenfokussierten Ansätzen ein objektfokussierter Ansatz zur Erfassung experimenteller Prozesse entwickelt (z.B. Fraß & Heinke 2015). Bei diesem objektfokussierten Ansatz werden die relevanten Manipulationen am experimentellen Aufbau durch eine geeignete Sensorik erfasst. Eine Auswertung der gewonnenen Daten ermöglicht dann einen Rückschluss auf die experimentellen Handlungen der Probanden und somit einen alternativen Zugang zu den experimentellen Prozessen. Bisher wurde dieser objektfokussierte Ansatz exemplarisch für einen Versuch zum Photoeffekt (vgl. Fraß & Heinke 2014) und einen Versuch zur Radioaktivität (vgl. Büsch et al. 2017) umgesetzt.

Nachfolgend werden zunächst Grundzüge der objektfokussierten Erfassung von experimentellen Prozessen bei der Durchführung von Realexperimenten vorgestellt. Anschließend wird das Potential dieser Erhebungsmethode sowohl für die Forschung als auch für die Lehre diskutiert. Insbesondere werden in Abschnitt 4 Szenarien für den Einsatz dieses Ansatzes in der Lehre beschrieben. Diese setzen jedoch voraus, dass die bisherige Sensorik für Versuche auf der optischen Bank ausgetauscht wird. Eine Möglichkeit einer alternativen Sensorik wird daher zum Abschluss in Abschnitt 5 aufgeführt.

2. Objektfokussierte Erfassung

Der Zugang zum experimentellen Prozess bei der Durchführung von Realexperimenten erfolgt bei dem objektfokussierten Ansatz durch eine am Versuchsaufbau implementierte Sensorik, mit deren Hilfe alle relevanten Manipulationen am experimentellen Aufbau erfasst werden. Bei Versuchen auf der optischen Bank erfolgte dies bislang dadurch, dass an den optischen Bauteilen an geeigneten Stellen Laserdioden angebracht wurden, die einen Lichtspot auf einem halbtransparenten Schirm, der sich hinter dem experimentellen Aufbau befindet, erzeugen. Die Bewegung der Lichtspots auf dem halbtransparenten Schirm wird durch eine Videokamera, die wiederum hinter dem halbtransparenten Schirm positioniert ist, aufgezeichnet. Die beschriebene Sensorik ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

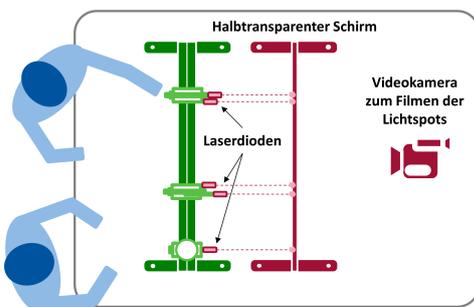


Abb. 2: Schematische Darstellung der bislang verwendeten Sensorik zur objektfokussierten Erfassung von experimentellen Prozessen bei Versuchen auf einer optischen Bank.

Aus den Videodaten werden anschließend mit Hilfe eines Videoanalyseprogramms Objektdaten für jeden Lichtspot auf dem halbtransparenten Schirm und damit für jedes optische Bauteil generiert. Die Objektdaten beinhalten dabei zu jedem Zeitpunkt t die x - und y -Position des Lichtspots auf dem halbtransparenten Schirm. Für eine Irisblende sind die Objektdaten in Abbildung 3 beispielhaft dargestellt. Es wurden sowohl die horizontale (x -Position) und vertikale (y -Position) Position des Bauteils auf der optischen Bank als auch die Einstellung des Blendendurchmessers erfasst.

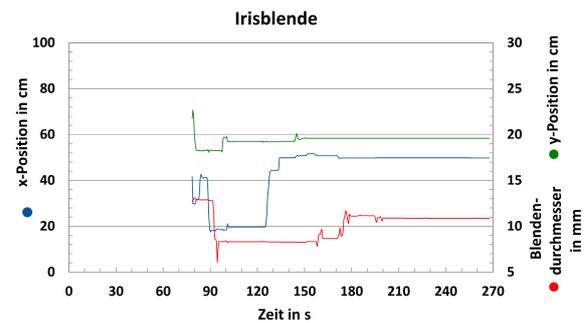


Abb. 3: Beispielhafte Darstellung der Objektdaten für eine Irisblende. Neben der x -Position (horizontale Position) des Bauteils auf der optischen Bank ist die zeitliche Änderung der y -Position (vertikale Position) des Bauteils und des Blendendurchmessers abgebildet.

Ein Auswerteskript bereitet die Objektdaten anschließend automatisiert auf und erzeugt eine kodierte Abfolge der experimentellen Handlungen der Probanden am Versuchsaufbau, das für detaillierte Analysen der experimentellen Prozesse genutzt werden kann. Das beschriebene Auswerteverfahren der objektfokussierten Erfassung ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

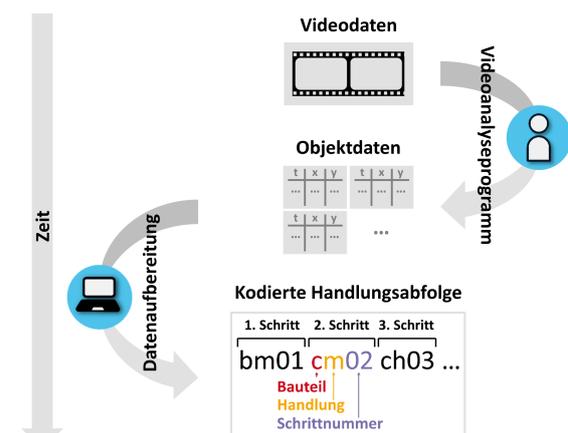


Abb. 4: Schematische Darstellung des Auswerteverfahrens bei der objektfokussierten Erfassung und der bisherigen Sensorik für Versuche auf der optischen Bank.

Somit kann insgesamt eine teilautomatisierte Auswertung der erhobenen Daten für Versuche auf der optischen Bank realisiert werden. Bei einem Versuch zur Radioaktivität konnte dagegen durch eine geeig-

nete Wahl der Sensorik bereits eine vollautomatisierte Auswertung der erhobenen Daten entwickelt werden (vgl. Büsch et al. 2017).

Für die bisherige Sensorik bei Versuchen auf der optischen Bank verhindert die Generierung der Objektdaten aus den Videodaten mit Hilfe eines Videoanalyseprogramms die vollautomatisierte Auswertung der Prozessdaten, da an dieser Stelle ein händisches Eingreifen in das Auswerteverfahren erforderlich ist. Zusätzlich zeigt sich, dass dieser händisch zu unterstützende Auswerteschritt auch zeitlich so aufwändig ist, dass er einen Flaschenhals im gesamten Auswerteverfahren darstellt. Ein Austausch der bisherigen Sensorik bei Versuchen auf der optischen Bank durch ein geeignetes alternatives System kann damit auch für diese Experimente eine vollautomatisierte und gleichzeitig auch eine deutlich schnellere Auswertung der Prozessdaten ermöglichen. Eine mögliche neue Sensorik wird in Abschnitt 5 beschrieben.

3. Potential für die Forschung

Die Realisierung einer mindestens teilautomatisierten Auswertung bei der objektfokussierten Erfassung experimenteller Prozesse ermöglicht einen vielfältigen Einsatz dieser Methode in der Forschung. In diesem Abschnitt wird das Potential dieses Ansatzes in der Forschung am Beispiel von Interventionsstudien zu experimentellen Prozessen diskutiert.

Wie eingangs beschrieben wurde, wird aufgrund der hohen Bedeutung des Realexperiments in Forschung und Lehre ein Fokus bei der Untersuchung experimenteller Prozesse auf solche Prozesse bei der Durchführung von Realexperimenten gelegt. Die Experimentiersituation soll dabei durch das Studiendesign möglichst unverändert bleiben. Gleichzeitig soll der experimentelle Prozess jedoch möglichst vollständig erfasst werden. Das bedeutet konkret, dass alle wesentlichen experimentellen Parameter in ihrer zeitlichen Abhängigkeit erhoben werden sollen, so dass der Ablauf des experimentellen Prozesses rekonstruierbar, mit anderen Prozessen vergleichbar und valide bewertbar wird. Damit lassen sich eventuelle Unterschiede im experimentellen Prozess zwischen verschiedenen Interventionsgruppen auffinden und aufzeigen. Der objektfokussierte Ansatz zeigt hier seine

Stärken. Die Probanden können am realen Versuchsaufbau experimentieren und in den experimentellen Prozess wird beispielsweise nicht durch das zum Experimentieren parallele Ausfüllen eines zusätzlichen Prozessprotokolls eingegriffen. Bei geeigneter Wahl der verwendeten Sensorik ist somit nahezu keine Beeinflussung der Experimentiersituation vorhanden. Aufgrund der teil- bzw. vollautomatischen Auswertung werden alle relevanten Manipulationen am Realexperiment in einer hohen zeitlichen Auflösung digital erfasst. Durch die Generierung einer kodierten Abfolge der experimentellen Handlungen der Probanden wird dieser Prozess zudem in seinen wesentlichen Merkmalen vergleich- und bewertbar.

Der objektfokussierte Ansatz eignet sich dabei durch seine teil- bzw. vollautomatische Auswertung auch für Interventionsstudien mit großen Probandenzahlen, da die Auswertung des Datenmaterials mit einem vertretbaren Aufwand verbunden ist. Hier zeigt der objektfokussierte Ansatz seine Stärken beispielsweise gegenüber Videostudien, die in der Regel ein sehr zeitaufwändiges Auswerten von ausgewählten Inhalten des Videomaterials mit sich bringen. Durch eine optionale Ergänzung des objektfokussierten Ansatzes durch den Einsatz von Smartpens im typischen paarweisen Betrieb eines Versuchsaufbaus ist eine zusätzliche Erfassung der Kommunikationsebene der Probanden sehr einfach möglich. Gleichmaßen kann in einfacher Weise die objektfokussierte Erfassung der Prozessdaten durch ein Think-Aloud-Studiendesign von einzeln experimentierenden Probanden ergänzt werden. Damit eignet sich der objektfokussierte Ansatz nicht nur für quantitative, sondern auch für qualitative Studien.

4. Potential für die Lehre

Neben dem im vorherigen Abschnitt diskutierten Potential des objektfokussierten Ansatzes in der Forschung ergibt sich auch ein großes Potential dieses Ansatzes in der Lehre. Dieses basiert auf der vollständigen Erfassung von experimentellen Prozessen sowie ihrer daraus resultierenden Rekonstruier- und Vergleichbarkeit, was neue Optionen der Diagnostik, des Feedbacks und der Bewertung von experimentel-

Einsatzszenario	Nutzung	Voraussetzung
A) Rekapitulation = nachgelagerte Betrachtung (von wesentlichen Merkmalen) des experimentellen Prozesses durch Lerner und/oder Lehrperson	zur Diagnostik, Unterstützung von Lernprozessen und Bewertung experimenteller Kompetenzen	mindestens teilautomatisierte Auswertung (und Weiterverarbeitung) der Prozessdaten
B) prozessbegleitende Analyse = begleitende Analyse des experimentellen Prozesses (in seinen wesentlichen Merkmalen) ... B1) ... mit (optionaler) Rückmeldung durch Lehrperson B2) ... mit Rückmeldung in interaktiver medial gestützter Lernumgebung	zur Diagnostik und Unterstützung von Lernprozessen bzgl. experimenteller Kompetenzen	vollautomatisierte Auswertung und Weiterverarbeitung der Prozessdaten

Tab. 1: Übersicht möglicher Einsatzszenarien des objektfokussierten Ansatzes in der Lehre (Details siehe Text).

len Prozessen eröffnet. Im Folgenden werden mögliche Einsatzszenarien des objektfokussierten Ansatzes zur Erfassung experimenteller Prozesse beschrieben, die in der Tabelle 1 im Überblick dargestellt sind. Dabei ist sowohl jeweils ein Einsatz in der Schule als auch in der Hochschule beispielsweise im Rahmen eines Praktikums denkbar.

Einsatzszenario A

Beim Einsatzszenario A handelt es sich um eine nachgelagerte Betrachtung des experimentellen Prozesses, der ggfs. auf seine wesentlichen Merkmale abstrahiert wurde. Diese Rekapitulation der experimentellen Abläufe kann entweder allein durch die Lerner, allein durch die Lehrperson oder/und gemeinsam von beiden Seiten erfolgen.

Konkret bekommen die Lerner zunächst eine experimentelle Aufgabe gestellt. Die Bearbeitung erfolgt an einem mit einer geeigneten Sensorik präparierten Realexperiment. Durch die nahezu vollständige Erfassung und Rekonstruierbarkeit des experimentellen Prozesses ermöglicht der objektfokussierte Ansatz eine nachgelagerte Betrachtung der Versuchsabläufe. Durch eine automatisierte Auswertung der Daten beim objektfokussierten Ansatz kann zudem eine Fokussierung auf wichtige Aspekte des vorliegenden experimentellen Prozesses erfolgen. Hier zeigt sich ein wichtiger Unterschied beispielsweise zu einer Videoaufzeichnung, bei der die vollständige händische Durchsicht des Videomaterials erforderlich ist.

Es ist auch denkbar, dass die aufgezeichneten Objektdaten in ein interaktives Bildschirmexperiment einfließen (z.B. Kirstein et al. 2016), sodass bei einer gemeinsamen Rekapitulation des experimentellen Prozesses von Lehrperson und Lerner zu jedem Zeitpunkt die experimentelle Situation in ihren relevanten Parametern rekonstruiert werden kann. Auf dieser Basis können mögliche experimentelle Handlungsalternativen aufgezeigt und nachvollzogen werden.

Die mögliche Rekapitulation experimenteller Prozesse ist insbesondere auch für solche Rahmenbedingungen interessant, in denen eine Diagnostik und Bewertung des experimentellen Prozesses für einzelne Lerner im Rahmen eines Schülerexperimentes in einer Schulklasse oder aber auch im Rahmen eines Praktikums in der Hochschule zwar aufgrund der angestrebten Lernziele sehr wünschenswert wäre, aber aufgrund der Zahl der gleichzeitig experimentierenden Lerner für die Lehrperson logistisch nur eingeschränkt möglich ist. Dabei darf man von der Möglichkeit der Rekapitulation eines experimentellen Prozesses in jedem Fall neue, bis jetzt kaum zugängliche Lerngelegenheiten für die Vermittlung prozessbezogener experimenteller Kompetenzen erwarten. Das gilt prinzipiell unabhängig davon, in welcher Form diese Rekapitulation erfolgt (ob allein durch den Lerner oder die Lehrperson oder (anschließend) gemeinsam durch beide), wengleich sich die Lerneffekte hier im Detail unterscheiden werden.

Einsatzszenarien B1 und B2

Neben der im Einsatzszenario A beschriebenen Rekapitulation des experimentellen Prozesses im Anschluss an eine experimentelle Aufgabe, die eine Lerngruppe in Einzelarbeit oder in Teams bearbeitet hat, ermöglicht der objektfokussierte Ansatz auch eine prozessbegleitende Analyse experimenteller Abläufe, sofern alle Auswerteschritte vollautomatisiert vorgenommen werden. Eine lernwirksame Rückmeldung noch während des Experimentierens kann dabei entweder durch die Lehrperson (B1) oder ebenfalls automatisiert innerhalb einer interaktiven medial gestützten Lernumgebung (B2) erfolgen. Diese Rückmeldung wird in der Regel eine weitere Aufbereitung der Prozessdaten voraussetzen. Das Szenario B2 ähnelt dabei in Teilen Lehr-Lern-Umgebungen, die experimentelle Abläufe in eine sog. *augmented* oder *mixed reality* einbeziehen.

Voraussetzung für beide Szenarien B1 und B2 ist erneut, dass die Versuchsaufbauten mit einer geeigneten Sensorik im Vorfeld präpariert wurden. Eine vollständig automatische Auswertung der aufgezeichneten Daten und meist auch geeignete Weiterverarbeitung dieser Prozessdaten ist notwendig, um Hinweise auf mögliche aufgetretene Probleme bei den einzelnen Lernern bzw. Teams rückmelden zu können. Solche Hinweise können dann über eine Lehrperson oder ein entsprechendes interaktives Lehr-Lern-Programm gezielt an die jeweiligen Lerner bzw. Teams vermittelt werden, die dadurch bei der Bearbeitung der experimentellen Aufgabe unterstützt werden und ihre prozessbezogenen experimentellen Kompetenzen weiterentwickeln können.

Insbesondere die beschriebenen Einsatzszenarien B1 und B2 setzen somit ein vollautomatisches Auswerteverfahren der von der gewählten Sensorik aufgezeichneten Objektdaten mit implementiertem Echtzeit-Feedback-System voraus. Wie oben bereits erwähnt, konnte für einen Versuch zur Radioaktivität bereits eine vollautomatische Auswertung wichtiger Prozessdaten realisiert werden (vgl. Büsch et al. 2017). Die in Abschnitt 2 vorgestellte Sensorik für Versuche auf der optischen Bank zeigt jedoch ihre Schwäche bei der Generierung der Objektdaten aus den Videodaten. Um das Potential des Ansatzes für Forschung und Lehre im Bereich der Optik weitreichender nutzen zu können, bedarf es daher eines Austauschs der bisherigen Sensorik. Eine mögliche neue Sensorik für Versuche auf der optischen Bank wird daher im Folgenden vorgestellt. Eine Übertragung dieser Sensorik beispielsweise auf Versuche zur Kinematik ist denkbar.

5. Austausch der bisherigen Sensorik bei Versuchen zur Optik

In Abschnitt 2 wurde beschrieben, dass das Videoanalyseprogramm zur Generierung der Objektdaten aus den aufgenommenen Videodaten einen limitierenden Faktor im Auswerteblauf darstellt, da hier

eine Bedienung und Überwachung eines zudem zeit- aufwändigen Auswerteschritts durch personelle Ressourcen notwendig ist. Insbesondere lässt sich mit der bisherigen Sensorik kein vollautomatisches Auswerteverfahren realisieren.

Bei der Entwicklung einer alternativen Sensorik für Versuche auf der optischen Bank wurde zunächst ein Fokus auf die Ermittlung der horizontalen Position eines optischen Bauteils auf der optischen Bank gelegt. Um die Sensorik möglichst kostengünstig und leicht nachbaubar zu gestalten, wird als optische Bank ein Standardaluminiumprofil (beispielsweise item®) verwendet. Daran ansetzend wurde ein optischer Reiter konstruiert, der sich mit Hilfe eines 3D-Druckers erstellen lässt. Auf der optischen Bank ist ein Barcode aufgebracht, der durch eine im Reiter untergebrachte Sensorik ausgelesen werden kann. Die Sensordaten werden von einem ebenfalls im Reiter untergebrachten Mikrocontroller (ESP32) ausgelesen, und daraus wird die Position des Reiters auf der optischen Bank berechnet. Um die eingangs aufgestellte Anforderung zu erfüllen, die Experimentiersituation so unverändert wie möglich zu lassen, wurden ein akkugestützter Betrieb und eine drahtlose Übertragung der Positionsdaten des Mikrocontrollers entwickelt. Der Mikrocontroller kommuniziert dafür mit einem Server (Raspberry Pi), an den er die Daten übermittelt. Im Server können die Daten, auch von eventuellen weiteren optischen Bauteilen, weiter aufbereitet und ausgewertet werden. Ebenfalls ist eine Weiterleitung der aufbereiteten Daten an andere Endgeräte möglich. Die Umsetzung der beschriebenen Sensorik ist in Abbildung 5 dargestellt.

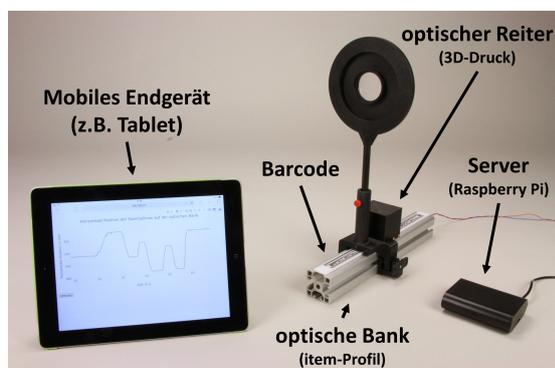


Abb. 5: Eine mögliche Realisierung für den Austausch der bisher eingesetzten Sensorik für Versuche auf der optischen Bank.

Damit wird die bisherige teilautomatisierte Auswertung der zeitlichen Abhängigkeit der relevanten Parameter der Bauteile auf der optischen Bank durch ein vollautomatisiertes Auswerteverfahren ersetzt, das in Abbildung 6 schematisch dargestellt ist. Dieses Verfahren ist nicht mehr durch Limitationen bei der Auswertung der Sensor-Rohdaten beschränkt.

Durch die Realisierung eines vollautomatischen Auswerteverfahrens ist eine wichtige Grundlage geschaffen worden, um auch bei Versuchen auf der optischen

Bank das in den Abschnitten 3 und 4 aufgezeigte Potential des objektfokussierten Ansatzes zur Erfassung experimenteller Prozesse umfassender nutzen zu können als bisher. Insbesondere lassen sich damit auch die in Abschnitt 4 beschriebenen Einsatzszenarien in der Lehre zur prozessbegleitenden Analyse und direkten Rückmeldung an die Lerner umsetzen.

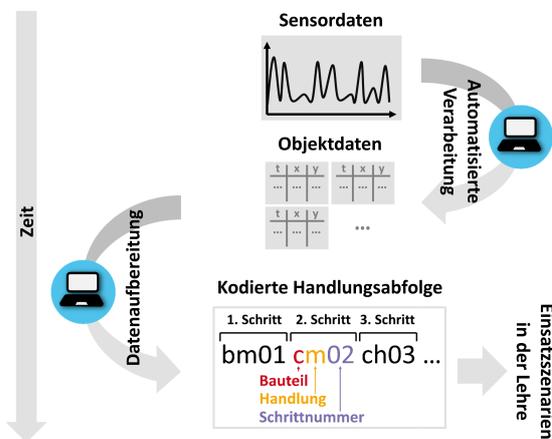


Abb. 6: Vollautomatisches Auswerteverfahren für Versuche auf der optischen Bank, das auf Grund des Austauschs der bisherigen Sensorik realisiert werden konnte.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Bei der objektfokussierten Erfassung experimenteller Prozesse bei der Durchführung von Realexperimenten wird ein Perspektivwechsel vollzogen. Im Gegensatz zu probandenfokussierten Erhebungsmethoden, wie beispielsweise Laborberichten, vorstrukturierten Protokollen, der direkten Beobachtung oder Videostudien, gelingt der Zugang zum experimentellen Prozess mittels Erfassung aller relevanten experimentellen Handlungen durch eine am Versuchsaufbau implementierte Sensorik. Durch die Sicherstellung einer teil- oder auch vollautomatischen Auswertung der Daten zeigt sich ein Potential dieses Ansatzes in der Forschung beispielsweise für Interventionsstudien zu experimentellen Prozessen, da diese mit dem objektfokussierten Ansatz nahezu vollständig erfasst werden sowie vergleich- und rekonstruierbar sind. Gleichzeitig wird die Experimentiersituation so unverändert wie möglich gelassen. Auch für die Lehre zeigt sich ein großes Potential dieses Ansatzes. Im vorliegenden Beitrag wurden mögliche Einsatzszenarien vorgestellt. Ihre umfassende Realisierung erfordert jedoch eine vollautomatische Auswertung der durch die Sensorik aufgenommenen Prozessdaten mit implementiertem Echtzeit-Feedback-System. Für Versuche auf der optischen Bank ist dafür ein Austausch der bisherigen Sensorik erforderlich, wofür ein Vorschlag vorgestellt wurde.

Für einen breiten Einsatz des objektfokussierten Ansatzes, insbesondere in den beschriebenen Einsatzszenarien in der Lehre, müssen für verschiedene Versuchsaufbauten jeweils geeignete Sensoriken entwickelt werden. Hierfür ist die Entwicklung passender Umgebungen sowohl auf der Hardware- als auch auf

Software-Ebene anhand konkreter experimenteller Aufgabenstellungen erforderlich.

7. Literatur

- Büsch, L.; Guntermann, C.; Heinke, H. (2017): Diagnostik experimenteller Vorgehensweisen am Beispiel eines Versuchs zur Radioaktivität. In: V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik*. Dresden: o. V., 2017, Beitrag DD 22.03, Url: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/781/923> (Stand 06/2018)
- Emden, M. (2011): Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlichen-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 Verlag.
- Fraß, S.; Heinke, H. (2015): 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, Url: <http://gdcp.de/index.php?id=10058> (Stand 06/2018)
- Fraß, S.; Weyers, C.; Heinke, H. (2014): Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes. In: V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik*. Frankfurt: o. V., 2014, Beitrag DD 04.02, Url: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/565/710> (Stand 06/2018)
- Heidrich, J., Petersen, S., & Neumann, K. (2014). Kognitive Validierung eines Experimentiertests durch Think Alouds. In: S. Bernholt (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht* Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in München 2013 (S. 180–182). Kiel: IPN, Url: <http://gdcp.de/index.php?id=9508> (Stand 06/2018)
- 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.
- Kirchner, S. & Priemer, B. (2010): Welche Kompetenzen zeigen Schüler beim Umgang mit Variablen?. In: D. Höttecke (Hrsg.): *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik* (S. 206-208). Münster: LIT-Verlag.
- Kirstein, J.; Haase, S.; Mühlenbruch, T.; Nordmeier, V. (2016): 20 Jahre Interaktive Bildschirmexperimente – Von den Anfängen bis zu ELIXIER. In: V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik*. Hannover: o. V., 2016, Beitrag DD 02.06, Url: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/739/872> (Stand 06/2018)
- 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. In: H. Niedderer, H. Fischler, & E. Sumfleth, (Hrsg.): *Studien zum Physiklernen* (Bd. 38). Berlin: Logos Verlag.
- Shavelson, R. J., Baxter, G. P., & Pine, J. (1991): Performance Assessment in Science. *Applied Measurement in Education*, 4(4), 347–362.
- Walpuski, M. (2006): Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback: eine empirische Studie. In: H. Niedderer, H. Fischler, & E. Sumfleth, (Hrsg.): *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 49). Berlin: Logos Verlag.