

Guido Haag  
 Dr. Jochen Scheid  
 Dr. Patrick Löffler  
 Prof. Dr. Alexander Kauertz

Universität Koblenz-Landau  
 Universität Koblenz-Landau  
 Universität Koblenz-Landau  
 Universität Koblenz-Landau

### **Desiderate bei der manuellen Ausführung von Experimenten**

**Abstract:** Experimente sind wichtig, um Lernenden Grundprinzipien der Scientific Inquiry und NOS zu vermitteln. Viele Studien zeigen jedoch, dass der Lerneffekt hinter den Erwartungen zurückbleibt. In den meisten Modellen für experimentelle Kompetenzen wird die manuelle Ausführung als wesentlicher Faktor berücksichtigt. Welchen Einfluss die konkrete manuelle Ausführung hat, ist allerdings noch wenig untersucht, da das Konstrukt sich als schwer zugänglich erweist. Ziel ist es daher, die Qualität der manuellen Umsetzung zu beurteilen. In einer Vorstudie werden Studierende beim Experimentieren videografiert. Handlungen der Studierenden werden kategorisiert. Es wird ein Kodiermanual für vier Fehlerkategorien erstellt. Zur Untersuchung in unterschiedlichen Themengebieten und Komplexitätsniveaus entwickeln wir parallel ein Klassifizierungssystem für Experimente. Es zeigt sich eine stark unterschiedliche Besetzung der Fehlerkategorien, was eine weitere Ausdifferenzierung der häufig besetzten Kategorien und eine Überprüfung der schwach besetzten Kategorien nötig macht.

**Stichworte:** experimentelle Kompetenz, manuelle Umsetzung;

**Theoretischer Hintergrund:** An die Rolle des Experiments im Unterricht sind viele Hoffnungen und Erwartungen geknüpft. Schon bei den Meraner Beschlüssen 1905 forderten Naturwissenschaftler den planmäßigen Einsatz von praktischen Schülerübungen im Unterricht. In langer Tradition mit Forderungen vieler weiterer Fachdidaktiker (z.B. Wagenschein: „Rettet die Phänomene!“, Kerschensteiner: Anschauung, forschender Unterricht, Selbsttätigkeit) spricht sich auch Harlen 2009 dafür aus, dass experimentelles Handeln ein wesentliches Merkmal des Physikunterrichts sein soll. Auch in den Bildungsstandards findet sich das Experimentieren als zentrales Element des Erkenntnisgewinnungsprozesses wieder (KMK, 2005b). Darüber hinaus spielen Experimente eine wichtige Rolle als Vermittler von Nature of Science und Scientific Inquiry (Tesch, Duit, 2002). Als Verständnis- und Lernhilfe sollen sie den Zugang zur Physik vereinfachen (Kircher, 2015). Weiterhin erwartet man von Schülerexperimenten die Begünstigung des Lernerfolgs durch Motivation und kognitive Aktivierung (Kircher, Girwidz, Häußler, 2007), sowie durch die Förderung von kausalem und funktionalem Denken (Bruch, 2015). Diese hohen Erwartungen führen dazu, dass experimentelles Handeln eines der meistbeachteten und am besten untersuchten Themenbereiche der Physikdidaktik ist (Börlin, 2012).

Leider zeigt die Studienlage ebenfalls seit vielen Jahren, dass die erwarteten Auswirkungen auf Interesse und Motivation (Harlen, 1999), Fachwissen (Hofstein & Lunetta, 2004), experimentelle Fähig- und Fertigkeiten oder die Einstellung (Hopf, 2007) ausbleibt. Hodson resümierte schon 1993 plakativ, Lernende seien beim Experimentieren „very busy, going nowhere“ (S. 101). Als Gründe für diesen Widerspruch zwischen Erwartungen und empirischen Befunden werden z.B. ungenügende experimentelle Fähigkeiten (Hodson, 1993), fehlende Routine (Kircher, Girwidz, Häußler, 2015), oder die Überforderung durch die Vielzahl der geforderten Kompetenzen (Hopf, 2007) genannt. Auch die Komplexität offener Experimente kann zu einer Überforderung führen (Börlin, 2012). Jedoch ist beispielsweise eine als Hilfe kleinschrittig anleitende Aufgabenstellung ebenfalls keine

Lösung: Diese begünstigt ein kognitiv passives Verhalten, mit dem Schülerinnen und Schüler ihren Auftrag eng angeleitet abarbeiten (Börlin, 2012). Um das Dilemma von hohen Erwartungen und geringem Lernerfolg aufzulösen, müssen die durch Experimente geforderten Kompetenzen näher untersucht werden.

Schreiber, Theyßen und Schecker (2009) untersuchen die Frage, welche Kompetenzen notwendig sind, um erfolgreich zu experimentieren. Maiseyenko, Schecker & Nawrath (2013) nennen hierzu sieben Dimensionen:

- Fragestellung entwickeln
- Vermutung / Hypothese aufstellen
- Experiment planen
- Versuch funktionsfähig aufbauen
- Beobachten / Messen / Dokumentieren
- Daten Aufbereiten
- Schlüsse ziehen / diskutieren

Bisher wurden überwiegend diejenigen Aspekte experimenteller Kompetenz untersucht, die sich gut mit Paper- und Pencil-Tests erfassen lassen. Die tatsächliche manuelle Ausführung (Parchmann & Schecker, 2006) ist bisher noch wenig untersucht (z. B. im Rahmen des Projekts HarmoS Naturwissenschaften), da bezweifelt wird, ob solche Tests valide genug sind, um ebendiese manuellen Kompetenzen zu erfassen (Parchmann, Schecker, 2006; Schecker, Theyßen, Schreiber, 2009). Sie sind in den Kompetenzbereichen „*Versuch funktionsfähig aufbauen*“, sowie „*Beobachten/Messen/Dokumentieren*“ verortet. Bei einem Experiment werden von einem Experimentator in einem realen System bewusst gesetzte und ausgewählte natürliche Bedingungen verändert, kontrolliert und wiederholt beobachtet (Kircher, Girwitz & Häußler, 2015). Wir interessieren uns für die *Handlungen* am Experiment. Darunter verstehen wir in Anlehnung an Harlen (2010): Schritte mit dem Ziel der Beschreibung der für die Fragestellung relevanten Größen. Dabei können *Fehler* auftreten. Darunter verstehen wir ebenfalls in Anlehnung an Harlen (2010): *Handlungen*, die ungeplant zu einer Veränderung des Ergebnis führen. Die Planung der Handlungen in Verbindung mit den situationalen Bedingungen (z.B. Experimentiermaterial oder motivationale Aspekte) ist dabei Ausdruck der experimentellen Kompetenzen.

#### **Forschungsfragen:**

- Welche Kategorien lassen sich für die beobachteten *Fehler* bilden?

**Methode:** Wir fokussieren im Rahmen eines studentischen Praktikums die manuelle Ausführung während des Experimentierens. Dabei durchlaufen vier Gruppen mit insgesamt 10 Studierenden aus dem zweiten und dritten Semester zwei Versuche aus der Thermodynamik. Ein Versuch dient der Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters, mit dem zweiten, anschließenden, Versuch wird eine Metallprobe anhand ihrer Wärmekapazität bestimmt. Die Studierenden werden von Mitarbeitern des Instituts fachlich betreut und dürfen sich auch zwischen den einzelnen Gruppen informell austauschen. Durch die Betreuung wurde Fachwissen als Varianzquelle möglichst ausgeschlossen. Jedoch haben die Betreuer nicht direkt in die Durchführung des Experiments eingegriffen. Die Studierenden werden videografiert und Ausschnitte ermittelt, in denen Fehler auftreten. Durch eine induktive Inhaltsanalyse nach Mayring wurden Fehlerkategorien und ein entsprechendes Kodiermanual erstellt. Mit einem Vergleich mehrerer Rater der angegebenen Ausschnitte wurde die Reliabilität des Manuals überprüft. Parallel dazu erstellen wir ein Klassifizierungssystem, mit dem auch Versuche untereinander vergleichbar gemacht werden sollen. Dadurch soll die Performanz der Experimentierenden über Versuche verschiedener

Themengebiete und Komplexität operationalisierbar werden. Wir unterscheiden Experimente nach

- a) der Fragestellung quantitativ oder qualitativ? (Kircher, Girwidz & Häußler, 2015)
- b) der Anzahl der unabhängigen Variablen
- c) der Anzahl der nötigen Messungen
- d) die Anzahl der *wirksamen Schritte*.

Die Klassen b bis d repräsentieren die Komplexität (Kauertz et al., 2010) der Experimente, indem sie die Anzahl der Elemente, ihrer Verknüpfungen und ihrer Zusammenhänge darstellen.

Als *wirksamen Schritt* haben wir eine erforderliche Maßnahme am Experiment definiert, die das Ergebnis beeinflussen kann. Als Beispiel für diese Kategorisierung sei hier das Experiment zur Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters gezeigt: a) quantitativ b) zwei unabhängige Variablen (Masse und Temperatur) c) fünf notwendige Messungen (2 x Masse, 3 x Temperatur) d) sechs „wirksame Schritte“ (1. Bestimmung der Masse des kalten Wassers, 2. Bestimmung der Temperatur des kalten Wassers, 3. Bestimmung der Temperatur des heißen Wassers, 4. Überführung des heißen Wassers, 5. Bestimmung der Masse des heißen Wassers, 6. Bestimmung der Mischungstemperatur).

**Ergebnisse:** Es werden bei fünf Experimentiereinheiten zweier verschiedener Experimente insgesamt 29 Fehler identifiziert. Am weitaus häufigsten ( $n_{VK} = 26$ ) treten Fehler auf, bei denen eine oder mehrere Kontrollvariablen wie beispielsweise die Masse des Wassers oder die Temperatur unbeabsichtigt unkontrolliert verändert werden. Fehler solcher Art bezeichnen sind *Variablenkontrollfehler*. Weiter beobachten wir *Fehler bei der Nutzung der Messgeräte* ( $n_{MG} = 1$ ), wie zum Beispiel der Blickwinkel beim Ablesen des Thermometers. Teilweise werden auch unangebrachte Wassermengen oder Temperaturwerte eingesetzt, so dass der *relative Fehler* der Messung unverhältnismäßig hoch ist ( $n_R = 1$ ). In die vierte Fehlerkategorie fallen *sonstige Fehler* ( $n_S = 1$ ), wie zum Beispiel das Vergessen einer Messung. Für diese Fehlerkategorien wird ein Kodiermanual erstellt und die Beurteilerübereinstimmung bewertet. Cohens Kappa für die Interraterreliabilität beträgt 1.000,  $p < 0,1$ .

**Diskussion und Limitationen:** Die Rahmenbedingungen der Vorstudie sind nicht repräsentativ für schulische Experimentiersituationen: Es handelte sich dabei um Zweier- und Dreiergruppen von Studierenden im 2. und 3. Semester, die ein reguläres Praktikum durchliefen. Es gab dabei Informationsaustausch innerhalb sowie zwischen den Gruppen. Zudem standen bei Fragen fachlicher Art Betreuer zur Verfügung, die jedoch keinen Einfluss auf die manuelle Umsetzung nahmen. Es fällt auf, dass Variablenkontrollfehler mit Abstand die am häufigsten auftretende Fehlerkategorie ist. Es stellt sich daher die Frage, ob die Kategorien nicht vielleicht trivial sind und es sich bei den anderen Fehlerarten um Artefakte handelt. Um dieser Frage nachzugehen führen wir eine Folgestudie mit Lernenden der Sekundarstufe 1 durch. Dabei erwarten wir auf Grund der geringeren Routine der Lernenden eine häufigere Besetzung der hier nur selten beobachteten Fehlerkategorien.

**Ausblick:** Um etwaig vorhandene Zusammenhänge zwischen Fehlern bei der manuellen Umsetzung von Experimenten und Personenmerkmalen, wie z. B. Intelligenz, Motivation, Selbstwirksamkeitserwartung und Vorwissen zu beleuchten, müssen sie in der geplanten Pilotstudie miterhoben werden. Im Hinblick auf die oben erwähnte Routine ist geplant, auch Interesse für handwerkliches Arbeiten und Freizeitaktivitäten als Kontrollvariable mit zu erheben. Weiterhin werden wir die häufig auftretenden *Variablenkontrollfehler* dahingehend untersuchen, ob sich weitere Unterkategorien bilden lassen.

## Literatur

- Börlin, J. (2012). *Das Experiment als Lerngelegenheit. Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*, Berlin.
- Bruch, M. (2015). *Lerntheorien im Kontext des Problemlösens: Eine praktische und umfangreiche Studie zu einem schülerorientierten Unterrichtsansatz*. Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2015.
- Harlen, W. (1999). *Effective teaching of science: A review of research. SCRE publication Using research series: Vol. 21*. Glasgow: Scottish Council for Research in Education.
- Harlen, W. (2010). Purposes and Procedures for Assessing Science Process Skills. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 6(1), 129–144. <https://doi.org/10.1080/09695949993044>
- Hodson, D. (1993). Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in Science Education*, 22(1), 85–142. <https://doi.org/10.1080/03057269308560022>
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). *The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century*. *Science Education*, 88(1), 28–54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Hopf, M. (2007). *Problemorientierte Schülerexperimente*. Zugl.: München, Univ., Diss., 2007. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Vol. 68*. Berlin: Logos-Verl. Retrieved from [http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3018834&prov=M&dok\\_var=1&dok\\_ext=htm](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3018834&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm)
- Kauertz, A. (2007). *Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben*, Essen.
- Kauertz, A., Fischer, H., Mayer, J., Sumfleth, E., & Walpuski, M. (2010). Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den naturwissenschaftlichen Fächern der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 135–153.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häubler, P. (2015). *Physikdidaktik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- KMK (Hrsg.) (2005c). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss. Beschlüsse vom 16.12.2004*. München: Luchterhand.
- Konsortium HarmoS Naturwissenschaften+ (2010). *Naturwissenschaften. Wissenschaftlicher Kurzbericht und Kompetenzmodell. Provisorische Fassung (vor Verabschiedung der Standards). Stand: Juli 2009, mit Ergänzungen und Korrekturen Januar 2010*. Bern.
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. Weinheim und Basel: Beltz-Verlag.
- Maiseyenko, V., Nawrath, D. & Schecker, H. (2011). *Modellbasierte Förderung und Diagnose von Experimentierkompetenz*. In: D. Höttecke (Hg.): *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung für Potsdam 2010. Münster: Lit Verlag.
- Maiseyenko, V., Schecker, H. & Nawrath, D. (2013). *Kompetenzorientierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts: Symbiotische Kooperation bei der Entwicklung eines Modells experimenteller Kompetenz*. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule 1*, S. 1 – 17.
- Parchmann, I., & Schecker, H. (2006). *Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz*. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12.
- Schecker, H., Neumann, K., Theyßen, H., Eickhorst, B., & Dickmann, M. (2016). *Stufen experimenteller Kompetenz*. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 197–213. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0050-3>
- Schecker, H., Theyßen, H., & Schreiber, N. (2009). *Experimentelle Kompetenz messen?! Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 3(8), 92–101.
- Tesch, M., Duit, R. (2002). *Zur Rolle des Experiments im Physikanfangsunterricht*. In: V. Nordmaier (Hg.): *Didaktik der Physik: Beiträge zur Frühjahrestagung der DPG – Leipzig 2002*