

Fabian Bernstein^{1,2}
 Sascha Schmeling²
 Thomas Wilhelm¹
 Susanne Dührkoop²
 Alexandra Jansky²
 Oliver Keller²
 Lachlan McGinness²
 Julia Woithe²

¹Goethe-Universität Frankfurt am Main
²CERN, Genf

LowCost-Experimente zur modernen Physik mit dem 3D-Drucker

Zur Herausforderung „Moderne Physik“ für den Physikunterricht

Von verschiedener Seite wird die Forderung erhoben, der allgemeinbildende schulische Physikunterricht müsse den neueren Entwicklungen der Wissenschaft Physik stärker Rechnung tragen. So argumentieren bspw. die Autoren der DPG Schulstudie 2016, dass „der mündige Staatsbürger, der sich hier entwickeln soll, nicht bei Galilei, Newton, Faraday und Maxwell stehen bleiben“ könne (DPG, 2016, S. 12), sondern die Gelegenheit erhalten müsse, moderne Physik im Rahmen des schulischen Physikunterrichts kennenzulernen, und dass dies bei der Planung des Unterrichts in angemessenem Umfang zu berücksichtigen sei.

So gut begründet und nachvollziehbar diese Forderung sein mag, stellt sie die Lehrkräfte in der Praxis doch häufig vor große Herausforderungen: Nicht nur sind die nicht-klassischen Theorien der Physik überwiegend wenig anschaulich, mathematisch anspruchsvoll und begrifflich schwer zugänglich – zugleich ist geeignetes Experimentiermaterial oft nicht verfügbar oder mit (zu) hohen Anschaffungskosten verbunden. In der Folge bleibt die moderne Physik im Physikunterricht vielfach ein eher trockenes Unterfangen (Karaböcek & Erb, 2015). Dies ist insbesondere bedauerlich, da gerade attraktive Experimente einen aktivierenden und anschaulicheren Zugang zu modernen physikalischen Theorien und ihrer Genese im Unterricht eröffnen könnten.

3D-gedruckte LowCost-Experimente im S’Cool LAB am CERN

Das Schülerlabor S’Cool LAB am CERN hat sich zum Ziel gesetzt, geeignete und erschwingliche Experimentieraktivitäten, insbesondere zur Teilchenphysik, für den Physikunterricht zu entwickeln und interessierten Lehrkräften zugänglich zu machen. Dabei liegt ein Schwerpunkt auf der Einbeziehung von 3D-Druckern zur Entwicklung, Herstellung und Verbreitung entsprechender Ressourcen. Aus unserer Sicht weist diese Technologie für den Bildungsbereich verschiedene Vorzüge auf: so ist einerseits durch die zunehmende Popularität von 3D-Druckern in Schulen in Europa, Amerika und Australien (Fonda et al., 2013; Nemorin & Selwyn, 2017) eine unkomplizierte und potentiell globale Distribution gelungener Entwürfe möglich, andererseits können technologiebedingt flexible, kostengünstige und zugleich hochwertige funktionale Modelle erstellt und ausgedruckt werden.

Ein Beispiel für ein solches Modell stellt die am S’Cool LAB entwickelte 3D-gedruckte Quadrupol-Ionenfalle (s. Abb. 1) dar (McGinness et al., 2018). Die nach ihrem Erfinder Wolfgang Paul – der 1989 zusammen mit Hans Georg Dehmelt den Nobelpreis für die Entwicklung der Ionenfallentechnik erhielt – auch als „Paul-Falle“ bekannte Elektrodenanordnung erlaubt es, elektrisch geladene Teilchen in einem elektrischen Wechselfeld einzuschließen. Dies wird beispielsweise in der Massenspektroskopie oder im Quanten-Computing sowie in anderen Zu-

sammenhängen ausgenutzt. Am CERN kommen Quadrupol-Ionenfallen in der Antimateriefabrik beim Speichern von Anti-Wasserstoff-Ionen zum Einsatz; so werden Messungen der Wirkung der Gravitation auf Antimaterie möglich, die auf andere Weise schwer realisierbar wären.

Mittels der 3D-gedruckten Ionenfalle können Schülerinnen und Schüler die Funktionsweise dieses modernen Forschungswerkzeuges und die zugrundeliegenden physikalischen Prinzipien an einem makroskopischen Modell studieren und anschaulich nachvollziehen. Dabei werden Bärlappsporen durch die elektrischen Wechselfelder zum Levitieren gebracht und in der Falle eingeschlossen (s. Abb. 2). Eine Übersicht über weitere verfügbare Unterrichtsmaterialien zur Teilchenphysik findet sich auf der Website des S’Cool LABs (cern.ch/scoollab).



Abb.1 3D-gedruckte Paulfalle



Abb. 2 Sporen levitieren in der Paulfalle

Forschungsdiesiderata

Zur Optimierung des zukünftigen Entwicklungsprozesses und für die Gestaltung weiterer Experimentieraktivitäten wäre eine empirisch abgesicherte Erkenntnis über den Bedarf von Lehrkräften und die Faktoren, die aus ihrer Sicht beim Einsatz von Experimenten im Unterricht wesentlich sind, von großem Nutzen. Auf diese Weise könnte sichergestellt werden, dass die Bedürfnisse und Anforderungen, die sich aus der Praxis des Unterrichtsalltages und den Einstellungen der Lehrkräfte ergeben, von Anfang an beim Design der Ressourcen berücksichtigt werden.

Zwar liegen bereits einige Untersuchungen zu den Zielen und Absichten vor, die Lehrkräfte mit dem Einsatz von Experimenten im Unterricht verfolgen (Kerr, 1963; Beatty & Woolnough, 1982; Welzel et al., 1998; Swain, 2000). Allerdings bleibt zu klären, ob die in diesen Studien erhobenen Ziele im Planungsprozess des Unterrichts tatsächlich maßgeblich wirksam werden, oder ob es sich nicht vielmehr um Ex-post-Rationalisierungen handelt, die Lehrkräfte in Befragungen anführen, die aber tatsächlich unerheblich für die Entscheidung zum Einsatz von Experimenten im Unterricht sind (Osborne & Dillon, 2010, S. 112). Da insbesondere neuere Forschungsergebnisse (Jonas-Ahrend 2003; Karaböcek & Erb, 2016) nicht mit den Resultaten früherer Untersuchungen konvergieren, gibt es derzeit wenig Evidenz, dass die angeführten *Ziele* tatsächlich mit den entscheidungsleitenden *Gründen* zusammenfallen.

Das Forschungsvorhaben

Dies näher zu untersuchen ist Ziel einer Studie, die derzeit am CERN in Kooperation mit dem Institut für Didaktik der Physik der Goethe-Universität Frankfurt durchgeführt wird. Dabei werden die Perspektiven von Physiklehrkräften auf den Einsatz von Experimenten im Unterricht auf der Grundlage des *Reasoned Action Approach* (Fishbein & Ajzen, 2010) empirisch erforscht. Der *Reasoned Action Approach* dient hierbei als bewährtes Framework, das es erlaubt, entscheidungsleitende Überzeugungen gezielt zu identifizieren.

In einem zweiten Schritt werden die so gewonnenen Erkenntnisse genutzt, um neue Experimente zur modernen Physik unter expliziter Berücksichtigung der Planungsperspektive von Lehrkräften zu entwickeln und in einer Interventionsstudie zu testen. Erste Ergebnisse sind 2019 zu erwarten.

Literatur

- Beatty, J. W. & Woolnough, B. E. (1982). Practical Work in 11-13 Science: the context, type and aims of current practice. *British Educational Research Journal*, 8 (1), 23-30
- Fishbein, M. & Ajzen, I. (2010). Predicting and changing behavior. The reasoned action approach. New York
- Fonda, Carlo, Canessa, Enrique & Zennaro, Marco (Hg.) (2013): Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development. ITCF - The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics. 1. Aufl. Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (Hg.) (2016). Physik in der Schule. Hauptteil. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.. <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/schulstudie-2016/schulstudie-hauptteil.pdf> (11.10.2018)
- Jonas-Ahrend, G. (2003). Physiklehrvorstellungen zum Experiment im Physikunterricht. Berlin: Logos-Verlag
- Karaböcek, F. & Erb, R. (2016). Die Entscheidung für den Einsatz von Experimenten. GDCP-Proceedings
- Karaböcek, F. & Erb, R. (2015). Survey Experimente. Der Einsatz von Experimenten im Physikunterricht. GDCP-Proceedings
- Kerr, J. F., Boulind, H. F., Scott, D. W., Rolls, M. J. & Stafford, E. (1963). Practical work in school science. An account of an inquiry sponsored by the Gulbenkian foundation into the nature and purpose of practical work in school science teaching in England and Wales. 1. Aufl. Leicester: Univ. Pr.
- McGinness, L., Dührkoop, S., Jansky, A., Keller, O., Lorenz, A., Woithe, J. (2018). 3D Printable Quadrupole Ion Trap. DOI:10.5281/zenodo.1435244 <https://zenodo.org/record/1435244#.W8Q0TvI9iUm>
- Nemorin, S. & Selwyn, N. (2017). Making the best of it? Exploring the realities of 3D printing in school. *Research Papers in Education*, 32 (5), 578-595
- Osborne, J. & Dillon, J. (Hg.) (2010). Good Practice in Science Teaching. What research has to say. Second edition. Maidenhead: Open University Press
- Swain, J., Monk, M. & Johnson, S. (2000). Developments in science teachers' attitudes to aims for practical work: continuity and change. *Teacher Development*, 4 (2), 281-292
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & Aufschneider, Stefan von (1998). Ziele, die Lehrende mit experimentellem Arbeiten in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden- Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*, 4 (1), 29-44