Jürgen Paul
Jorge Groß
Universität Bamberg

Mehrdimensionale Lernwege beim Experimentieren und ihre Bedeutung für das Forschende Lernen

Experimentieren und Forschendes Lernen

Beim Forschenden Lernen vollziehen die Lernenden die Tätigkeit eines forschenden Naturwissenschaftlers nach. Dabei sollen sie den Prozess eines Forschungsvorhabens in seinen wesentlichen Phasen – von der Entwicklung der Fragen und Hypothesen über die Wahl und Ausführung der Methoden bis zur Prüfung und Darstellung der Ergebnisse in selbstständiger Arbeit oder in aktiver Mitarbeit – (mit)gestalten, erfahren und reflektieren (Huber, 2009). Das Denken und Handeln der Lernenden soll sich also an dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg orientieren. Forschendes Lernen beinhaltet daher häufig eine an das naturwissenschaftliche Experimentieren angelehnte Vorgehensweise, welche meist, aber nicht notwendigerweise, folgende Arbeitsschritte einschließt (Mayer, 2007; Pfeifer, 2003): (a) Formulierung einer Fragestellung, (b) theoriegeleitete Hypothesenbildung, (c) Planung eines Experiments, (d) Durchführung des Experiments mit Erfassung der Daten, (e) Aufbereitung und Auswertung der Daten, (f) Deutung und Diskussion der Ergebnisse vor dem Hintergrund der Hypothesen sowie Schlussfolgerung, (g) Kommunikation der gewonnenen Erkenntnisse. Diese Schrittfolge wird hierbei nicht als der einzig mögliche Weg angesehen und kann in Abhängigkeit der Aufgaben variieren. Die Rolle des Experimentierens in diesem Sinne zu verstehen, gehört dennoch zum basalen Verständnis des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses. Einen zentralen Schritt stellt hierbei die Hypothesenprüfung dar (f), weil nur auf ihrer Grundlage ein fachlicher Erkenntnisgewinn zu erwarten ist. Forschendes Lernen gilt als eine vielversprechende Möglichkeit, eine naturwissenschaftliche Grundbildung zu fördern („scientific literacy“), welche die typischen fachgemäßen Denk- und Arbeitsweisen einschließt (Baumert, 2013). Nachdem Forschendes Lernen aber nur selten im regulären Schulunterricht stattfindet (Bartos & Lederman, 2014; Bolte & Rauch, 2014; Minner, Levy & Century, 2010), bedarf es der Untersuchung besonderer Lerngelegenheiten, die vor allem das Forschende Lernen betonen, um die dabei gewonnenen Erkenntnisse dann auch auf den alltäglichen Schulunterricht übertragen zu können. Die in diesem Sinne von uns ausgewählte Lerngelegenheit ist der bundesweite Nachwuchswettbewerb *Jugend forscht*. Im Rahmen des Wettbewerbs betreiben die Teilnehmenden ihre eigenen kleinen Forschungsprojekte, wobei das Experimentieren meist im Mittelpunkt steht. Wir haben uns der Frage angenommen, inwieweit Forschendes Lernen in diesem Zusammenhang Lernprozesse zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg initiiert. Einen besonderen Fokus legten wir dabei auf die Lernwege zum Experimentieren.

Lernen als Rekonstruktion von Vorstellungen

Unser Verständnis von Lernprozessen basiert auf einem moderaten Konstruktivismus (Widodo & Duit, 2004) und dem revidierten Conceptual Change-Ansatz (Strike & Posner, 1992), der eine situierte Perspektive berücksichtigt, d.h. Lernen auf den Kontext bezieht (Stark, 2003). Wir verstehen Lernende als Individuen, welche ihr Wissen in einem aktiven und selbstgesteuerten Vorgang auf der Grundlage von vorhandenen Vorstellungen konstruieren. Sie nutzen dabei ihre Erfahrungen und daraus resultierende Denkwelten, die häufig lebensweltlichen Ursprungs sind. Vorstellungsänderungen verstehen wir demnach als Rekonstruktion von Vorstellungen (Kattmann 2008), wobei sie kontextbezogen in Abhängigkeit vom Lernenden weiterentwickelt, verändert oder neu gebildet werden können.

Methodischer Rahmen der Studie

Um die Lernprozesse zum Experimentieren zu analysieren, wurde ein qualitatives Untersuchungsverfahren in Form von leitfadengestützten, problemorientierten Einzelinterviews gewählt. Dies ermöglichte eine Reflexion der individuell erlebten Erfahrungen, womit die geäußerten Vorstellungen mit dem zugehörigen Kontext des eigenen Forschungsprojekts der Probanden in Beziehung gesetzt werden konnten. Um eventuelle Vorstellungsänderungen abzubilden wurde die Methode der retrospektiven Befragung zum Lernprozess angewandt (Paul, Lederman & Groß, 2016). Damit können die Vorstellungen, die ein Proband vor einem Treatment besitzt, zusammen mit den Vorstellungen, die nach einem Treatment auftreten, zum gleichen Zeitpunkt erhoben werden. Aus fünf verschiedenen Regionalwettbewerben der Jahre 2013 und 2014 in Bayern und Thüringen wurden nach dem Zufallsprinzip 57 freiwillige Probanden im Alter von 10-18 Jahren für die Interviews ausgewählt (Durchschnittsalter: 14,9 ± 2,6 Jahre; 28 männlich, 29 weiblich; Fachbereiche: 19x Biologie, 18x Chemie, 14x Physik, 2x Technik, 2x Geo- und Raumwissenschaften, 2x Mathematik/Informatik). Die Interviews dauerten jeweils ca. 30 Minuten und starteten in einem Zeitfenster von 30-60 Minuten nach dem Besuch der Wettbewerbsjury, welche die eingereichten Arbeiten der Probanden begutachtet hatte. Die Interviews wurden mittels eines Diktiergeräts aufgezeichnet und anschließend gemäß der Qualitativen Inhaltsanalyse aufbereitet und ausgewertet (Mayring, 2010). Die geordneten Schüleraussagen wurden in Tabellen zusammengefasst, wobei zwischen den retrospektiv benannten Vorstellungen und den aktuellen Vorstellungen unterschieden wurde. Durch den Vergleich dieser Vorstellungen konnten wir auf den Lernprozess in Form eines Konzeptwechsels, einer -änderung oder eines hinzukommenden Konzeptes schließen. Die abgeleiteten Konzepte wurden inhaltlich nochmals geordnet und gruppiert, womit sich fünf Überkonzepte ergaben.

Ergebnisse zu den Lernprozessen

Folgendes Beispiel beinhaltet typische Aussagen von Lernenden, wenn sie über ihren Lernprozess zum Experimentieren reflektieren (Sonja, 15 Jahre): „*Ich hatte vorher auf jeden Fall ein anderes Verständnis für Experimente. Ich fand das früher immer voll lustig, mit Explodieren und sowas. (...) Über die Naturwissenschaften habe ich gelernt, dass Experimente anders sein können, als man sie erwartet, dass Naturwissenschaften nicht immer so theoretisches Zeug sein müssen, sondern dass man eben auch selber Sachen belegen kann, dass es wirklich Spaß machen kann, dass man es verstehen kann. Und dass man noch viel erforschen kann, eben noch nicht alles erwiesen ist.*“ Früher hatte für Sonja ein Experiment Show- und Unterhaltungscharakter. Nach ihren Angaben ist ihr im Laufe des Wettbewerbs aber deutlich geworden, dass Experimente „anders als erwartet“ verlaufen können und sich mit ihnen „Sachen belegen“ lassen. Sonjas Vorstellungsänderung ist damit ein Ankerbeispiel für den Lernprozess von der Vorstellung, Experimente dienten vor allem der Unterhaltung, hin zu der Vorstellung, dass der Zweck des Experimentierens insbesondere im Erkenntnisgewinn liegt. Insgesamt wird das Experimentieren von den am Wettbewerb teilnehmenden Jugendlichen differenziert betrachtet. Die gefundenen Konzepte konnten wir fünf Überkonzepten zuordnen. Diese lauten: (I) Experimentieren bedarf eines schrittweisen Vorgehens. (II) Experimente haben einen Zweck. (III) Experimente brauchen Materialien. (IV) Ein Experiment erfordert Kontrolle. (V) Experimentieren benötigt Zeit. Vorstellungsänderungen vollzogen sich jeweils nur innerhalb dieser Überkonzepte, nicht zwischen ihnen. Durch das Verknüpfen der Vorstellungsänderungen konnten wir die charakteristischen Lernwege rekonstruieren (Paul, Schanze & Groß, 2016). Betrachtet man die Gesamtheit der Lernprozesse zum Experimentieren, so werden die vorgenannten Überkonzepte damit zu verschiedenen Lernwegdimensionen. Zur Vorgehensweise beim Experimentieren beinhaltet der zugehörige Lernweg beispielsweise fünf Stationen: (1) Naturwissenschaftliches Arbeiten heißt Experten fragen oder in Lehrbüchern nachlesen. (2) Für Experimente braucht man eine

Versuchsvorschrift. (3) Experimentieren bedeutet Varianten auszuprobieren. (4) Experimente denkt man sich selbst aus. (5) Zum Experimentieren gehört das Finden einer Fragestellung.

Mithilfe der retrospektiven Befragung zum Lernprozess konnten wir nicht nur Vorstellungsänderungen identifizieren, sondern auch die zugehörigen Ursache-Wirkungs-Beziehungen der zugrunde liegenden Lernprozesse näher beleuchten. Die Befragten nannten dabei zwei wesentliche Ursachen: Um bei dem Wettbewerb *Jugend forscht* teilzunehmen, mussten sie sich einen eigenen experimentellen Aufbau überlegen oder eine eigene Fragestellung oder ein eigenes Thema suchen. Die Jugendlichen mussten im Wettbewerb viel eigenständiger naturwissenschaftlich denken und handeln als im sonstigen schulischen Kontext, indem sie ihre Experimente nicht nur selbst, sondern auch ohne von außen gegebene Vorschrift durchführten, und dies, um eine bestimmte Frage zu beantworten. Als zweite Ursache benannten die Befragten die Möglichkeit zum individuellen Austausch. Während der Arbeit am eigenen Projekt konnten sich die Jugendlichen vorwiegend mit der betreuenden Lehrkraft sowie am Wettbewerbstag mit gleichgesinnten Teilnehmern, Besuchern oder der Jury über Ihre Arbeit austauschen. Damit hatten sie mehrfach die Möglichkeit, ihre Vorstellungen zu reflektieren und mit anderen zu diskutieren.

Schlussfolgerungen für das Forschende Lernen

Unsere Daten zeigen, dass Forschendes Lernen hauptverantwortlich für die gefundenen Lernprozesse beim Experimentieren und zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg ist. Die Jugendlichen arbeiteten selbstständig an ihrem eigenen Forschungsprojekt mit ihrer eigenen Fragestellung. Dies führte zu dem gewünschten tieferen Verständnis im Sinne einer naturwissenschaftlichen Grundbildung. Lernen findet dabei vernetzt auf verschiedenen Lernwegen statt – also multidimensional – mit den fünf Überkonzepten als Lernwegdimensionen. Forschendes Lernen allein ist jedoch nur eine notwendige Bedingung, keine hinreichende. Darüber hinaus erwies sich eine bewusste Reflexion der eigenen Arbeit im Austausch mit anderen als besonders lernförderlich. Hierbei spielen die Betreuungslehrkräfte eine entscheidende Rolle. Auch aus anderen Untersuchungen wissen wir, dass völlig freies Lernen ohne jegliche Instruktion, ohne Feedback oder Reflexion nur sehr bedingt funktioniert (Kirschner, Sweller & Clark, 2006). Welche Schlussfolgerungen können wir für das Forschende Lernen an der Schule ziehen? Experimente haben im naturwissenschaftlichen Unterricht unterschiedliche Funktionen (Barke & Harsch, 2011). Demgemäß sollten verschiedene Varianten von Experimentierformen Anwendung finden. Von der Lehrkraft sollte dabei aber so oft wie möglich die Erfahrung eines ergebnisoffenen Forschungsexperiments gestiftet werden. Die damit angebahnten Lernchancen sind bedeutungsvoll für ein naturwissenschaftliches Grundverständnis. Wir wissen, dass in der Schule nur sehr begrenzt Raum und Zeit für derartiges Forschendes Lernen bleibt. Daher bietet es sich in besonderem Maße an, Synergieeffekte zu nutzen. An zwei Drittel der bei *Jugend forscht* beteiligten Schulen existieren besondere Zusatzkurse, welche die Lernenden auf den Wettbewerb vorbereiten und sie bei ihrem Projekt begleiten (Paul, Carstensen & Groß, 2017). Diese bereits vorhandene Förderkultur an den Schulen sollte weiter ausgebaut werden und verstärkt auch unabhängig von externen Wettbewerben, auch für eine breitere Schülerschaft, genutzt werden. Neben solchen Zusatzkursen sind die in den meisten Bundesländern verankerten Seminar- oder Facharbeiten der gymnasialen Oberstufen eine Hauptquelle für *Jugend forscht* Arbeiten. Indem zusätzlich schulinterne Plattformen für einen Austausch und zur Reflexion der Arbeiten geschaffen werden, beispielsweise in Form einer Postermesse zur Vorstellung der ohnehin vorhandenen Fach- und Seminararbeiten einer Jahrgangsstufe, könnten weitere Synergieeffekte lernförderlich genutzt werden.

Literatur

Barke, H.-D., & Harsch, G. (2011). Chemiedidaktik Kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis. Springer-Verlag, 111-118.

Bartos, S.A., & Lederman, N.G. (2014). Teachers' knowledge structures for nature of science and scientific inquiry: Conceptions and classroom practice. Journal of Research in Science Teaching, 51(9), 1150-1184.

Baumert, J. (Ed.). (2013). PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Springer-Verlag.

Bolte, C., & Rauch, F. (Eds.). (2014). Enhancing Inquiry-based Science Education and Teachers' Continuous Professional Development in Europe: Insights and Reflections on the PROFILES Project and Other Projects Funded by the European Commission. Freie Universität Berlin.

Huber, L. (2009). Warum Forschendes Lernen nötig und möglich ist. In L. Huber (Ed.), Motivierendes Lehren und Lernen in Hochschulen: Vol. 10. Forschendes Lernen im Studium: aktuelle Konzepte und Erfahrungen (pp. 9-35). Bielefeld: UVW.

Kattmann, U. (2008). Learning biology by means of anthropomorphic conceptions? In M. Hammann, M. Reiss, C. Boulter & S. D. Tunnicliffe (Eds.), Biology in context: Learning and teaching for the twenty-first century (pp. 7-17). London: Institute of Education.

Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. Educational psychologist, 41(2), 75-86.

Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), Theorien in der biologiedidaktischen Forschung (S. 178-186). Berlin: Springer.

Mayring, P. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse. Weinheim: Beltz.

Minner, D.D., Levy, A.J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction – what is it and does it matter? Journal of research in science teaching, 47(4), 474-496.

Paul, J., Carstensen, C.H., & Groß, J. (2017). Das Förderumfeld bei Jugend forscht und wie Teilnehmende den Wettbewerb beurteilen. MNU-Journal (in press).

Paul, J., Lederman, N.G., & Groß, J. (2016). Learning experimentation through science fairs. International Journal of Science Education, IJSE, 38(15), 2367-2387.

Paul, J., Schanze, S., & Groß, J. (2016). Lernwege zum Experimentieren beim Wettbewerb Jugend forscht. Chemie konkret, CHEMKON, 23(4), 170-180.

Pfeifer, P. (2003): Was heißt „naturwissenschaftliches Arbeiten"? Naturwissenschaften im Unterricht Chemie 14 (76/77), S. 7–11.

Stark, R. (2003). Conceptual Change: kognitiv oder situiert? Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 17(2), 133-144.

Strike, K.A., & Posner, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice, 147-176.

Widodo, A., & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 10, 233-255.