

Kurzzusammenfassung

Als elementarer Bestandteil naturwissenschaftlicher Grundbildung bilden experimentelle Kompetenzen den Ausgangspunkt und das Ziel laborpraktischer Lehrveranstaltungen. Dennoch besteht gerade im Hinblick auf die Spezifika des Fachs Chemie und der Chemielehrer*innenbildung ein Forschungsdesiderat. Die vorliegende Studie leistet dahingehend einen Beitrag, indem unter den Leitfragen „Was sollen die Studierenden können?“ und „Wie können wir feststellen, was die Studierenden können?“ ein Kompetenzmodell und ein Prüfverfahren experimenteller Kompetenzen in ihrer gegenseitigen Bedingtheit konzipiert, evaluiert und angewendet werden. In Abgrenzung zu bestehenden Teilprozessansätzen wird dabei ein holistischer Ansatz zur Modellierung und Erhebung experimenteller Kompetenzen verfolgt, bei dem Wissensbestände, Teilfähigkeiten und Fertigkeiten der Studierenden im Kontext eines selbstgestalteten Experimentierprozesses integriert und konzertiert erhoben werden.

Dazu wird zunächst auf breiter Literaturbasis ein Kompetenzmodell entwickelt und mithilfe einer Expert*innenbefragung und Videographien praktischer Prüfverfahren untersucht, inwiefern es sich zur Abbildung experimenteller Kompetenzen eignet. Nach mehreren Rückkopplungsschleifen mit dem Prüfverfahren und umfangreichen Revisionen bildet das Modell anhand von acht Dimensionen mit insgesamt 38 Aspekten auf je vier Niveaustufen einen validen, reliablen und empirisch bewährten Orientierungsrahmen zum Erwerb experimenteller Kompetenzen in Laborpraktika. Auf Basis dieser analytischen Grundlage werden Kodierleitfäden für drei unterschiedliche experimentelle Problemtypen erprobt, formativ evaluiert und weiterentwickelt. Diese erlauben dann die Auswertung der in den Prüfverfahren erhobenen Daten in Form von videographierten Handlungen, Äußerungen, Befragungen, Laborprotokollen und Selbsteinschätzungen unter Berücksichtigung der Gütekriterien qualitativer Forschung. Zur Evaluation und Revision der Instrumente werden insgesamt die Daten aus 33 Prüfverfahren von 26 Studierenden aus vier Kohorten herangezogen.

Anhand von weiteren 26 Prüfverfahren von 12 Teilnehmenden werden die sich als hinreichend bewährt herausgestellten Instrumente anschließend eingesetzt, um anhand typischer Handlungsmuster generelle Stärken und Schwierigkeiten von Chemielehramtsstudierenden beim Experimentieren zu diagnostizieren. Sechs der Teilnehmenden nahmen dabei zu drei Erhebungszeitpunkten und zwei zu jeweils zwei Zeitpunkten teil, sodass im Rahmen einer Langzeitfallstudie auch Entwicklungsverläufe untersucht werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Studierenden in der Lage sind, in geöffneten Prüfverfahren eigenständig Fragestellungen und Hypothesen zu formulieren, geeignete Experimente zu planen, Beobachtungen zu tätigen, angemessen auszuwerten und ihre Ergebnisse adäquat zu beurteilen. Diesbezüglich kann ein deutlicher

Kompetenzzuwachs beim experimentierspezifischen Wissen, prozessbezogene Fähigkeiten und vor allem den Fertigkeiten über den Verlauf des Bachelor-Studiums hinweg festgestellt werden. Es zeigt sich allerdings auch, dass Fragestellungen und Hypothesen oftmals um ein bekanntes Experiment herum konstruiert werden und somit auf rein bestätigende, eindeutige Effekte abzielen. In dieser Hinsicht mangelt es den Studierenden eher an epistemischen Einsichten und auch dem notwendigen Strategiewissen, um den Erkenntnisprozess gezielt und bewusst zu gestalten, Variablen systematisch zu benennen und zu kontrollieren sowie Fehler und Einschränkungen zu reflektieren. Zudem werden Entwicklungspotentiale beim sicheren und verantwortungsvollen Agieren im Zusammenspiel aus sicherheitsbezogenem Wissen und Fertigkeiten, Informationsverarbeitung sowie einem Sicherheitsbewusstsein deutlich. In einem Ausblick werden daher abschließend erste Möglichkeiten der zielgerichteten Förderung experimenteller Kompetenzen auf Grundlage des Kompetenzmodells und Prüfverfahrens skizziert.

Abstract

As an elementary component of scientific literacy, experimental competences are considered both a possible outcome and a prerequisite for meaningful laboratory work in the chemistry laboratory. Nevertheless, there is still a research desideratum, especially with regard to the specifics of chemistry as a subject and with regard to chemistry teacher education. The present study makes a contribution in this respect by conceiving, evaluating and applying a model and an assessment for experimental competences in their mutual interdependency under the guiding questions “What do we want our students to know?”, and “How will we know that they know it?” In contrast to existing approaches that address processes atomistically, a holistic approach to modelling and assessing experimental competences is pursued. Therein students' knowledge, abilities and skills are integrated and assessed in a concerted manner in a self-designed experimental process.

To this end, a competence model is developed based on extensive literature research and evaluated with the help of a survey among experts and video recordings of practical performance assessments in order to find out how suitable it is for representing experimental competencies. After several feedback loops with performance assessments and extensive revisions, the model forms a valid, empirically validated framework of experimental competences in laboratory courses. It consists of eight dimensions with a total of 38 aspects graded at four levels each. Based on this analytical foundation, coding guidelines for three different types of experimental problems are tested, formatively evaluated and further developed. Through this the evaluation of the data collected in the test procedures in form of video graphed actions, comments, interviews, laboratory reports and self-assessments is made possible, taking into account the criteria of qualitative research. For the evaluation and revision of the instruments, data of 33 practical performance assessments from 26 students of four cohorts are used.

Based on further 26 performance assessments from 12 participants, the instruments, which turned out to be adequately proven, are then used to diagnose general resources and difficulties of chemistry-students. Six of the participants took part at three survey times and two at two points in time, so that developmental processes could also be examined in a long-term case study. The results show that the students are able to formulate questions and hypotheses, plan suitable experiments, make observations, evaluate them appropriately and adequately assess their results in an open inquiry setting. In this respect, a significant increase in competences in experiment-specific knowledge, process-related abilities and above all practical skills can be determined in undergraduate chemistry laboratory education. However, it is also evident that questions and hypotheses are often designed around a well-known experiment and thus aim for

purely confirmatory, unambiguous effects. In this respect, students tend to lack epistemic insights and strategic knowledge to design reflected and reflexive scientific inquiry, including systematic control-of-variables-strategy and reflexion of errors and limitations. Regarding laboratory safety results a need for improving the interaction between safety-related knowledge and skills, information literacy and safety awareness becomes obvious. Therefore, in an outlook possible interventions are outlined to address these and further demands.

1 Einleitung

Experimentelles Arbeiten ist das wesentliche Merkmal eines Chemiestudiums. Laborpraktika sind seit über 100 Jahren fester Bestandteil der Lehre an deutschen Universitäten (Fricke, 2018, S. 9) und nehmen auch weltweit eine zentrale Rolle im Studium des Fachs Chemie ein (Pullen, Thickett & Bissember, 2018a, S. 629): „In einem sind sich die Chemiefachbereiche einig: Chemie studieren [...] ohne Laborpraktika ist sinnlos“ (Zbikowski, 2020, S. 8; vgl. Reynders, Suh, Cole & Sansom, 2019, S. 2109). Bachelor-Studierende mit dem Studienprofil Lehramt an Haupt-, Real-, Sekundar-, und Gesamtschulen an der Universität zu Köln verbringen laut Modulhandbuch rund 43 % ihrer Kontaktzeit im Labor, wozu noch vor- und nachbereitende Übungen, Tutorien und das Anfertigen von Protokollen kommen (Reiners & Heithausen, 2014).

Ziel des Experimentierens in Laborpraktika ist die anwendungs- und transferfähige Vernetzung von Wissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten (Platova, 2017, S. 97) zur Nutzung der experimentellen Methode in variablen Situationen durch bedeutsames Lernen (*meaningful learning*) als Zusammenspiel *kognitiver*, *affektiver* und *psychomotorischer* Komponenten (George-Williams et al., 2019; Galloway & Bretz, 2015). Darin entspricht es der Auffassung Weinerts (2001) vom Kompetenzbegriff, sodass die Ziele laborpraktischer Bildung auch unter dem Erwerb experimenteller Kompetenzen subsumiert werden können (vgl. Pullen et al., 2018a). Inwiefern das personell, materiell und zeitlich enorm aufwendige Lernen im Labor geeignet ist, experimentelle Kompetenzen zu fördern, gilt allerdings – gerade im Bereich der Lehrer*innenbildung (Sonnenschein, 2019; Heidrich, 2017; Bauer, Reinhold & Sacher, 2020b; Kambach, 2018) – als unzureichend untersucht (Bretz, 2019, S. 194; Reynders et al., 2019; Gott & Duggan, 1996, S. 791; Terkowsky, May, Frye et al., 2020, S. 5; Pullen et al., 2018a; Abd-El-Khalick et al., 2004; Reid & Shah, 2007, S. 174; Bauer, Reinhold & Sacher, 2019).

Zumindest im Bereich der schulischen Bildung herrscht weitgehender Konsens, dass experimentelle Kompetenzen als elementarer Bestandteil naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung als gleichberechtigtes Bildungsziel neben dem traditionell im Mittelpunkt stehenden Fachwissen anzusehen sind (Wellnitz, 2012, S. 1). Damit stellen sie sowohl national als auch international ein zentrales Bildungsziel für den Chemieunterricht dar (Gut & Mayer, 2018; Schmitt, 2016, S. 56 f.; Meier, 2016, S. 1; Baur, 2018, S. 116; Kultusministerkonferenz [KMK], 2020; National Research Council [NRC], 2013; Scharf, 1984) und gelten als elementarer Bestandteil der naturwissenschaftlichen Grundbildung (Gut & Mayer, 2018, S. 121, Arnold 2015, S. 243; Gehlen 2016, S. 3–15), die wiederum als

Zweck naturwissenschaftlicher Bildung (Bybee, McCrae & Laurie, 2009, S. 865) schlechthin verstanden werden kann.

Experimentelle Kompetenzen gewinnen aber auch in der Lehrer*innenbildung eine besondere Bedeutung, da nicht nur bei Studierenden Defizite festgestellt wurden (Welzel et al., 1998; Wegner & Tiemann, 2012; Petr, 2018; Rehfeldt, 2017; Arndt, 2016; Platova, 2017; Kreiten, 2012; Kambach, 2018; Telser, 2019; Keen & Sevian, 2022; Bretz, 2019), sondern auch bei Schüler*innen (Schmitt, 2016; Atzert, John, Preisfeld & Damerau, 2020; Meier, 2016; Grube, 2010; Hild, 2020; Telser, 2019; Emden & Baur, 2017; Baur, 2018; Marschner, 2011) und fertig ausgebildeten Lehrkräften (Kambach, 2018; Telser, 2019; Stiller, 2015; Bewersdorff, Baur & Emden, 2020). Denn auch wenn Strübe, Tepner und Sumfleth (2017) keine direkten Zusammenhänge zwischen dem experimentierspezifischen Wissen der Lehrkräfte und dem Wissen über Experimentierprozesse der Schüler*innen finden konnten, zeigen viele Untersuchungen, dass nur domänenspezifisch kompetente Lehrkräfte Schüler*innen in diesem Bereich adäquat fördern können (Baumert et al., 2008; vgl. Altenburger, Staraschek & Wirtz, 2012; Emden & Baur, 2017, S. 8; Anthofer, 2017, S. 198; Wegner & Tiemann, 2012; Ekler, 2017, S. 5 ff.). Die Förderung experimenteller Kompetenzen zukünftiger Lehrer*innen ist somit ein wesentliches Desiderat der Chemielehrer*innenbildung (Baumert et al., 2008, S. 495; Hartmann, Upmeyer zu Belzen, Krüger & Pant, 2015, S. 47; Gesellschaft Deutscher Chemiker [GDCh], 1976, S. 42; Kultusministerkonferenz [KMK], 2019, S. 24). Sie ist darüber hinaus unerlässlich für die Gewährleistung der Sicherheit im Unterricht (Kultusministerkonferenz [KMK], 2014a, S. 22; GDCh, 1976), für das Verständnis der Empirie der (Natur-)Wissenschaften (Lederman, Abdel-Khalick, Bell & Schwartz, 2002), für Motivation (Becker & Hildebrandt, 2000) und erfüllt auch eine Sozialisationsfunktion (Höttecke, 2008b, S. 293; Keen & Sevian, 2022).

Die Förderung experimenteller Kompetenzen setzt allerdings Instrumente zur systematischen Analyse der vorhandenen Fähigkeiten und Fertigkeiten voraus (Blömeke, Gustafsson & Shavelson, 2015, S. 9; Rieß, 2012; Ferber, 2014; Wellnitz, 2012; Schecker, Neumann, Theyßen, Eickhorst & Dickmann, 2016, S. 48; Ekler, 2017, S. 64). *Ziel der vorliegenden Studie ist es deshalb, geeignete Instrumente zur Diagnose experimenteller Kompetenzen zu entwickeln und darauf aufbauend die Stärken und Schwierigkeiten der hier beteiligten Chemielehramtsstudierenden zu diagnostizieren.* Dies stellt eine Herausforderung dar, da zum einen das Lernen in Laborpraktika als besonders komplex gilt (Seery, Agustian & Zhang, 2019; Hofstein & Lunetta, 2004; Pullen et al., 2018a) und sich zum anderen auch die Untersuchung des dabei stattfindenden Experimentierens nicht minder anspruchsvoll gestaltet (Gut & Mayer, 2018). Der Prozesshaftigkeit sowohl des laborpraktischen Lernens als auch des Experimentierens wird

in dieser Studie durch ein Forschungsdesign Rechnung getragen, bei dem die Instrumente fortwährend evaluiert und weiterentwickelt werden (siehe Abschn. 4), um eine – wiederum formative – Diagnose (siehe Abschn. 2.4 und 7) zu ermöglichen. Um im Zuge dessen einen weitgehend umfassenden und damit realistischen Einblick in die experimentellen Kompetenzen der Studierenden zu erhalten, wurden Daten zudem im Rahmen einer qualitativen (Langzeit-)Fallstudie (Lamnek & Krell, 2016, S. 286) holistisch und konzertiert in Form von Videographien, Laborprotokollen und Selbsteinschätzungen erhoben und mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Mayring, 2015) ausgewertet (siehe Kapitel 4).

Zur Entwicklung der dazu notwendigen Instrumente werden die folgenden beiden, in sich verwobenen und sich gegenseitig bedingenden, Leitfragen verfolgt (siehe Abbildung 8, S. 42): „Was sollen die Studierenden können?“ und „Wie können wir feststellen, was die Studierenden können?“ (Bretz, 2012, S. 690). Ersterer wird sich genähert, indem zunächst die theoretischen Grundlagen des Lernens im Labor (siehe Abschn. 2.1) und die Besonderheiten der Chemielehrer*innenbildung (siehe Abschn. 2.2) herausgearbeitet, experimentelle Kompetenzen in diesem Sinne definiert und deren Elemente charakterisiert werden (siehe Abschn. 2.3). Darauf aufbauend werden unter Berücksichtigung des Forschungsstands (siehe Kapitel 3) Desiderata abgeleitet, Forschungsfragen formuliert (siehe Abschn. 3.2) und ein Kompetenzmodell entworfen (siehe Abschn. 5.1), welches in einem iterativ-zyklischen Prozess anhand von videographierten Experimentiersituationen und einer Expert*innenbefragung weiterentwickelt und schließlich auf seine Bewährung hin untersucht wird (siehe Abschn. 5.2).

Parallel zur Entwicklung des Kompetenzmodells wird unter Berücksichtigung der Eigenheiten der Diagnose experimenteller Kompetenzen (siehe Abschn. 2.4) ein Prüfverfahren gestaltet (siehe Abschn. 4.2). Dieses wird formativ dahingehend untersucht und weiterentwickelt, inwieweit es die angestrebte Diagnose experimenteller Kompetenzen ermöglicht (siehe Kapitel 6). In Kapitel 7 werden Kompetenzmodell und Prüfverfahren dann angewendet, um die Stärken und Schwächen der untersuchten Studierenden zu beschreiben und typische Strukturen, Muster und Entwicklungsverläufe (Lamnek & Krell, 2016, S. 285 ff.) exemplarisch herauszuarbeiten. Die bei der Diagnose implizite Absicht der Förderung (siehe Abschn. 2.4.1) wird am Ende der Arbeit ausblickhaft skizziert (siehe Abschn. 8.2), nachdem die Aussagekraft der Ergebnisse insgesamt in einem reflektierenden Fazit abschließend diskutiert wurde (siehe Abschn. 8.1).