

1 Einleitung

Die Befähigung der Studierenden zum wissenschaftlichen Denken und Arbeiten mit dem Ziel der Erkenntnisgewinnung ist ein wesentliches, allgemein für alle Studiengänge gültiges Ziel der Hochschulbildung (Schaper, Schlömer & Paechter, 2012). Für die Naturwissenschaften stellen dabei die Fähigkeiten und Fertigkeiten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens als domänenspezifische Form wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung eine wesentliche Kompetenz dar und lassen sich sowohl für Lehramtsstudierende als auch für Fachstudierende als Teil professioneller Handlungskompetenz beschreiben (Woitkowski, 2015). Naturwissenschaftliches Denken umfasst dabei in Anlehnung an Mayer (2007) das Wissen sowie die kognitiven und metakognitiven Fähigkeiten zur erfolgreichen Planung, Durchführung und Auswertung naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnungsprozesse. Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen beziehen sich auf die Methoden der Erkenntnisgewinnung, die je nach Forschungsgegenstand und Fragestellung die Methoden des Experimentierens, Vergleichens, Beobachtens, Ordnen oder die Anwendung von Modellen umfassen (Hartmann, Mathesius et al., 2015; Nehring, 2014; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010; Wellnitz & Mayer, 2013). In der Chemie werden die Erkenntnisse dabei überwiegend in der handelnden Auseinandersetzung mit chemischen Problemstellungen im Labor gewonnen. Doch inwieweit gelingt den Studierenden die Planung, Durchführung und Auswertung von experimentellen Erkenntnisgewinnungsprozessen im Labor und welche spezifischen Prozesse lassen sich dabei beobachten?

Dieser übergeordneten Frage wird mit der hier vorliegenden Studie systematisch nachgegangen. Dabei wurde durch die Verknüpfung von qualitativer Inhaltsanalyse mit Fallanalysen und der quantitativen Auswertung der gewonnenen Daten ein Ansatz gewählt, der die Erfassung von komplexen Prozessen wissenschaftlichen Denkens und Arbeitens in Realsituationen ganzheitlich und im Detail ermöglicht.

Angesiedelt ist dieses Forschungsvorhaben dabei im Bereich der Beforschung domänenspezifischer Kompetenzen im Hochschulbereich. Dieses Forschungsfeld ist im Vergleich zu der intensiven wissenschaftlichen Begleitung und Beforschung der Implementierung kompetenzorientierter Lehr- und Lernformate im schulischen Bereich noch kaum erschlossen. Obwohl es in den letzten Jahren zunehmend Bestrebungen gab, Kompetenzmodelle insbesondere für den Bereich der Lehrerbildung zu entwickeln (Hartmann, Mathesius et al., 2015), stellen Untersuchungen zur Individualdiagnostik und tiefergehenden Beschreibung von Fähigkeiten und Fertigkeiten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung von Studierenden bisher noch ein wenig beforschtes Feld dar (Hartmann, Upmeier zu Belzen, Krüger & Pant, 2015; Zlatkin-Troitschanskaia, Pant, Kuhn, Toepper & Lautenbach, 2016), wenngleich auch erste Arbeiten zu Experimentierprozessen von Lehramtsstudierenden der Biologie (Kambach, 2018) und Chemie (Arndt, 2016) vorliegen. Beide Studien fokussieren dabei das kausale Experiment als hypothetisch-deduktives Vorgehen der Hypothesenprüfung, so dass Kodiermanuale, die auf Grundlage dieser Modelle entwickelt wurden, sich dementsprechend nur zur Analyse von Experimentierprozessen eignen und eine feinere Analyse des Erkenntnisgewinnungsprozesses zunächst nicht zulassen. Im Sinne der Operationalisierung naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung als komplexer, wissensbasierter Problemlöseprozess werden für diese Studie auch die Erkenntnismethoden Beobachtung und Vergleich berücksichtigt, um die relevanten Erkenntnismethoden umfassend abzubilden.

Diese Arbeit leistet einen Beitrag zur Aufklärung prozessualer Strukturen naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens von Studierenden im Ausbildungslabor Chemie. Dazu wird mit dem Theorieteil dieser Arbeit zunächst ein umfassender Überblick über die Struktur und Methoden naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung gegeben. Abgerundet wird dieser breite Überblick mit der Beleuchtung des Konzepts aus erkenntnistheoretischer Perspektive. Im Anschluss wird aufbauend auf den Erkenntnissen aus dem Theorieüberblick ein Modell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung für diese Studie abgeleitet, welches sich als Grundlage für die Untersuchung naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens in Realsituationen eignet. Um die Eignung des Modells in Bezug auf die zu untersuchenden Populationen von Fach- sowie Lehramtsstudierenden zu beleuchten, wird dann ein Überblick über die Bedeutung von und den Diskurs zu Erkenntnisgewinnungskompetenzen in den jeweiligen Studiengängen gegeben. So wird die Bedeutung der Erkenntnisgewinnung als Teil des Professionswissen sowohl für Fachstudierende als auch für Lehramtsstudierende der Chemie abgeleitet und damit sowohl die Relevanz dieser Studie als auch die Eignung des entwickelten Modells zur Beschreibung der Prozesse naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens begründet. Abschließend wird ein Theorieüberblick über den Prozess und die Prozessdiagnostik naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens gegeben, der die Notwendigkeit der kategorialen Abbildung dieser Teilprozesse über ein ausführliches Kodiermanual unterstreicht und somit sowohl für das Design als auch für das Diagnoseinstrument in dieser Studie wesentliche Gestaltungsprinzipien identifiziert. Aufbauend auf den im Theorieteil identifizierten Desiderata werden dann leitende Fragestellungen für diese Studie abgeleitet, die gleichzeitig strukturgebendes Element der Arbeit sind, indem sie Leitfragen für einen ersten und einen zweiten empirischen Teil vorgeben. Diese Aufteilung ermöglicht es zum einen, für jeden Teil einen spezifischen Überblick über die aktuellen Befunde und Erkenntnisse der Forschung zu geben und darauf aufbauend spezifische Fragestellungen zu entwickeln, zum anderen lassen sich die empirischen Teilstudien so auch isoliert lesen und nachvollziehen. Die Nummerierung der Kapitel erfolgt für die gesamte Arbeit durchlaufend, Orientierung bieten die Kurztitel in der Kopfzeile der jeweiligen Seite. Ziel des ersten empirischen Teils ist die theoriegeleitete Entwicklung eines reliablen Instruments zur engmaschigen Beschreibung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsprozesse von Studierenden in Realexperimentierumgebungen. Dies geschieht unter strenger Berücksichtigung der Qualitätskriterien qualitativer Forschung.

Im zweiten Teil dieser Studie werden zunächst relevante Merkmale zur Beschreibung des Prozesses naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens abgeleitet, um diese dann auf ihre Eignung zur aufgabenunabhängigen Beschreibung des Prozesses hin zu untersuchen. Dabei werden die Untersuchungskriterien sowohl induktiv als auch deduktiv abgeleitet, so dass die Ergebnisse umfassend gegenüber möglicher Nichtberücksichtigung relevanter Aspekte abgesichert werden. Unter Berücksichtigung dieser Merkmale werden dann aus jeder Kohorte exemplarisch in Bezug auf die Merkmale bedeutsame Fälle ausgewählt und einer ausführlichen qualitativen Fallanalyse unterzogen.

Die Ergebnisse dieser Studie geben Hinweise auf Präkonzepte und fehlerhafte Strategieanwendungen, wie sie bisher nur für Schülerinnen und Schüler umfassend beschrieben wurden. Weiterhin geben sie Anhaltspunkte für eine ganzheitliche Beschreibung der über das Kodiermanual erfassten Prozesse des Experimentierens, Beobachtens und Vergleichens als Problemlösestrategien experimenteller naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im Labor. Abschließend werden Implikationen für eine verbesserte universitäre Ausbildung von Fach- und Lehramtsstudierenden abgeleitet.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung

Grundlegend bezieht sich der Begriff *naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung* auf die Struktur, das Verständnis und die Methoden der Gewinnung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse (Abd-El-Khalick et al., 2004; Flick & Lederman, 2004). In der internationalen Forschung charakterisieren die Konzepte *Scientific Inquiry* und *Nature of Science* die kognitiven Dimensionen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (Abd-El-Khalick et al., 2004; National Research Council, 1996). *Scientific Inquiry* bezeichnet dabei den Prozess empirischer, naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung, während *Nature of Science* sich auf domänenspezifische Überzeugungen, Vorstellungen und das Wissen über den Prozess naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnungsprozesse bezieht (Abd-El-Khalick et al., 2004; Flick & Lederman, 2006; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002).

Der Begriff naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung wurde für die Verwendung im Schulbereich operationalisiert, ebenso verhält es sich für die internationalen Entsprechungen *Nature of Science* und *Scientific Inquiry*, wobei *Scientific Inquiry* eine breitere Begriffspluralität aufweist, wie im folgenden Kapitel dargelegt wird. Im Zuge der Beforschung von Fähigkeiten und Fertigkeiten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung wird der Prozess der Erkenntnisgewinnung als wissenschaftsmethodische Handlungskompetenz (für eine ausführliche Ableitung vergleiche Heidrich, 2017, S. 14) bzw. als Kompetenzbereich in den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss beschrieben (KMK, 2005a, 2005b, 2005c). Die Konzepte *Scientific Inquiry* und *Nature of Science* sind eng verbunden und auf empirischer Ebene nicht immer trennscharf, zumal empirisch bestätigt ist, dass der experimentelle Erkenntnisgewinnungsprozess eines Individuums auch von domänenspezifischen epistemologischen Überzeugungen des Individuums beeinflusst wird (Carey, Evans, Honda, Jay & Unger, 1989; Hofer & Pintrich, 1997). Da in dieser Studie die prozessualen und wissenschaftsmethodischen Fähigkeiten und Fertigkeiten im Fokus der Untersuchung stehen, wird auf die Dimension *Nature of Science* nicht vertieft eingegangen.

2.1.1 Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung und *Scientific Inquiry*

Scientific Inquiry beschreibt den Prozess empirischer, wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. So hat das National Research Council [NRC] (2002) eine allgemeine, transdisziplinäre Definition von *Scientific Inquiry* in Form von sechs „interrelated, but not necessarily ordered [...], principles of inquiry“ (NRC, 2002, S. 52) aufgestellt, die generelle Richtlinien guter (empirischer) Forschung darstellen, angefangen beim Aufstellen einer relevanten, empirisch überprüfaren Fragestellung bis hin zur Veröffentlichung der Forschungsergebnisse, um sie über die Kritik durch die wissenschaftliche Community zu validieren (ebd., S. 52). Diese allgemeine Definition von *Scientific Inquiry* lässt sich noch fachspezifisch ausschärfen, da jede Disziplin ihre eigenen Fachmethoden entwickelt hat, um Untersuchungen zum Zwecke des Erkenntnisgewinnes zu nutzen (Klahr, 2000).

Die Bildungsforschung hat sich den Begriff *Scientific Inquiry* ab den 1950er Jahren zunehmend angeeignet, um ein Konzept für einen Naturwissenschaftsunterricht zu beschreiben, bei dem neben dem Fachwissen erstmals auch Wissen über die Natur der Naturwissenschaften und prozessuales Wissen über Erkenntnisgewinnung in den Unterricht einbezogen werden sollte

(Schwab, 1962). In dessen Folge wurde Scientific Inquiry in den 1970er Jahren der zentrale Begriff der US-amerikanischen Bildungsreformen. Es folgte eine intensive Beforschung des Konzeptes Scientific Inquiry in der nordamerikanischen naturwissenschaftsdidaktischen und bildungstheoretischen Forschung (Abd-El-Khalick et al., 2004; Chiappetta, 1997). Die Definition, die der NRC in den US-amerikanischen Bildungsstandards veröffentlichte, war dabei für den Großteil der Forschungsprojekte maßgebend:

Scientific inquiry refers to the diverse ways in which scientists study the natural world and propose explanations based on the evidence derived from their work. Inquiry refers also to the activities of students in which they develop knowledge and understanding of scientific ideas, as well as an understanding of how scientists study the natural world. (NRC, 1996, S. 23)

Diese Definition umfasst zwei Bedeutungsebenen von Scientific Inquiry: Inquiry als Unterrichtsmethode und Inquiry als Verständnis des Erkenntnisgewinnungsprozesses als Unterrichtsziel (Abd-El-Khalick et al., 2004; Bybee, 2000; Wheeler, 2000). Bybee expliziert noch eine dritte Bedeutungsebene, die in der obigen Definition allerdings schon mitschwingt: Scientific Inquiry wird definiert als praktische, handlungsorientierte Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Durchführung naturwissenschaftlicher Untersuchungen (Bybee, 2000). Mit der Diskussion um eine Lehrkräfteausbildung, die den Anforderungen der in den neuen Curricula beschriebenen Erkenntnisgewinnungskompetenzen gerecht wird, ist auch eine vierte Bedeutungsebene des Begriffs Scientific Inquiry in den Fokus der Forschung gerückt: "learning to teach Scientific Inquiry" (Gyllenpalm & Wickman, 2011a). Diese vier Ebenen des Begriffs Scientific Inquiry haben sich in der empirischen Forschung weitgehend etabliert. Für die jeweilige (empirische) Studie und den jeweiligen Anwendungskontext wird die jeweils verwendete Dimension dann jedoch oft neu ausgeschärft, gedehnt oder enger gefasst, so dass eine große Begriffs- und Bedeutungspluralität besteht (Wheeler, 2000).

Für diese Arbeit wird Bezug genommen auf die Bedeutungsebene, die Scientific Inquiry als praktische, handlungsleitende Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Durchführung naturwissenschaftlicher Untersuchungen beschreibt. Diese Bedeutungsebene umfasst sowohl das Wissen über die in den Naturwissenschaften fachübergreifend gültigen Teilprozesse naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung als auch die konkrete Anwendung dieses Wissens in naturwissenschaftlichen Problemkontexten.

2.1.2 Modellierung von Prozessen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung

Generell ist mit dem Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ein kriteriengeleitetes, planmäßiges Vorgehen verbunden. Erkenntnisgewinnungsprozesse werden in der kognitionspsychologischen, der fachdidaktischen und der wissenschaftstheoretischen Forschung (stradition) unterschiedlich modelliert und beforscht. Im Folgenden wird ein Überblick über für diese Arbeit besonders relevanten Positionen und Modelle gegeben.

2.1.2.1 Modell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung aus kognitionspsychologischer Perspektive

Aus kognitionspsychologischer Perspektive kann das naturwissenschaftliche Denken und Arbeiten im Labor zum Zwecke der Erkenntnisgewinnung als komplexer, wissensbasierter Problemlöseprozess verstanden werden (Gott & Duggan, 1995; Hammann, 2007; Klahr & Dunbar, 1988). Ein Problem ist dabei definiert als Barriere zwischen einem momentanen Ist-Zustand