

I Einleitung

Das Experiment ist für den naturwissenschaftlichen Unterricht von besonderer Bedeutung. Ausgehend von einer konstruktivistischen Sichtweise des Lernens ist die aktive Rolle der Lernenden bei einer experimentellen Auseinandersetzung hervorzuheben. Schülerinnen und Schüler sollen gemäß dem Kernlehrplan Chemie für Nordrhein-Westfalen

Fähigkeiten und methodische Fertigkeiten [...] [erlangen], chemische Fragestellungen zu erkennen, diese mit Experimenten und anderen Methoden hypothesengeleitet zu untersuchen sowie Ergebnisse zu gewinnen und zu verallgemeinern.“ (MSB NRW 2014, S. 18)

In dieser grundlegenden Beschreibung des Kompetenzbereiches *Erkenntnisgewinnung* spiegelt sich neben der besonderen Rolle des Experiments vor allem die Erwartung wider, dass Lernende den experimentellen naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess eigenständig erarbeiten können. Im obigen Zitat wird das Formulieren von Fragen und Hypothesen hervorgehoben, diese Tätigkeiten lassen sich mit der Planung eines Experiments zur Überprüfung der Hypothese der präexperimentellen Phase zuordnen (Neber & Anton 2008). Neber und Anton (2008) heben die Bedeutung dieser Phase hervor, zeigen aber gleichzeitig auf, dass sie im unterrichtlichen Kontext oftmals vernachlässigt wird. Auch aus den PISA-Ergebnissen aus dem Jahr 2015 geht hervor, dass die eigenständige Entwicklung von Experimenten im Vergleich zu strukturierten Laborexperimenten und dem Testen eigener Ideen eine nachrangige Rolle einnimmt (Schiepe-Tiska, Simm & Schmidtner 2015). Diese Beobachtungen spiegeln sich auch in der folgenden Aussage einer Schülerin, die im Rahmen einer Erprobung im Projekt getätigt wurde.

„Ich fand's schon cool das mal zu machen, vor allem, weil das Labor hier einfach was anderes kann als in der Schule und man durfte mal was frei machen, ohne dass da ein Lehrer steht so darfst du es aber nicht machen [...] und das finde ich eigentlich schon cool, weil man sonst in der Schule schlägt man 's Chemiebuch aus, auf, ok, dieser Versuch, mache dies und was und jenes, am Ende soll irgendwas herauskommen und wenn das nicht funktioniert weißt du, ja, da habe ich irgendwas falsch gemacht – schade. Und hier musste man halt eben einmal komplett von vorne selber überlegen...“ (Schule1_Tag1_Gr3_blau).

Einen Rahmen, um diesem Problem der fehlenden Auseinandersetzung mit präexperimentellen Phasen begegnen und zugehörige Kompetenzen vertiefen zu können, kann ein außerschulischer Lernort bieten. Schülerlabore¹ zeichnen sich zumeist dadurch aus, dass eine intensive experimentelle Auseinandersetzung im Vordergrund des Besuches steht

¹ Der Begriff *Schülerlabor* wird zur Bezeichnung außerschulischer naturwissenschaftlicher Lernorte verwendet. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass diese nicht geschlechtergerechte Bezeichnung in dieser Arbeit verwendet wird, da es sich um eine feststehende und etablierte Bezeichnung handelt. Ausdrücklich werden mit dieser Bezeichnung außerschulische Lernangebote für Lernende jeden Geschlechts gleichermaßen beschrieben.

und dafür ausreichend Zeit verfügbar ist. Schülerlaborbesuche können das schulische Angebot dementsprechend ergänzen. Um der Individualität der Lernenden gerecht werden zu können und eigenständige Herangehensweisen und Lernwege sowie Gestaltungsspielräume schaffen zu können, bieten sich offene Arbeitsformen an (F. Peschel 2006). Insbesondere in naturwissenschaftlichen Lehr-Lernkontexten gehen mit offenen Lernarrangements bzw. mit offenem Experimentieren aufgrund der Komplexität der Situation hohe Anforderungen an die Lernenden und die Gefahr von Überforderung einher (Mayer & Ziemek 2006). Um keine schulischen Inhalte vorwegzunehmen und eine authentische experimentelle Erarbeitung zu ermöglichen, bietet es sich an, ein curricular innovatives Thema zu bearbeiten.

Das skizzierte Problem bildet den Ausgangspunkt für den Forschungsprozess. Das Forschungsprojekt ist gemäß dem *Design-Based Research* Ansatz (DBR) angelegt. Dementsprechend lässt sich der Projektverlauf grob in die Phasen *Framing*, *Design-Experiment* und *Re-Framing* untergliedern (Gravemeijer & Cobb 2006; Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer & Schauble 2003; Allert & Richter 2011). In der *Framing-Phase* wurde das Problem konkretisiert und vor dem Hintergrund des Forschungsstandes eingeordnet, es erfolgten Fragen- und Zielformulierung. Diese Arbeit geht folgender grundlegender Frage nach:

*Wie kann es Schülerinnen und Schülern ermöglicht werden
zu einem curricular innovativen Thema im Schülerlabor
möglichst offen zu experimentieren?*

Gemäß dem DBR-Ansatz geht mit der Formulierung dieser übergeordneten Forschungsfrage ein übergeordnetes Ziel einher. Entsprechend besteht das übergeordnete Ziel dieser Arbeit darin, eine solche Schülerlaboreinheit zu entwickeln, zu erproben und zu evaluieren. Das *Design-Experiment* stellt die (Weiter-)Entwicklung einer solchen Konzeption einer Schülerlaboreinheit in den Fokus. In insgesamt fünf Mesozyklen wurde die Schülerlaboreinheit schrittweise entwickelt und erprobt, zudem erfolgen vertiefende Analysen.

Zunächst stand dabei die *Konzeption und Gestaltung (K)* der Schülerlaboreinheit für Lernende der EF und Q1 im Fokus. Dabei wurden grundlegende Elemente der Konzeption entwickelt. Ausgehend von einer Konkretisierung der dieser Arbeit zugrundeliegenden Interpretation von Offenheit wurde die Stoffklasse der Cyclodextrine und deren Wirt-Gast-Chemie als inhaltlicher Schwerpunkt festgelegt und davon ausgehend Einstiege in offene Experimentiersituationen erarbeitet. Zur Unterstützung der Lernenden wurden unterschiedliche Maßnahmen ausgearbeitet: ein Experimentierzyklus als Strukturierungshilfe, ein Tippsystem zur individuellen situativen Unterstützung und die stetige Begleitung von Betreuungspersonen im gesamten Experimentierprozess.

Anschließend wurde die *Umsetzung und konkrete Ausgestaltung (U)* der Experimentiersituation durch die teilnehmenden Lernenden untersucht. Neben der Ausgestaltung der Ex-

perimentierzeit hinsichtlich der Phasen des Experimentierzyklus wurden die Unterstützung durch Tipps, Situationen, die einen Anlass für Tipps darstellen, Reaktionen auf Tipps und die experimentellen Ansätze der Lernenden untersucht. Es folgte die Auswertung der *Evaluation (E)* durch Betreuungspersonen und Lernende.

Während bei der *Konzeption und Gestaltung (K)* Daten und Analysen aus den ersten vier Mesozyklen, inklusive der *Vorerprobung* innerhalb des vierten Mesozyklus, eingebracht wurden, wurden für die Analyse der *Umsetzung und konkreten Ausgestaltung (U)* sowie der *Evaluation (E)* Daten aus dem fünften Mesozyklus, die im Rahmen der *Haupterprobung* gewonnen wurden, vertiefend untersucht. Dabei sind die Videoaufnahmen der Experimentiersituationen von besonderer Bedeutung. Sie wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse hinsichtlich unterschiedlicher Analyseschwerpunkte untersucht. Ergänzend wurden Interviewtranskripte, Fragebögen und Artefakte der Lernenden analysiert.

Gemäß DBR ist ein praktischer und theoretischer Output eines Forschungsprojektes intendiert (Reinmann 2005). Im Rahmen des Re-Framings erfolgte eine Theoriebildung hinsichtlich der Frage „*What works and how does it work?*“ (Cobb et al. 2003). Dabei werden die Analysen aller Mesozyklen zusammengeführt. Sie ermöglichen eine Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage. Anhand der zusammenfassenden Analyse lassen sich offene Experimentiersituationen im Rahmen der Schülerlaboreinheit charakterisieren. Darüber hinaus lassen sich aus der Untersuchung von Gelingensbedingungen für diese Konzeption Folgerungen ableiten, die über den Schülerlaborkontext hinaus von Bedeutung sein können.

Zur Steigerung von Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit wird in dieser Arbeit zunächst der *theoretische Rahmen* dargestellt (s. Kap. II). Daran anschließend wird der *methodische Rahmen* (s. Kap. III) thematisiert. Dabei wird zunächst der DBR-Ansatz theoretisch betrachtet, es folgt eine Darstellung der für diese Arbeit relevanten Methoden. Nachfolgend wird die *Entwicklung, Erprobung und Evaluation* (s. Kap. IV) behandelt. Dabei wird das Design des Forschungsprojektes vorgestellt, es schließt sich eine Konkretisierung hinsichtlich der Framing-Phase (s. Kap. 10), der ausdifferenzierten Forschungsfragen (s. Kap. 11) des Design-Experiments (s. Kap. 12) mit den Schwerpunkten Konzeption und Gestaltung (K) (s. Kap. 12.3), Umsetzung und konkrete Ausgestaltung (U) (s. Kap. 12.4) sowie Evaluation (E) (s. Kap. 12.5) und des Re-Framings (s. Kap. 13) an. Schließlich folgen eine Zusammenfassung und ein Ausblick (s. Kap. V).

II Theoretischer Rahmen

1 Lerntheoretische Grundlagen

„Ich mach‘ mir die Welt, widdewidde wie sie mir gefällt.“ (Pippi Langstrumpf)

In diesem Zitat der zentralen Figur aus einer bekannten Kinderbuchreihe von Astrid Lindgren spiegeln sich Grundannahmen einer konstruktivistischen Lernauffassung. Im Zentrum eines aktiven Konstruktionsprozesses stehen die Lernenden, welche „ihre Wahrnehmungen in Abhängigkeit von ihrem Vorwissen, mentalen Strukturen und bestehenden Überzeugungen interpretieren“ (Streller, Bolte, Dietz & Noto La Diega 2019, S. 89). Lernen wird dabei als Veränderung von bereits vorhandenen Konzepten verstanden (Möller 2013). Der Prozess, in dem Wissen aufgebaut und Bedeutungen konstruiert werden, lässt sich als konstruktiv, kumulativ, selbstgesteuert, situativ, individuell unterschiedlich, abhängig vom Vorwissenstand und von der Interaktion mit anderen geprägt beschreiben (Lipowsky 2015; Möller 1999). Es gilt zu berücksichtigen, dass in Abhängigkeit von der deutenden Person unterschiedliche Bedeutungen resultieren, die in Anbetracht der jeweiligen Erfahrungsbasis als sinnvoll eingeordnet werden können (Möller 2013). Das Wissen einer Lehrperson kann in einer Lehr-Lernsituation unter Umständen das Verständnis für die Sichtweise der Lernenden erschweren; Kenntnisse über Voraussetzungen und Vorstellungen der Lernenden sind grundlegend, um Denkweisen und mögliche Schwierigkeiten nachvollziehen zu können (Möller 2013). Lehrpersonen sollten Lernende ermutigen, „die Welt mit eigenen Augen zu sehen, zu deuten und zu ergründen“ (Möller 2013, S. 59). Als Kerngedanken der konstruktivistischen Lernauffassung stellt Möller die eigene kognitive Aktivität der Schülerinnen und Schüler heraus.

Die zentrale Bedeutung einer aktiven Rolle der Lernenden bei der Gestaltung ihrer eigenen Entwicklung findet sich in Piagets Theorie der kognitiven Entwicklung der Lernenden (Vierhaus & Lohaus 2018). Es wird davon ausgegangen, dass Lernende daran interessiert seien, sich Wissen und Erkenntnisse anzueignen, während die Umgebung Anregung und Unterstützung liefern könne. Damit tragen die Lernenden aktiv zu ihrer Entwicklung bei (Vierhaus & Lohaus 2018). Eine konstruktivistische Sichtweise von Lernen knüpft unter anderem an Piagets Ausführungen an (Möller 2013). Eine weitere, wichtige Komponente dieser Sichtweise, die soziale Interaktion und deren Bedeutung für die kognitive Entwicklung, spiegelt sich in Vygotskys Ausführungen (Möller 2013). Vygotsky sieht die sprachliche Interaktion mit anderen, kompetenteren Personen als Voraussetzung für die kognitive Entwicklung von Kindern und Jugendlichen, wie Möller darstellt (2013). Auf diesen Kerngedanken aufbauend lässt sich die Entwicklung eines pragmatischen oder moderaten

Konstruktivismus in der Didaktik beschreiben (Möller 1999). Grundlegend für diese Sichtweise ist die Auffassung, dass Lernen aus der Veränderung bestehender Strukturen besteht. Durch eine Erweiterung, Differenzierung oder Umstrukturierung vorhandener Strukturen können neue Wissensstrukturen aufbauen, untereinander mit bestehenden Strukturen verknüpfen und anwenden (Möller 1999).

Auf konstruktivistischen Annahmen beruhende Lernumgebungen zeichnen sich durch eine schülerzentrierte Herangehensweise aus (Lefrançois 2015). Ein hohes Maß an Selbststeuerung der Lernenden zeigt sich im situierten Lernen, bei dem komplexe Aufgaben und authentische Probleme kontextgebunden bearbeitet werden, sowie beim problemlösenden Lernen (Lipowsky 2015). Auch offene Unterrichtsformen werden als Formen konstruktivistisch orientierten Unterrichts beschrieben, wie Lipowsky (2015) ausführt. Im problemorientierten Unterricht, einem für den naturwissenschaftlichen Unterricht zentralen Unterrichtskonzept, lassen sich Merkmale des Konstruktivismus berücksichtigen (Streller et al. 2019). Möller (1999) fasst folgende Kennzeichen für moderat konstruktivistische Lehr-Lernsituationen zusammen:

- *die Schaffung anregender Lernumgebungen mit der Möglichkeit zum selbstständigen Lernen [...]*
- *die situative Einbindung der Fragen, Aufgaben und Problemstellungen*
- *die Förderung der Kommunikation und Kooperation unter den Schülern*
- *das Einräumen von Zeit für individuelle Lernwege, für Fehler und Umwege*
- *die Wertschätzung und Duldung individueller Denkwege und Lösungen*
- *metakognitive Anteile, insbesondere die Reflexion des eigenen Lernweges*
- *begründete Methodenvielfalt [...]*
- *den Einsatz von allgemeinen und individuellen Hilfen bei Bedarf*
- *eine didaktische Strukturierung der Lernsituation mit einer begründeten Abfolge von offenen und strukturierten Phasen*
- *eine Berücksichtigung sach- und innenbedingter Lernschwierigkeiten bei der Auswahl der Zugänge und Strukturierungshilfen. (S. 133, 134)*

Der Lehrperson wird im Rahmen konstruktivistisch angelegter Lernsettings eine eher indirekte Rolle zuteil, denn sie soll bedarfsorientiert eingreifen (Möller 1999; Lipowsky 2015). Ihre Aufgabe ist es, Lerngelegenheiten zu schaffen, die eine Konstruktion von Wissen stimulieren und unterstützen (Vierhaus & Lohaus 2018). Die Notwendigkeit von Steuerungs- und Strukturierungshilfen hebt Bliss (1996) hervor; vor dem Hintergrund von Vygotskys Theorie der Zone der nächsten Entwicklung sollen den Lernenden Hilfestellungen in angemessener Weise angeboten werden, um individuelle Lernprozesse zu ermöglichen (Bliss 1996). Als grundlegend ist die Aktivität der Lernenden in ihrem eigenen, individuellen Konstruktionsprozess hervorzuheben (Möller 1999).

2 Experimente

Chemie ist eine Wissenschaft, die sich mit der Charakterisierung, Zusammensetzung und Umwandlung von Stoffen befasst. In dieser Definition kommt der Charakter der Chemie allerdings nur unzureichend zum Ausdruck, denn wie in jeder Wissenschaft geht es nicht einfach darum, Wissen zu akkumulieren. In den Naturwissenschaften stimuliert jede neue Anschauung neue Experimente und Beobachtungen, die ihrerseits ein verfeinertes Verständnis und die Entwicklung neuer Anschauungen zur Folge hat. (Mortimer & Müller 2015)

In dieser Definition aus einem Grundlagenlehrbuch, welches Basiswissen der Chemie zusammenfasst, wird die besondere Rolle von Experimenten für die Chemie als Wissenschaft deutlich. Experimente leisten auch im unterrichtlichen Kontext einen wichtigen Beitrag zur naturwissenschaftlichen Grundbildung, wie in Kapitel 2.1 skizziert wird. Im Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung*, der einen von vier in den nationalen Bildungsstandards und den Kernlehrplänen verankerten Kompetenzbereichen darstellt (z. B. MSB NRW 2014), spiegelt sich die Bedeutung des Experiments wider. Für die Unterrichtsgestaltung machen die im Kernlehrplan festgelegten Kompetenzerwartungen insbesondere in diesem Kompetenzbereich deutlich, welche Erwartungen und Anforderungen mit der experimentellen Herangehensweise im Chemieunterricht verknüpft sind (s. Kap. 2.2). Für den Einsatz von Experimenten bieten sich vielseitige Möglichkeiten, die auch in der fachdidaktischen Forschung ausführlich thematisiert werden. Ein Abriss dazu wird in Kapitel 2.3 dargestellt. Dieser erhebt vor dem Hintergrund der Breite und Vielzahl zugehöriger Veröffentlichungen keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit, er dient im Rahmen dieser Arbeit auch zur Einordnung und Darstellung der „Ausgangssituation“. Oftmals werden unterschiedliche Schritte oder Phasen angegeben, um den Ablauf des Experimentierprozesses zu beschreiben. Mit ausgewählten Darstellungen dazu befasst sich Kapitel 2.4.

2.1 Naturwissenschaftliche Grundbildung und Experimente

Naturwissenschaftliche Grundbildung oder *Scientific Literacy* ist insbesondere durch die PISA-Ergebnisse und deren Diskussion in den Fokus der naturwissenschaftsdidaktischen Auseinandersetzung gerückt. Eine grundlegende Definition, die naturwissenschaftliche Grundbildung hinsichtlich der Fähigkeit, Fragen erkennen und Schlussfolgerungen aus Belegen ziehen zu können, welche entscheidend für das Treffen und Verstehen von Entscheidungen in der natürlichen und durch den Menschen beeinflussten Welt sind (Prenzel, Carstensen, Rost & Senkbeil 2001), beschreibt, wurde im Rahmen von weiteren PISA-Untersuchungen ausdifferenziert.

Damit beschreibt naturwissenschaftliche Grundbildung die Fähigkeit

- *die charakteristischen Eigenschaften der Naturwissenschaften als eine Form menschlichen Wissens und Forschens zu verstehen,*
 - *naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, um Fragestellungen zu erkennen, die sich naturwissenschaftlich bearbeiten lassen, sich neues Wissen anzueignen, naturwissenschaftliche Phänomene zu beschreiben und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen,*
 - *zu erkennen und sich dessen bewusst zu sein, wie Naturwissenschaften und Technik unsere materielle, intellektuelle und kulturelle Umwelt formen,*
- sowie die Bereitschaft,*
- *sich mit naturwissenschaftlichen Ideen und Themen zu beschäftigen und sich reflektierend mit ihnen auseinanderzusetzen. (Rönnebeck, Schöps, Prenzel, Mildner & Hochweber 2010, S. 178)*

Davon ausgehend werden drei Teilkompetenzen unterschieden: (1) das Erkennen und Formulieren von Fragestellungen, die naturwissenschaftlich untersucht und beantwortet werden können, (2) das Beschreiben und Erklären naturwissenschaftlicher Phänomene und (3) das Interpretieren von naturwissenschaftlicher Evidenz (Rönnebeck et al. 2010).

In diesen Teilkompetenzen spiegeln sich die grundlegenden Schritte naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung wider (z. B. Kranz & Schorn 2012). Für die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung ist das Experimentieren von herausragender Bedeutung, es wird als eine der wichtigsten Methoden dieser (Nielsen 2006) oder als *Kern* der Erkenntnisgewinnung charakterisiert (Kranz & Schorn 2012). Es wird mitunter konstatiert, dass „Erkenntnisgewinnung in der Naturwissenschaft Chemie [...] ohne das Experiment nicht denkbar [sei]“ (Pfeifer, Lutz & Bader 2002). Dementsprechend wird dem Experiment auch im Chemieunterricht eine besondere Rolle zuteil. Die Bedeutung des Experiments für den Chemieunterricht vor dem Hintergrund naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung spiegelt sich auch in den nationalen Bildungsstandards im Fach Chemie, wenn es im Rahmen der Darstellung des Beitrags des Faches Chemie zur Bildung heißt: „Auf Grundlage der erworbenen chemiespezifischen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten nutzen die Schülerinnen und Schüler insbesondere die experimentelle Methode als Mittel zum individuellen Erkenntnisgewinn über chemische Erscheinungen.“ (KMK 2014, S. 6-7). Die experimentelle Methode lässt sich als Prozess beschreiben, in dem Theorie und Praxis stetig miteinander verknüpft werden (Metzger & Sommer 2010). Auf dem Weg zu einer Lösung müssen Lernende verschiedene fachliche, fachmethodische und strategische Fähigkeiten anwenden (Metzger & Sommer 2010). Dementsprechend kann der Erkenntnisgewinnungsprozess als eigenaktiver Konstruktionsprozess beschrieben werden, bei dem Vorwissen und aktuelle Erkenntnisse stetig miteinander verknüpft werden (Möller 1999). Mit dem Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht werden unterschiedliche Ziele verbunden. Experimente sollen das Lernen von Naturwissenschaften, das Lernen über Naturwissenschaften und den Erwerb überfachlicher Kompetenzen (wie Teamfähigkeit, Kommunikation und Zeitmanagement) ermöglichen (von Aufschnaiter & Riemer

2005). Insbesondere in diesen übergreifenden Zielen spiegelt sich die Bedeutsamkeit des Experiments hinsichtlich der naturwissenschaftlichen Grundbildung wieder (s. o.). In der Ausdifferenzierung der Kompetenzerwartungen für das Fach Chemie vor allem im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung finden sich die drei Teilkompetenzen naturwissenschaftlicher Grundbildung wieder. Im folgenden Kapitel werden diese Kompetenzerwartungen thematisiert.

An dieser Stelle sei angefügt, dass sich auch über den schulischen Kontext hinaus Möglichkeiten zum Erwerb naturwissenschaftlicher Kompetenzen bieten, insbesondere im Rahmen außerschulischer Angebote. Bspw. durch Schülerlabore können naturwissenschaftliche Kompetenzen ergänzend gefördert werden (Rönnebeck et al. 2010). Das Thema Schülerlabore wird in Kapitel 4 vertieft.

2.2 Der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung

Im Rahmen des Chemieunterrichts sollen vielseitige inhaltbezogene und prozessbezogene Kompetenzen erworben werden, die sich vier Kompetenzbereichen zuordnen lassen. Nicht immer lassen sich die Kompetenzbereiche *Umgang mit Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* dabei vollständig voneinander abgrenzen (MSB NRW 2014). Der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung wird wie folgt beschrieben:

„Der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung beinhaltet die Fähigkeiten und methodischen Fertigkeiten von Schülerinnen und Schülern, chemische Fragestellungen zu erkennen, diese mit Experimenten und anderen Methoden hypothesengeleitet zu untersuchen und zu verallgemeinern. [...]“ (MSB NRW 2014)

Dieser Beschreibung wird hinzugefügt, dass eine Modellierung der Wirklichkeit grundlegend ist und Modelle dabei unter anderem der Veranschaulichung dienen. Zudem wird die Rolle der Reflexion der Erkenntnismethoden vor dem Hintergrund des besonderen Charakters der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen hervorgehoben (MSB NRW 2014). Aufbauend auf dem Kernlehrplan der Sekundarstufe I und den darin formulierten Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung (MSB NRW 2008) werden für die Sekundarstufe II Kompetenzerwartungen formuliert, die sich auf *Probleme und Fragestellungen* (E1), *Wahrnehmung und Messung* (E2), *Hypothesen* (E3), *Untersuchungen und Experimente* (E4), *Auswertung* (E5), *Modelle* (E6) und *Arbeits- und Denkweisen* (E7) beziehen (MSB NRW 2014). Die Kompetenzformulierungen hinsichtlich der *Probleme und Fragestellungen* (E1) sehen vor, dass Lernende bis zum Ende der Jahrgangsstufe 9 Fragestellungen, die mithilfe chemischer und naturwissenschaftlicher Kenntnisse und Untersuchungen zu beantworten sind, erkennen können (MSB NRW 2008). Bis zum Ende der Einführungsphase (EF) können Lernende chemische Probleme in vorgegebenen Situationen beschreiben und zugehörige Fragestellungen formulieren und bis zum Ende der Qualifikationsphase (Q2) können Lernende chemische Probleme selbstständig identifizieren, analysieren und sie mittels

Fragestellungen präzisieren (MSB NRW 2014). In ähnlicher Weise lässt sich die Progression für die anderen aufgeführten Bereiche beschreiben. An dieser Stelle werden im Folgenden schwerpunktmäßig die Kompetenzerwartungen für die Sekundarstufe II und damit bis zum Ende der gymnasialen Oberstufe zusammengefasst. Schülerinnen und Schüler können kriteriengeleitet beobachten und beschreiben Ergebnisse dabei ohne Deutung, sie können komplexe Apparaturen sachgerecht verwenden und zugehörige Beobachtungen und Messungen erläutern (E2). Sie können zur Klärung chemischer Fragestellungen auf deduktive Weise begründete Hypothesen generieren, wobei sie auf Theorien, Konzepte, Modelle und Gesetzmäßigkeiten Bezug nehmen. Zudem können sie Möglichkeiten für die Überprüfung der Hypothesen ableiten (E3). Die Lernenden sind in der Lage, Experimente zielgerichtet zu planen, hinsichtlich ihrer Zielsetzung zu erläutern und sachlich korrekt und unter Beachtung von Sicherheitsaspekten durchzuführen, dabei ggf. Fehler zu betrachten sowie die Durchführung von Experimenten zu beschreiben (E4). Bei der Auswertung können sie die resultierenden Werte oder Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf die Fragestellung interpretieren und unter Berücksichtigung von Zusammenhängen, Regeln oder mathematisch formulierten Gesetzmöglichkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern (E5). Zudem können die Lernenden Modelle begründet zur Erklärung chemischer Vorgänge auswählen und entwickeln, auch können sie mithilfe von theoretischen oder mathematischen Modellen, Gedankenexperimenten oder Simulationen Prozesse erklären und vorhersagen (E6). Schülerinnen und Schüler können die Bedeutung, aber auch die Vorläufigkeit naturwissenschaftlicher Regeln, Gesetze und Theorien beschreiben und bedeutende naturwissenschaftliche Prinzipien reflektieren. Darüber hinaus können sie Veränderungen von Denk- und Arbeitsweisen vor dem Hintergrund von historischen und kulturellen Entwicklungen darstellen (E7) (MSB NRW 2014).

In den dargestellten Kompetenzerwartungen spiegeln sich die Anforderungen, die insbesondere mit der Einbindung und Verwirklichung der experimentellen Methode im unterrichtlichen Kontext einhergehen wider. Es resultieren Herausforderungen für die Lehrperson hinsichtlich der Unterrichtsgestaltung, bei der es gilt, Gelegenheiten zu schaffen, um die aufgeführten Kompetenzen hinreichend zu fördern. Zudem lässt sich ableiten, dass für die Lernenden vielfältige, mitunter durchaus anspruchsvolle Lehr-Lernsituationen resultieren können.

2.3 Der Einsatz von Experimenten im Unterricht

Wie zuvor dargelegt, ist das Experiment für den Chemieunterricht von besonderer Bedeutung. In der unterrichtlichen Praxis steht das Experimentieren im Prozess der Erkenntnisgewinnung mit anderen naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen wie Beobachten, Vergleichen und Ordnen sowie dem Nutzen von Modellen in einer wechselseitigen Beziehung, es ist damit keine isolierte Arbeitsweise (Ropohl & Emden 2017). Die oben aufgeführten

übergeordneten Ziele, die mit dem Einsatz von Experimenten einhergehen, lassen sich konkretisieren. Experimente sollen zum Erwerb von Fachwissen beitragen, also inhaltsbezogene Kompetenzen fördern, zudem sollen fachmethodische Kompetenzen und Laborfertigkeiten erlernt werden, womit prozessbezogene Kompetenzen gefördert werden (Ropohl & Emden 2017). Zudem fügen die Autoren an, dass Experimentieren als „habit on mind“ auf die motivationale und volitionale Bereitschaft der handelnden Personen abzielt und Metakognition hinsichtlich des Wissens und Reflektierens über Naturwissenschaften intendiert werden soll. Denn ein angemessenes Experimentierverständnis kann zum Lernen über Naturwissenschaften beitragen (Höttecke 2008).

Experimente im Chemieunterricht haben unterschiedliche didaktische Funktionen und lassen sich dementsprechend in unterschiedlicher Weise in den Unterricht integrieren. Die Erkenntnisgewinnung durch das Aufstellen und Prüfen von Hypothesen bildet dabei nur eine von vielen Funktionen (Barke, Harsch, Marohn & Krees 2015). Experimente können bspw. dazu genutzt werden, in eine Situation einzusteigen und sachbezogene Motivation zu schaffen, sie können eine Fragestellung aufwerfen oder zur Veranschaulichung theoretischer Zusammenhänge dienen, sie dienen außerdem der Darstellung technischer Verfahren und haben dabei einen Modellcharakter oder sie werden eingesetzt, um experimentelle Fertigkeiten der Lernenden zu schulen (Barke et al. 2015). Dabei lässt sich unterscheiden, ob alle Lernenden das Experiment durchführen oder ob ein Experiment von einzelnen Lernenden oder der Lehrperson demonstriert wird. Metzger und Sommer (2010) unterscheiden zwischen drei didaktisch-methodischen Konzeptionen, die Schülerexperimente einbeziehen:

- (1) Nacharbeiten von Versuchsvorschriften
- (2) anwendungsorientierte Aufgaben
- (3) problemlösendes Experimentieren

Während das schrittweise Abarbeiten detaillierter Anleitungen (1) dem Erlernen und Einüben chemischer Fachmethoden und der Erweiterung des Repertoires an naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen dienen soll, können vorhandenes Grundwissen, Fertigkeiten und Fachmethoden beim zweiten Typ auf lebensnahe Beispiele angewendet werden. Dabei wird eine Vorschrift an einem Beispiel nachgearbeitet und das Erlernen von Fachmethoden ist intendiert. Um die gestellte Aufgabe lösen zu können, ist die Anwendung von Vorwissen erforderlich (Metzger & Sommer 2010). Das Experimentieren im Sinne der experimentellen Methode (3) stellt die anspruchsvollste Variante dar, denn Lösungswege müssen selbst gefunden werden, Vorwissen muss angewendet werden und analytische Denkstrategien sind erforderlich, wenn alltägliche Beobachtungen oder fiktive Situationen zum Ausgangspunkt für problemlösendes Experimentieren genutzt werden. Die Autorinnen sehen kochbuchartige Versuchsvorschriften (1) als Grundlage für die anderen beiden didaktisch-methodischen Konzeptionen an, sie weisen aber auf die Grenzen hinsichtlich