

1 Einleitung

Die Veröffentlichung der Ergebnisse der ersten *Programme for International Student Assessment* (PISA) im Jahr 2001 führten aufgrund der relativ unerwarteten unterdurchschnittlichen Leistungen der deutschen Schülerinnen und Schüler zum sogenannten „PISA-Schock“ (Baumert et al., 2001). Daraufhin kam es zu einem kontroversen bildungspolitischen Diskurs, deren Konsequenz sich in der Veränderung des Schulwesens äußerte, in dem die bis dahin gültige Inputsteuerung durch die Outputsteuerung ersetzt wurde. Folglich wurde für das deutsche Bildungssystem 2004 durch die *Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder der Bundesrepublik Deutschland* (KMK) die bundesweit geltenden Bildungsstandards unter anderem für die naturwissenschaftlichen Fächer eingeführt, die Zielvorgaben des Unterrichts definieren und über festgelegte Kompetenzen das Bildungssystem steuern. Bildungsstandards legen Kompetenzen fest, die Schülerinnen und Schülern bis zum Ende einer bestimmten Jahrgangsstufe mindestens erworben haben sollen (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen [MSW NRW], 2013; Parchmann & Sommer, 2018; Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK], 2005b). Diese wurden als Regelstandards (Kompetenzstufe III) in das Schulwesen eingeführt (KMK, 2005a). Die Überprüfung der Standards erfolgt in der Bundesrepublik Deutschland durch Testaufgaben, die auf der Basis von Kompetenzmodellen entwickelt wurden (Sumfleth & Walpuski, 2018). Während bei der Beschreibung von Kompetenzen nach Leistungsniveau *Kompetenzstufenmodelle* oder *Niveaumodelle* herangezogen werden, spricht man bei der Beschreibung von Kompetenzen nach Kompetenzbereichen von *Komponenten-* oder *Strukturmodellen* (Sumfleth & Walpuski, 2018). Die Beschreibung von Kompetenzstrukturen und ihren Entwicklungsverläufen wird dagegen anhand von *Kompetenzentwicklungsmodellen* beschrieben (Hammann, 2004). In diesem Zusammenhang ist seit den letzten Jahren vor allem das Konzept der Learning Progression aus dem amerikanischen Raum bekannt geworden. Dabei handelt es sich um ein Modell, das Entwicklungsverläufe von Kompetenzen in einer bestimmten Zeitspanne berücksichtigt (Bernholt, Neumann & Sumfleth, 2018; Duschl, Schweingruber & Shouse, 2007).

Neben internationalen Studien wie PISA und TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*) haben auch nationale Studien, wie der IQB-Ländervergleich von 2012, gezeigt, dass vor allem Schülerinnen und Schüler in Nordrhein-Westfalen, die an einer nicht gymnasialen Schulform den mittleren Schulabschluss anstreben, nicht die erforderlichen fachlichen Kompetenzen u. a. im Kompetenzbereich *Fachwissen* erreichen, sodass grundlegendes Chemiewissen fehlt (Pant et al., 2013). Der IQB-Ländervergleich 2018 bestätigt diese Befunde (Stanat, Schipolowski, Mahler, Weirich & Henschel, 2019). Fehlendes bzw. defizitäres Wissen, vor allem im Bereich des Basiswissens, erschweren

das weitere Lernen und stellen große Hindernisse dar (Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung, 1997). Dabei stellt gerade ein vielseitiges und anschlussfähiges Chemieverständnis ein Ziel des Chemieunterrichts dar (Pfeifer & Sommer, 2018a). Als Ursache für das schlechte Abschneiden könnte möglicherweise die hierarchisch aufgebaute Struktur des Faches Chemie sein. Spiegelt die Struktur des Unterrichts diese systematische Struktur nicht wider, erschwert dies den kumulativen Aufbau vernetzten Wissens durch die Schülerinnen und Schüler (Duschl et al., 2007; Fischer, Glemnitz, Kauertz & Sumfleth, 2007; Melle, Parchmann & Sumfleth, 2004).

Aufgrund des vergleichsweise niedrigen Lernstands deutscher Schülerinnen und Schüler in Schulleistungsstudien in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern, der damit einhergehenden Umgestaltung von Lehrplänen und des Paradigmenwechsels war die Forderung nach einer Optimierung von Lehr- und Lernprozessen groß. Als Reaktion darauf wurde unter anderem durch die Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK) das *Programm zur Steigerung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts* (SINUS) eingeführt und ab 2007 als eigenständiges Kooperationsprojekt des Ministeriums für Schule und Bildung (MSB) und der Qualitäts- und Unterstützungsagentur – Landesinstitut für Schule (QUA-LiS) in Nordrhein-Westfalen fortgeführt (Trendel & Roß, 2018). Das vorliegende Projekt ist in der zweiten Hälfte der fünften Phase (2013 - 2018) unter der durchgehenden fachdidaktischen Betreuung seitens der Chemiedidaktik der Universität Duisburg-Essen entstanden und widmet sich der Untersuchung der fachlichen Kompetenzentwicklung mit dem Ziel, einen Beitrag zur Optimierung des Kompetenzerwerbs im Fach Chemie zu leisten.

In regelmäßigen Projekttreffen wurden auf Grundlage von Bildungsstandards, Kernlehrplänen und Schulbüchern Kernideen zu den drei chemischen Basiskonzepten *Struktur der Materie*, *Chemische Reaktion* und *Energie* (MSW NRW, 2013) formuliert, die inhaltliche Mindestanforderungen für die ersten beiden Lernjahre des Chemieunterrichts der Sekundarstufe I abdecken und für ein anschlussfähiges Lernen wichtig erscheinen. Diese Kernideen wurden im Einzelnen durch Erwartungen, Grenzen und Schülervorstellungen weiter ausdifferenziert. Schließlich wurden diese Kernideen in einer Strand Map, einem Verfahren bzw. einer Darstellungsform zur Vernetzung des fachlichen Wissens zu einem Wissensnetz, in einer hierarchischen Struktur systematisch und logisch miteinander verbunden. Ziel war es, die vermuteten Abhängigkeiten zwischen diesen Kernideen empirisch zu überprüfen, um anschließend die möglichen Lernwege der Konzeptentwicklung empirisch abzusichern.

Den theoretischen Rahmen bilden dabei *Learning Progressions*, die mögliche Lernwege aufzeigen, die die Schülerinnen und Schüler im Laufe eines bestimmten Zeitraums erworben haben sollen (Corcoran, Mosher & Rogat, 2009; Duncan & Hmelo-Silver, 2009;

Duschl et al., 2007). Das Projekt zielt darauf ab, auf Grundlage einer systematischen Vernetzung von elementaren Annahmen und Vorstellungen zu chemischen Konzepten, sogenannten Kernideen, einen möglichen Lernweg für die ersten beiden Lernjahre der Sekundarstufe I für Schülerinnen und Schüler zu entwickeln und zu validieren.

Learning Progressions greifen das Konzept des kumulativen Lernens auf. Indem Schülerinnen und Schüler neue Ideen und Konzepte in ihr bestehendes Wissen integrieren, soll ein vernetztes und strukturiertes Wissen aufgebaut werden, das ein grundlegendes Chemieverständnis ermöglicht. Hierbei soll insbesondere die Hierarchie der Lernelemente berücksichtigt werden. Vorangehende Kernideen müssen somit verstanden werden, um darauf aufbauende Kernideen verstehen zu können. Auf diese Weise sollen u. a. Zusammenhänge zwischen den Konzepten verstanden und die bestehenden Wissensstrukturen weiter ausgeweitet werden.

Im Folgenden wird in Kapitel 2 zunächst die Struktur des naturwissenschaftlichen Unterrichts insbesondere unter dem Aspekt des kumulativen Lernens dargestellt. Daran knüpft die Beschreibung von Bildungsstandards in ihrer Definition, Funktion, Zielsetzung an. Außerdem wird ihr Verhältnis zu den Kernlehrplänen erläutert. Anschließend werden in Kapitel 4 Kompetenzen definiert und Kompetenzmodelle vorgestellt. Dabei wird in Kapitel 5 ein Kompetenzentwicklungsmodell, die bereits oben genannten Learning Progressions, dargestellt, indem auf die Definition, ihre Darstellungsweise und den Forschungsstand eingegangen wird. In Kapitel 6 werden die Forschungsfragen und -ziele des Projekts formuliert und darauf aufbauend in Kapitel 7 die im Rahmen dieser Studie entwickelte Konzeption einer Learning Progression beschrieben. Es folgt die Ausführung des Studiendesigns und der eingesetzten Testinstrumente in Kapitel 8. Abschließend werden in den Kapiteln 9 bis 13 Methoden zur Auswertung, die Pilot- und Hauptstudie mit den jeweiligen Ergebnissen, sowie eine Zusammenfassung und Diskussion der Arbeit dargestellt.

2 Naturwissenschaftlicher Unterricht

Die Ergebnisse von Vergleichsstudien wie TIMSS (Baumert et al., 1997; Klieme et al., 2001) und PISA (Baumert et al., 2001) haben gezeigt, dass der kumulative Wissensaufbau im naturwissenschaftlichen Unterricht zu wenig gefördert wird (Duschl et al., 2007; Gilbert, 2006). Auf Grundlage der TIMSS-Daten von 1995 wurde bereits festgestellt, dass zwischen Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Schulformen und mittleren Leistungsniveau lediglich ein geringer Unterschied im Leistungszuwachs über einem Jahr hinweg besteht (Baumert et al., 1997). Für Baumert et al. (1997, S. 146) spricht das

„[...] für eine relativ geringe fachinterne Kohärenz der Unterrichtsstoffe. Mit jedem Themengebiet beginnt dann Unterricht neu, so daß Schülerinnen und Schüler kaum einen stetigen Zuwachs ihrer mathematisch-naturwissenschaftlichen Kompetenzen wahrnehmen können [...]“.

Vielmehr werden Lerninhalte additiv aneinandergereiht, ohne dass diese miteinander in Verbindung gebracht werden oder eine hierarchisch vernetzte Anschlussfähigkeit besteht. Vor diesem Hintergrund erscheint die Forderung eines kumulativ verlaufenden Wissensaufbaus gerechtfertigt (Bransford, Brown & Cocking, 2000; Klieme et al., 2003; Oelkers & Reusser, 2008).

Nach Gagné (1962, 1973) setzt sich der kumulative Lernprozess aus verschiedenen, miteinander verbundenen Lernhierarchien zusammen. Diese berücksichtigen Lernelemente, die vom einfachen hin zum komplexen reichen und aufeinander aufgebaut sind. Damit neues Wissen erworben werden kann, muss der Lernende zunächst über bestimmte Voraussetzungsstrukturen wie z. B. über das relevante Vorwissen verfügen, welches die Grundlage für den Erwerb der neuen, komplexeren Wissenskomponente bildet. Gagné empfiehlt in diesem Zusammenhang die sachlogische Sequenzierung von Lerninhalten.

Auch Ausubel (1963, 1968, 1974) betont beim Lernen die Assimilation von neu erworbenen Lerninhalten in bereits vorhandene kognitive Strukturen. Auf diese Weise kann eine umfangreiche Wissensstruktur ausgebildet werden. Besteht in diesem Fall kein Zusammenhang zwischen diesen, so bietet sich eine Organisationshilfe in Form eines *Advance Organizers* an, der den Lerninhalt vor der eigentlichen Wissensvermittlung den Lernenden darlegt (Ausubel, 1960).

Mit einem kumulativen Lernen geht auch eine vertikale Vernetzung einher. Unter einer (vertikalen) Vernetzung verstehen Neumann, Fischer und Sumfleth (2008), unter Bezugnahme auf Gagné (1970) und Ausubel (1974), einen Prozess, bei der fachliche Inhalte einer Domäne so strukturiert sind, dass Schülerinnen und Schüler aufeinander aufbauende und miteinander vernetzte Wissensstrukturen bilden können (Bernholt et al., 2018).

Probleme im Hinblick auf das Lernen von Konzepten und Inhalten wird daher häufig auf die aufeinander aufgebaute Struktur des Faches zurückgeführt. Lernende, die den Anschluss im Chemieunterricht verlieren, ist das erfolgreiche Weiterlernen deutlich erschwert. Fachliche Defizite können möglicherweise aufgrund der vernetzten Struktur lediglich schwer aufgeholt werden, wenn nicht bereits erlernte Inhalte verstanden wurden (Melle et al., 2004). Dies kann auch dazu führen, dass Lernende insbesondere die naturwissenschaftlichen Fächer Chemie und Physik als anspruchsvoll ansehen und eine negative Einstellung gegenüber diesen entwickeln (Aikenhead, 2009; Osborne & Collins, 2010), welches sich vermutlich auch in der geringen Kurswahlentscheidung für diese Fächer in der Oberstufe äußert (Hülsmann, 2015). Für das Gelingen eines kumulativen Lernens ist demnach ein sachlogischer Aufbau von Lerninhalten, die Verknüpfung von neuen Lerninhalten an das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler, sowie die Vernetzung und Anschlussfähigkeit der Lerninhalte notwendig (Fischer et al., 2003; Klieme et al., 2003; Lau, 2011). Daher werden im Hinblick auf die Unterrichtsqualität zur Inhaltsstrukturierung ebenfalls Aspekte wie die Vernetzung von Fachinhalten und ihre logische Reihenfolge aufgeführt, die zu Merkmalen guten Unterrichts gehören (Helmke, 2014; Steffensky & Neuhaus, 2018). Auch Fischer et al. (2003) betonen eine klare Sachstrukturierung und Vernetzung von Unterrichtsinhalten als zentralen Aspekt der fachspezifischen Unterrichtsqualität.

Eine Schwierigkeit im Fach Chemie ergibt sich somit durch die Sachstruktur, da verschiedene Inhalte so eng miteinander verbunden sind, dass ein sinnvolles und anschlussfähiges Lernen nur möglich ist, wenn Lernende das bereits Gelernte verstanden haben (Fischer et al., 2003; Sandmann, Schmiemann, Neuhaus & Tiemann, 2013). Es liegen jedoch kaum Studien vor, die die vertikale Vernetzung innerhalb des Faches Chemie fachdidaktisch und fachlogisch untersuchen und sich dabei auf die essenziellen Inhalte, die für ein anschlussfähiges Lernen unabdingbar sind, konzentrieren. Daher stellt sich hier die Frage, welche chemischen Fachinhalte (d. h. Begriffe, Konzepte, Prinzipien) für ein anschlussfähiges Wissen unabdingbar sind, sodass Wissens Elemente in der Art und Weise vernetzt werden, dass ein systematisches Chemieverständnis entwickelt wird.

Vor dem Hintergrund des Aufbaus einer hierarchischen Wissensbasis führt Bruner (1970) die Idee des *Spiralcurriculums* ein, bei dem Unterrichtsinhalte auf jeweils höherem Schwierigkeits- bzw. Abstraktionsniveau in aufeinander folgenden Jahrgangsstufen aufgegriffen und vertieft werden (Bernholt et al., 2018; Lefrançois, 2006). Für die Konstruktion von Spiralcurricula werden in Wissensnetzen organisierte Analysen von Sachstrukturen vorgeschlagen, bei denen Leitideen, d. h. Beziehungen zwischen zentralen Begriffen, eine große Bedeutung einnehmen, die mit den Basiskonzepten der Bildungsstandards verglichen werden können (Bernholt et al., 2018; Neumann et al., 2008). Solch ein spiralcurricularer Ansatz kann als Grundlage für die Entwicklung von *Lernlinien* oder *Learning Progressions* genutzt werden (Bernholt et al., 2018; Parchmann & Sommer, 2018).

Während Lernlinien auf die Entwicklung eines bestimmten Basiskonzepts fokussieren, indem sie aufzeigen, welche zunehmend umfassenderen Erklärungsansätze diese bietet und durch kontextorientierten Unterricht zielgerichtet entwickelt werden können (Parchmann et al., 2006), beziehen sich Learning Progressions auf die Kompetenzentwicklung zu bestimmten Konzepten oder Arbeitsweisen in einem bestimmten Zeitraum (z. B. Duschl et al., 2007; Jin, Mikeska, Hokayem & Mavronikolas, 2019) (s. Kapitel 5).