



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Fachdidaktik Life Sciences



**Diagrammkompetenz als biologiedidaktische Aufgabe für die Lehrerbildung:
Konzeption, Entwicklung und empirische Validierung eines Strukturmodells
zum diagrammspezifischen Professionswissen im biologischen Kontext**

Lena von Kotzebue

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät *TUM School of Education*
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Wilhelm Hofmann

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. Claudia Nerdel
2. Univ.-Prof. Dr. Helmut Prechtl
Universität Potsdam
3. Univ.-Prof. Dr. Kristina Reiss

Die Dissertation wurde am 12.11.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät *TUM School of Education* am 29.01.2014 angenommen.

Inhalt

Zusammenfassung	2
Danksagung.....	3
1. Einleitung	4
2. Theoretischer Hintergrund	6
2.1 Diagrammkompetenz: Voraussetzungen, Anforderungen und Konventionen.....	6
2.1.1 Kognitionspsychologische Grundlagen des Text-, Bild- und Diagrammverstehens	6
2.1.2 Strukturmodell der Diagrammkompetenz für den Biologieunterricht	8
2.1.3 Diagrammkonventionen und die Verwendung von Diagrammen im Biologieunterricht	9
2.2 Professionswissen von Lehrkräften	10
2.2.1 Theoretische Rahmenmodelle des Professionswissens von Lehrkräften	10
2.2.2 Wissensdimensionen des Professionswissens von Lehrkräften	12
2.3 Komponenten des Professionswissens zum Umgang mit Diagrammen	14
3. Forschungsfragen	15
4. Darstellung der einzelnen Beiträge.....	16
4.1 Modellierung der Komponenten des diagrammspezifischen Fachwissens (Aufsatz 1)	16
4.2 Alternative Konzepte bei der Konstruktion von Diagrammen (Aufsatz 2).....	17
4.3 Professionswissen angehender Biologielehrkräfte zur Diagrammkompetenz (Aufsatz 3)	19
5. Diskussion.....	23
5.1 Diskussion des methodischen Vorgehens und der zentralen Befunde	23
5.2 Grenzen der Untersuchung und Forschungsperspektiven	27
5.3 Implikationen für die schulische und hochschulische Praxis	29
Literatur.....	30
Anhang	36

Zusammenfassung

Diagramme sind im Alltag sowie im Schul- und Wissenschaftskontext allgegenwärtig. Daher sollten Lernende über entsprechende Diagrammkompetenzen verfügen, um die Aussagekraft dieser häufig vorkommenden Repräsentation beurteilen zu können. Studien haben dagegen gezeigt, dass beim Einsatz von Diagrammen u.a. im Biologieunterricht verschiedene Schwierigkeiten sowohl bei Schülern¹ als auch bei Lehrkräften auftreten. Bisher wurden jedoch die von ihnen benötigten Wissensstrukturen kaum systematisch untersucht. Deshalb wird mit dieser Dissertation das Ziel verfolgt, die Erkenntnislücken im Bereich der Diagrammkompetenz mit biologisch kontextualisierten Aufgaben zu schließen und eine erste Bestandsaufnahme des Professionswissens von Lehrkräften hierzu durchzuführen. Auf Basis der Literatur zu multiplen externen Repräsentationen und zur Lehrerprofessionalität wurden Komponenten des Fach- und fachdidaktischen Wissens herausgearbeitet, die (angehende) Biologielehrkräfte beherrschen sollten, um Diagramme im Unterricht lernwirksam einsetzen zu können. Damit diese Fähigkeiten messbar gemacht werden können, wurde ein fachspezifisches Testinstrument entwickelt. Sein erster Teil testet die Komponenten des Fachwissens. Dazu zählen sowohl inhaltliche als auch methodische Aspekte, die von Lehrenden und Lernenden gleichermaßen beherrscht werden sollten. Daher wurde dieser in einer Teilstudie (Aufsatz 1) an Studienanfängern eingesetzt, um so deren Wissensstand am Ende der Schullaufbahn bzw. am Beginn ihrer universitären Ausbildung abschätzen zu können. Alternative Konzepte bei der Diagrammkonstruktion im biologischen Kontext wurden hierbei systematisch analysiert. Deren Ergebnisse deuten auf einige hartnäckige Schwierigkeiten im Bereich der Diagrammkonventionen und ihrer biologiebezogenen Anwendung hin (Aufsatz 2). Gemeinsam mit dem zweiten Teil, der die Komponenten des diagrammspezifischen fachdidaktischen Wissens erfasst wurde dieser Test von angehenden Biologielehrkräften bearbeitet (Aufsatz 3). Die Ergebnisse zeigen, dass das inhaltliche Fachwissen ein starker Prädiktor für die methodische Fähigkeit ist, Informationen aus Texten und Diagrammen zu integrieren. Des Weiteren stellte sich die Text-Diagramm-Integration als Mittler zwischen dem inhaltlichen Fachwissen und dem fachdidaktischen Wissen heraus. Somit lässt sich schlussfolgern, dass die Diagrammkompetenz im Kontext Biologie eine wichtige Voraussetzung für das spezifische fachdidaktische Wissen zum Lehren mit Diagrammen im Biologieunterricht ist. Ein verstärkter Fokus auf Methoden und Arbeitsweisen an konkreten Themen- und Unterrichtsbeispielen in der Lehrerbildung ist daher nötig, denn erst durch deren Beherrschung kann das fachdidaktische Wissen der Studierenden optimal geschult werden wie unsere Untersuchungsergebnisse belegen.

¹ Zur einfacheren Darstellung werden in dieser Arbeit immer die männlichen Bezeichnungen verwendet, diese beziehen sich aber immer auf das weibliche und das männliche Geschlecht.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich all denjenigen bedanken, die mich bei dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Mein aufrichtiger Dank gilt Prof. Dr. Claudia Nerdel, als meine wissenschaftliche Mentorin und Erstbetreuerin meiner Dissertation für ihre umfassende Förderung durch fachkundigen Rat und konstruktive Hilfestellung. Ihr entgegengebrachtes Vertrauen schenkte mir zudem den Freiraum meine Ideen umzusetzen. Ebenfalls möchte ich mich bei Prof. Dr. Helmut Prechtl für die Zweitbetreuung der Dissertation bedanken sowie bei Prof. Dr. Kristina Reiss für die Übernahme des Drittgutachtens und bei Prof. Dr. Wilhelm Hofmann für den Vorsitz der Prüfungskommission.

Mein Dank gilt außerdem Mariele Gerstl für ihre große Unterstützung, sowohl für ihre hilfreichen Ideen und ihr außerordentliches Engagement als auch dafür, dass sie immer die richtigen Worte fand mich in meiner Arbeit emotional zu unterstützen und zu bekräftigen. Benedikt Brücklmeier danke ich für die statistische Hilfestellung und dabei immer einen kühlen Kopf zu bewahren. Für die stets höchst kompetente Beantwortung von methodischen Fragen danke ich Dr. Johannes Bauer. Timo Fleischer danke ich für das Korrekturlesen. Ebenso gilt mein Dank den zahlreichen Studierenden der TU München, die sich im Rahmen von Seminar- und Masterarbeiten mit dem Thema Diagramme beschäftigten und mir damit zum einen sehr viel Freude bereiteten und zum anderen viele neue Anregungen brachten. Insbesondere sein hier Andrea Frick, Ann-Kathrin Pehmer und Christian Reiter zu nennen.

Meinen Kollegen aus der anorganischen Chemie: Prof. Dr. Peter Härter, Tobias Kubo und Peter Richter danke ich für die Möglichkeit während ihrer Vorlesung eine Befragung durchzuführen. Mein herzlichster Dank gilt den vielen Studierenden, die an der Studie teilgenommen haben sowie den Ansprechpartner aus den 19 Universitäten.

Ebenfalls bedanke ich mich beim großartigen, humorvollen und lebendigen FDLS-Team, ihr seid einfach klasse! Im Besonderen danke ich Christina Beck, Prof. Dr. Claudia Nerdel und Michael Achter dafür, dass sie mir vor allem in den stressigen letzten Wochen stets den Rücken freigehalten und mich jeden Tag zum Lachen gebracht haben.

Mein tiefempfundener Dank gilt meinen beiden Rosenheimer Ruhepolen. Meiner Mutter, Sylvia v. Kotzebue dafür, dass sie mir in jeder Lebenslage aufopferungsvoll geholfen hat, mir Energie schenkte und immer für mich da war. Meinem Freund Jürgen Stoiber für seine große emotionale und fachliche Unterstützung, wie auch seine unendliche Geduld und Geborgenheit, aus der ich sehr viel Kraft zur Fertigstellung dieser Arbeit geschöpft habe.

1. Einleitung

Diagramme sind zentrale bildliche Darstellungsformen der Naturwissenschaften, die vielfältige Funktionen erfüllen. Sie ermöglichen u.a. eine kompakte und anschauliche Darstellung komplexer Forschungsergebnisse und dienen als Denkwerkzeug im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess. So unterstützen sie die Reflexion von Theorien, das Aufstellen und Hinterfragen von Hypothesen und erleichtern die Interpretation von Ergebnissen (Kozma, Chin, Russell & Marx, 2000). Als Bestandteil der naturwissenschaftlichen Kompetenzen wird der fachgemäße Umgang mit Diagrammen sowohl in den einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung für das Fach Biologie (EPA; KMK, 2004) als auch in den nationalen Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer im Kompetenzbereich Kommunikation als zu erreichende Fähigkeit gefordert (KMK, 2005a; KMK, 2005b). Der sach- und adressatengerechte Umgang mit bildlichen Repräsentationen wie Diagrammen stellt einen grundlegenden Bestandteil der fachlichen Kommunikationskompetenz dar und kann als Teil des Handlungsrepertoires der Lehrkraft bezüglich der fachspezifischen Qualitätsmerkmale und somit als ein wichtiges Merkmal der naturwissenschaftlichen Unterrichtsqualität aufgefasst werden (Neuhaus, 2007).

Diagramme sind jedoch keine intuitiv verständliche Repräsentationen (Dreyfus & Eisenberg, 1990), sie beruhen auf Konventionen, die erlernt werden müssen (Schnotz, 2002). Lernende nutzen sie aufgrund von einigen Verständnisschwierigkeiten häufig nicht effektiv (u.a. Felbrich, 2005; Lachmayer, 2008). So haben viele Schüler alternative Vorstellungen von der Konstruktion aber auch von der Interpretation von Diagrammen (Mevarech & Kramarski, 1997). Diese Probleme liegen häufig darin, dass sie die Aussagen von Diagrammen nicht korrekt erfassen können und folglich unangemessene Konzepte über ihre Interpretation generieren (Baumert, Bos & Lehmann, 2000; Baumert, Stanat & Demmrich, 2001; Mautone & Mayer, 2007; Kramarski, 2004). Dieses Phänomen wird besonders bei Aufgaben deutlich, bei denen inhaltliches Wissen vorhanden sein muss, das in die Interpretation des Diagramms einbezogen werden soll (McDermott, Rosenquist & van Zee, 1987). Felbrich (2005) schlussfolgert daraus, dass mathematisches Wissen nicht ohne Weiteres auf einen naturwissenschaftlichen Inhaltsbereich transferiert werden kann.

Um diesen Schwierigkeiten entgegenzuwirken, ist eine explizite Schulung der Diagrammkompetenz in den naturwissenschaftlichen Fächern nötig, bei der der Bezug zwischen Inhalt und der Repräsentation geübt wird (Lachmayer, 2008). Für die Gestaltung eines adäquaten Unterrichtsangebots brauchen die Lehrkräfte diagrammspezifisches Fachwissen und fachdidaktisches Wissen. Erste Erkenntnisse im Rahmen des BiTe-Projekts² deuten jedoch darauf hin, dass es u.a. Biologielehrkräften häufig schwer fällt, Aufgabenschwierigkeiten und Schülerleistungen bei Lernmedien mit bildlichen Repräsentationen, z.B. Diagrammen, richtig einzuschätzen (McElvany et al., 2009). Dies ist höchst problematisch, da Text-Bild-Materialien die Basis für den Biologieunterricht darstellen und ihre angemessene Auswahl als zentrale Grundlage für eine erfolgreiche Unterrichtsgestaltung angesehen wird (Rogalla & Vogt, 2008;

² Entwicklung und Überprüfung von Kompetenzmodellen zur integrativen Verarbeitung von Texten und Bildern (McElvany et al., 2009)

Schrader, 2006). Da von diesem Unterrichtsangebot zu einem hohen Maße der Kompetenzzuwachs der Schüler abhängt, ist es erstaunlich, dass der Umgang mit Text-Bild-Kombinationen bisher kein explizites Thema in der deutschen Lehrerbildung ist (McElvany et al., 2009; Schroeder et al., 2011).

Übergeordnetes Ziel dieser Dissertation ist es daher, einen Beitrag zur Aufklärung der Kompetenzstruktur zum fachlichen und fachdidaktischen Umgang mit Diagrammen durch Lehrkräfte zu leisten, um damit die Voraussetzungen für die Optimierung der Lehrerbildung im Bereich der Diagrammkompetenz zu klären und Implikationen für die Einbindung dieser Thematik in das Curriculum der Lehrerbildung zu erhalten. Hierfür werden insgesamt drei Schwerpunkte fokussiert. Zunächst wird in dieser Arbeit das benötigte Fachwissen, das zu einem erfolgreichen Bearbeiten von biologisch kontextualisierten Diagrammaufgaben erforderlich ist, in Komponenten unterteilt und analysiert. Das Beherrschen der spezifischen Konventionen ist beim Lesen und Konstruieren von Diagrammen von hoher Relevanz. Alternative Konzepte über die Konventionen werden bei der Diagrammkonstruktion besonders gut sichtbar und werden als zweiter Schwerpunkt dieser Dissertation betrachtet. Auf diesen Ergebnissen der beiden Schwerpunkte baut der letzte Fokus auf. Betrachtet werden zum einen erneut die Komponenten des diagrammspezifischen Fachwissens, zum anderen wird eine erste Bestandsaufnahme der Komponenten des benötigten fachdidaktischen Wissens durchgeführt. Anschließend werden die Zusammenhänge zwischen den spezifischen Wissenskomponenten in Form von theoriegeleiteten Strukturgleichungen modelliert und analysiert.

2. Theoretischer Hintergrund

Bevor die Einbindung des sach- und adressatengerechten Umgangs mit Diagrammen bzw. mit Text-Diagramm-Kombinationen in der Lehrerbildung diskutiert werden kann, werden die kognitionspsychologischen Verstehensprozesse von Repräsentationen erläutert. Nachfolgend wird auf ein darauf aufbauendes Kompetenzstrukturmodell zum Umgang mit Diagrammen eingegangen. Zudem werden in Abschnitt 2.1 die spezifischen Konventionen, die insbesondere eine Arbeitsgrundlage für Diagramme sind, die konkrete inhaltliche Zusammenhänge darstellen, thematisiert. Im Anschluss werden zuerst die begrifflichen Unklarheiten im Zusammenhang mit dem Professionswissen von Lehrkräften und dessen Aufbau aus Wissensdimensionen erläutert (2.2), ehe die Komponenten des diagrammspezifischen Fachwissens und fachdidaktisches Wissens von (angehenden) Biologielehrkräften vorgestellt werden (2.3).

2.1 Diagrammkompetenz: Voraussetzungen, Anforderungen und Konventionen

2.1.1 Kognitionspsychologische Grundlagen des Text-, Bild- und Diagrammverstehens

Um Rückschlüsse auf die Diagnose und die Förderung des Bearbeitens von Diagrammaufgaben ziehen zu können, müssen die bei der Text- und Diagrammverarbeitung ablaufenden Schritte nachvollzogen werden. Hierzu entwickelte die Arbeitsgruppe um Schnotz (Schnotz & Bannert, 1999, 2003) ein integratives Modell des Text-, Bild- und Diagrammverstehens, das davon ausgeht, dass bei der Verarbeitung von depiktionalen und deskriptionalen Repräsentationen die sensorische Aufnahme und die interne Verarbeitung von Text und Bild bzw. Diagramm auf zwei unterschiedlichen Kanälen erfolgt (siehe Abbildung 1).

Depiktionale Repräsentationen bestehen aus ikonischen Zeichen und weisen eine strukturelle Ähnlichkeit zu dem dargestellten Gegenstand auf (Schnotz & Bannert, 2003). Nach dem Grad der Ähnlichkeit zwischen dem realen Objekt und der dazu gehörigen Darstellung wird zwischen realistischen Bildern, wie Photographien oder Zeichnungen und logischen Bildern, wie z.B. Kreis- und Liniendiagrammen unterschieden (Schnotz, 2002). *Logische Bilder* stellen eine abstrakte Form ikonischer Zeichen dar. Mit dem repräsentierten Inhalt weisen sie keine optisch erfassbare Ähnlichkeit auf, sondern ihre Übereinstimmung hinsichtlich der Struktur basiert auf einer Analogierelation (Schnotz, 2002; Schnotz & Bannert, 2003). So können beispielsweise in einem Säulendiagramm nicht räumliche Merkmale (z.B. Dauer bis zur Erntereife bestimmter Gemüsesorten) durch räumliche Distanzen dargestellt werden (Schnotz, 2002). „Repräsentierte und repräsentierende Merkmale können voneinander verschieden sein; die Relationen zwischen diesen Merkmalen innerhalb des Bildes und innerhalb des abgebildeten Sachverhalts müssen jedoch übereinstimmen (Schnotz, 2002, S. 66).“ *Deskriptionale Repräsentationen*, wie Texte und Gleichungen bestehen aus Symbolen und haben keine Ähnlichkeit mit dem Objekt, das sie beschreiben (Schnotz, 2002; Schnotz & Bannert, 2003).

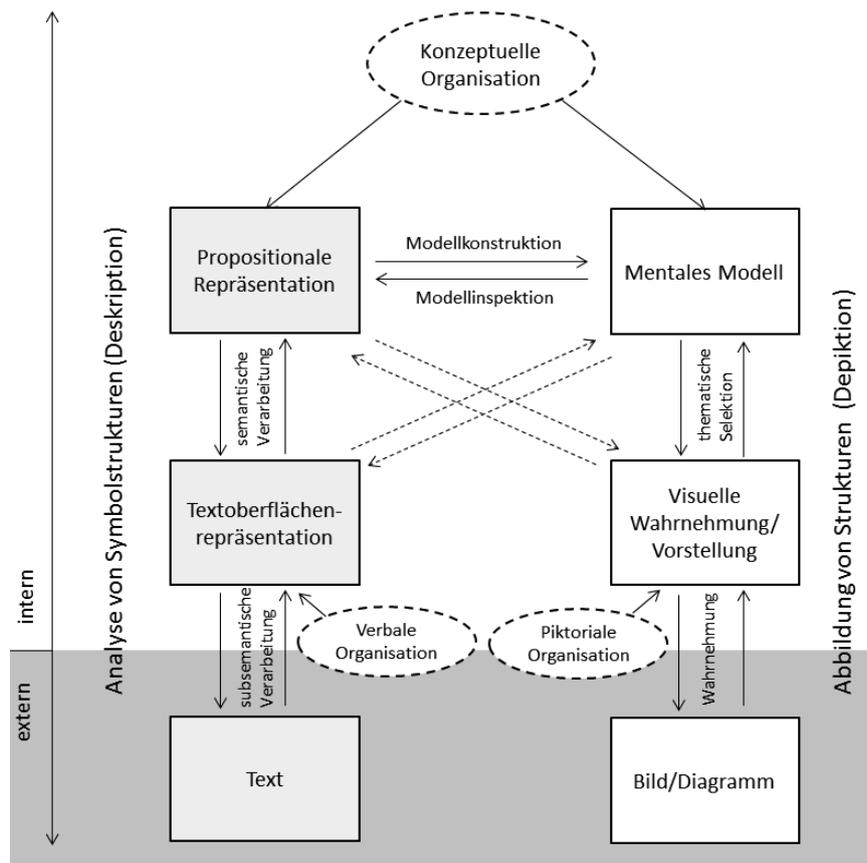


Abbildung 1. Integratives Modell des Text-, Bild- und Diagrammverstehens nach Schnotz und Bannert (1999)

Dem Modell nach werden externe Repräsentationen zu verschiedenen mentalen internen Repräsentationen verarbeitet. Der genaue Mechanismus dieser Text- und Bildverarbeitung ist noch größtenteils unklar. Schnotz und Bannert (1999) beschreiben die Theorie, dass dieser Verständnisprozess aus je zwei Schritten erfolgt. Zunächst wird beim Lesen eines Textes im ersten Schritt eine mentale Repräsentation der Textoberflächenstruktur konstruiert. Davon ausgehend wird im zweiten Schritt eine propositionale Repräsentation des semantischen Gehalts generiert sowie eine propositionale Repräsentation des dargestellten Sachverhaltes gebildet (u.a. Graesser, Millis & Zwaan, 1997; Schnotz, 1994; Schnotz, 2002). Ähnlich verläuft dies beim Betrachten und Verstehen eines Bildes bzw. eines Diagramms. Zunächst werden die graphischen Komponenten - beim Diagramm bspw. die Linien, Punktwerte und Flächen - unterschieden und identifiziert. Dadurch entsteht eine visuelle Wahrnehmung bzw. Vorstellung (Lachmayer, 2008; Schnotz & Bannert, 2003). Anschließend werden die erkannten graphischen Strukturen inhaltlich analysiert, die durch semantische Verarbeitungsprozesse ein mentales Modell generieren (Schnotz, 2002). Der deskriptionale und depiktionale Repräsentationszweig sind nicht voneinander unabhängig. Durch Modellinspektion und Modellkonstruktion sind propositionale Repräsentation bzw. mentales Modell in stetiger Wechselwirkung und können ineinander umgewandelt werden (Schnotz & Bannert, 1999).

Propositionale Repräsentationen bzw. mentale Modelle können auch wieder zurück in externen Repräsentationen dargestellt werden (Schnotz, 2001). Eine Übersetzung von einer depiktionalen in eine deskriptionale Repräsentation kann durch diese Prozesse erklärt werden. So kann angenommen werden, dass die kognitiven Mechanismen bei der *Konstruktion*

von *Diagrammen* durch die Bildung einer propositionalen Repräsentation aus einem Text beginnen, die durch Modellkonstruktion daraus ein mentales Modell aufbauen, welches dann in Form eines Diagramms externalisiert wird. Die Diagrammkonstruktion kann somit als Übersetzung von Text zu Diagramm angesehen werden. Entgegengesetzt steht der Prozess der *InformationSENTnahme* aus einem Diagramm, bei dem z.B. der Verlauf eines Graphen in einen Text überführt wird. Liegen Text und Diagramm vor, dann werden Informationen aus beiden externen Repräsentationen in eine gemeinsame *integriert*. Über semantische Verarbeitungsprozesse werden zunächst unterschiedliche mentale Repräsentationen generiert, die über Modellinspektion und Modellkonstruktion zueinander in Beziehung gesetzt und in eine gemeinsame mentale Repräsentation integriert werden (Lachmayer, 2008; Schnotz, 2001; Schnotz & Bannert, 2003). Je nachdem, ob die Informationen anschließend in einem Diagramm oder einem Text dargestellt werden, erfolgt die Externalisierung über den deskriptionalen bzw. depiktionalen Repräsentationszweig.

2.1.2 Strukturmodell der Diagrammkompetenz für den Biologieunterricht

Auf der Grundlage des kognitionspsychologischen, integrativen Modells zur Text-, Bild- und Diagrammverarbeitung schlagen Lachmayer, Nerdel und Prechtl (2007) zum Umgang mit Diagrammen im Biologieunterricht ein theoriegeleitetes Kompetenzstrukturmodell vor. Dieses Modell kann als Grundlage für die strukturierte Diagnose und Förderung der Fähigkeiten von Lernenden beim Gebrauch von Diagrammen und somit als Hilfsmittel zum Aufdecken von vorhandenen Schwierigkeiten dienen (Lachmayer et al., 2007). Analog zu den von Schnotz & Bannert (2003) beschriebenen kognitionspsychologischen Prozessen werden drei Komponenten der Diagrammkompetenz formuliert und empirisch bestätigt: *InformationSENTnahme*, *Konstruktion* und *Integration* (Lachmayer, 2008; Lachmayer et al., 2007). Diese Fähigkeitskomplexe werden ihrerseits in Unterkomponenten und einzelne Anforderungen untergliedert. Die Fähigkeit der *InformationSENTnahme* aus Diagrammen wird in Anlehnung an Bertin (1974) und Schnotz (1994) in die zwei Unterkomponenten *Identifizierung* und *AbleSEN* unterteilt. Bezüglich der *Konstruktion* von Diagrammen können in Analogie zu den Teilbereichen der InformationSENTnahme die beiden Unterkomponenten *Aufbau des Rahmens* und *Eintrag der Daten* unterschieden werden (Lachmayer et al., 2007). In Lernmaterialien, wie z.B. den Schulbüchern aber auch in Prüfungsaufgaben wie dem Abitur müssen häufig Informationen aus beiden Repräsentationsformen Text und Diagramm zusammen entnommen und in Beziehung gesetzt werden, um anschließend diese Informationen integriert darzustellen. So ist für den kompetenten Umgang mit Diagrammen die Fähigkeit zur *Integration* die dritte Komponente des Strukturmodells (Lachmayer et al., 2007). Aufgaben zur Integration werden nach der Art der zu externalisierenden Repräsentation charakterisiert. Bei Aufgaben zur *informationSENTnahmenahen Integration* werden relevante Informationen in Text und Diagramm aufgefunden und verknüpft in einem Text dargestellt. Bei *der konstruktionsnahen Integrationen* werden diese Informationen verknüpft in einem Diagramm abgebildet (Lachmayer et al., 2007).

Was man unter dem Begriff Diagramm versteht, ist nicht eindeutig und bedarf einer näheren Betrachtung. Abhängig vom Diagrammtyp gelten spezifische Konventionen, die bei dessen Verwendung beachtet werden müssen. Besonders bei Diagrammen, die Zusammen-

hänge zwischen konkreten inhaltlichen Variablen repräsentieren ist die Beherrschung der Konventionen eine zentrale Voraussetzung für dessen korrekte Verwendung.

2.1.3 Diagrammkonventionen und die Verwendung von Diagrammen im Biologieunterricht

Es existiert eine Vielzahl von unterschiedlichen Diagrammtypen, die sich oft dahingehend unterscheiden, wie sie die Relationen oder Zusammenhänge aus dem realen Sachverhalt in der bildhaften Darstellung wiedergeben (Kosslyn, 1989). Eine mögliche Kategorisierung der Diagrammtypen kann danach erfolgen, ob die dargestellten Relationen qualitativer oder quantitativer Art sind (Lachmayer, 2008; Schnotz, 1994). So werden *qualitative Zusammenhänge* u. a. in Pfeil- oder Baumdiagrammen dargestellt, bei denen einzelne Worte oder Symbole durch Linien oder Pfeile verknüpft sind. Diese stellen rein inhaltlich interpretierbare Relationen dar (Schnotz, 2001). *Quantitative Zusammenhänge* werden mit sog. Kreis- und Achsendiagrammen visualisiert, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sie mindestens eine kontinuierliche Variable besitzen (Schnotz, 1994). Achsendiagramme spielen im naturwissenschaftlichen Unterricht eine besonders große Rolle, da sie häufig für Ergebnisdarstellungen und –interpretationen verwendet werden. Sie besitzen eine durch Konvention festgelegte Form und können daher nur nach bestimmten Regeln interpretiert und konstruiert werden (Lachmayer, 2008). Da diese Dissertation sich ausschließlich mit dem Umgang mit Achsendiagrammen, primär Linien- und Säulendiagramme beschäftigt, spielt die Beherrschung dieser Konventionen eine zentrale Rolle. Hierzu zählen u.a. das Auftragen der unabhängigen Variablen eines zusammenhängenden Sachverhalts auf die Abszisse (waagrechte Achse) und der abhängigen Variablen auf die Ordinate (senkrechte Achse). Die unabhängige Variable kann allgemein als diejenige Variable angesehen werden, die eine (vermutete) Auswirkung auf die abhängige Variable hat. Bei Untersuchungen wird die unabhängige Variable systematisch variiert, während die abhängige Variable diejenige ist, die gemessen wird (Lachmayer, 2008). Bei der Wahl des passenden Diagrammtyps ist auf das Skalenniveau zu achten. So sind in einem Liniendiagramm sowohl abhängige als auch unabhängige Variablen metrisch skaliert (Andreß, 2001; Dytham, 2003). In einem Säulendiagramm hingegen ist die unabhängige Variable nominal oder ordinal skaliert (Köhler, Schachtel & Voleske, 2002) und eignet sich daher zur Darstellung von Daten, bei der die Messungen nicht kontinuierlich erfolgten (Kattmann, 2006) (für eine ausführlichere Darstellung der Diagrammkonventionen siehe v. Kotzebue, Gerstl & Nerdel, eingereicht). So kann festgehalten werden, dass der Umgang mit Diagrammen bzw. deren Handhabung eine „spezifische Kulturtechnik [ist] und [...] als solche auch erlernt werden [muss]“ (Schnotz, 2002, S.72).

Die Basis der Diagrammkompetenz wird im Fach Mathematik gelegt. So werden Diagramme von der Primarstufe bis hin zum Abitur mit ansteigendem Abstraktionsniveau thematisiert. In den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife wird im Bereich der Kompetenz *Mathematische Darstellungen verwenden (K4)* „das Auswählen geeigneter Darstellungsformen, das Erzeugen mathematischer Darstellungen und das Umgehen mit gegebenen Darstellungen“ (KMK, 2012, S.18) gefordert, worunter u.a. auch Diagramme fallen. Diese in der Mathematik erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten können als Werkzeuge dienen, die angepasst an die spezifischen Anforderungen des jeweiligen Unterrichtsfaches ex-

plizit geschult werden müssen. Im Biologieunterricht steht die Darstellung von inhaltlichen Aspekten im Vordergrund. So werden meist Messdaten aus Analysen dargestellt oder auch bekannte Zusammenhänge verallgemeinernd veranschaulicht (Lachmayer, 2008). Infolgedessen handelt es sich bei Diagrammen, die in der Biologie verwendet werden, um Darstellungen von Zusammenhängen zwischen konkreten Variablen, bei denen die spezifischen Konventionen eine wichtige Rolle spielen (Lachmayer, 2008; Leinhardt, Zaslavsky & Stein, 1990).

Um Diagramminhalte richtig deuten zu können, muss zum einen methodisches Wissen zu Diagrammen beherrscht werden, aber zum anderen auch das entsprechende biologische Fachwissen bekannt sein. Schließlich müssen die konkreten inhaltlichen Aspekte mit den graphischen Diagrammsymbolen erfolgreich verknüpft werden (u.a. Bertin, 1974; Carpenter & Shah, 1998; Roth & Bowen, 2003). Diese Fähigkeit führt zu vielen Schwierigkeiten, die sich u.a. darin äußern, dass bei der Interpretation eines Diagramms häufig nur der Graphenverlauf beschrieben, aber nicht mit dem fachlichen Hintergrund in Beziehung gesetzt wird (Preece & Janvier, 1992). Neben den Problemen bei der Integration herrschen auch spezifische Schwierigkeiten bei der Konstruktion von Diagrammen, die Zusammenhänge zwischen konkreten Variablen darstellen. Anders als in rein abstrakt mathematischen Fällen müssen hier zunächst abhängige und unabhängige Variablen identifiziert und dann entsprechend der Konventionen auf den Achsen aufgetragen werden. Zudem muss hier aufgrund des vorliegenden Skalenniveaus der passende Diagrammtyp zur Darstellung gewählt werden (Lachmayer, 2008).

Wegen der unterschiedlichen Verwendung sowie den spezifischen Anforderungen in den Unterrichtsfächern bei nur bedingt funktionierender Anwendbarkeit der mathematischen Fähigkeiten auf einen naturwissenschaftlichen Kontext erscheint die Schulung des Umgangs mit Diagrammen auch explizit für naturwissenschaftliche Unterrichtsfächer notwendig (u.a. McDermott et al., 1987). Dadurch können die Schwierigkeiten mit dieser Repräsentationsart überwunden werden. Und man profitiert von deren zahlreichen Vorteilen, wie z.B. der Erleichterung des Schlussfolgerns (Larkin & Simon, 1987) oder der simultanen Darstellung großer Informationsmengen (Lachmayer, 2008). Für die Schulung sind Lehrkräfte nötig, die über ein entsprechendes diagrammspezifisches Professionswissen verfügen müssen. Bisher liegen jedoch kaum Forschungsbefunde darüber vor, wie dieses Wissen bei Lehrkräften oder Lehramtsstudierenden ausgeprägt ist, was u.a. daran liegen kann, dass der Umgang mit instruktionalen Bildern, wie Diagrammen noch kein explizites Thema der Lehrerbildung ist (McElvany et al., 2009).

2.2 Professionswissen von Lehrkräften

2.2.1 Theoretische Rahmenmodelle des Professionswissens von Lehrkräften

Die professionelle Handlungskompetenz von Lehrkräften stellt einen zentralen Beitrag zur Optimierung der Bildungsprozesse dar. Zu ihren vier Komponenten zählen Überzeugungen und Werthaltungen, motivationale Orientierungen, selbstregulative Fähigkeiten und Professionswissen (Baumert & Kunter, 2006). In dieser Dissertation wird das Professionswissen von Lehrkräften fokussiert, dem eine äußerst bedeutsame Rolle bei der Steuerung von Lehr- und

Lernprozessen zukommt (Baumert & Kunter, 2006; Bromme, 1992; Krauss et al., 2008; Lipowski, 2006), wie Elbaz schon 1983 (S. 45) verdeutlicht: „*The single factor which seems to have the greatest power to carry forward our understanding of the teacher’s role is the phenomenon teachers’ knowledge*“.

Über die Struktur des Professionswissens herrschen bisher noch viele unterschiedliche Auffassungen (Besser & Krauss, 2009; Jüttner & Neuhaus, 2013; Reinisch, 2009). Denn obwohl es viele theoretische Überlegungen zu diesem Thema gibt, lassen sich v.a. zwei Hauptgründe für diese Uneinigkeit anführen: zum einen sind es die verschiedenen Forschungsschwerpunkte, zum anderen ein Mangel an belastbaren empirischen Befunden (Baumert & Kunter, 2011). Die von Shulman (1986, 1987) eingeführte und von Bromme (1997) erweiterte Unterscheidung der strukturbildenden Komponenten Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisches Wissen stellen im deutschsprachigen Raum die Kernkategorien des Professionswissens von Lehrkräften dar (Krauss et al., 2011). Hierbei wurde die Bedeutung der Fachinhalte immer wieder betont, so fordert bereits Shulman (1986, S. 6) eine stärkere Fokussierung auf fachspezifische Aspekte in der Bildungsforschung: „*Why this sharp distinction between content and pedagogical process?*“. Seit etwa einem Jahrzehnt greifen vermehrt die deutschen Fachdidaktiken dieses Thema auf und sind auf der Suche nach praktischen Anhaltspunkten zur Verbesserung der Lehreraus- und fortbildung. Nach der Vorreiterstudie COACTIV³ aus der Mathematikdidaktik folgen nun einige Studien aus den Naturwissenschaftsdidaktiken, wie ProwiN⁴ oder KiL⁵. Diese adaptieren weitestgehend die Vorgehensweise der Studien für das Unterrichtsfach Mathematik und passen diese den naturwissenschaftlich spezifischen Unterrichtsanforderungen an (u.a. Tepner et al., 2012; Riese & Reinhold, 2012). Auch diese Dissertation reiht sich hier mit ein und geht Shulmans Forderung nach, indem sie fachspezifische Aspekte des Biologieunterrichts fokussiert.

Wegen unterschiedlicher theoretischer Rahmenmodelle werden die postulierten Wissensdimensionen des Professionswissens im deutsch- und englischsprachigen Raum nicht synonym verwendet und es herrschen Unklarheiten über die Anzahl und Trennbarkeit der Wissensdimensionen (Gramzow, Riese & Reinhold, 2013).

Auf der Grundlage des Rahmenmodells professioneller Handlungskompetenz werden im deutschsprachigen Raum das Fachwissen, fachdidaktische Wissen und pädagogische Wissen meist deutlich unterschieden und es konnten bereits des Öfteren die drei Dimensionen als eigenständige Konstrukte dargestellt werden (Kunter et al., 2011; Riese & Reinhold, 2012).

Im englischsprachigen Raum hingegen herrschen primär zwei Ansätze vor, die unterschiedliche Auffassungen über das fachdidaktische Wissen (engl. Pedagogical Content Knowledge, PCK) haben: das integrative und das transformative Modell (Jüttner & Neuhaus, 2013; Gramzow et al., 2013). PCK wird im integrativen Modell nicht als eigenständige Wis-

³ Professional Competence of Teachers, Cognitively Activating Instruction, and the Development of Students’ Mathematical Literacy (Baumert et al., 2010)

⁴ Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften (Tepner et al., 2012)

⁵ Messung professioneller Kompetenzen in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen (Kröger, Euler, Neumann, Härtig & Petersen, 2012)

sensdimension, sondern als Schnittmenge zwischen dem Fachwissen, dem Pädagogischen Wissen und dem kontextabhängigen Wissen über Unterrichtssituationen und –bedingungen aufgefasst (Gess-Newsome, 1999; Gramzow et al., 2013). Nach dem transformativen Ansatz wird PCK als eigenständige Dimension verstanden, die aus unterschiedlichen Facetten aufgebaut ist. Diese Facetten können jedoch auch in anderen Wissensdimensionen vorkommen, sodass PCK einer Mischung aus anderen Dimensionen wie dem Fachwissen und dem pädagogischen Wissen gleicht (Gramzow et al., 2013; Jüttner & Neuhaus, 2013; Magnusson, Krajcik & Borko, 1999). Zudem wird gemäß dem transformativen Modell angenommen, dass PCK sämtliches für die Unterrichtspraxis relevante Wissen darstellt (Gess-Newsome, 1999). So stimmt die deutsche Auffassung nach dem Modell der professionellen Handlungskompetenz in vielen Aspekten mit dem transformativen Ansatz überein, trennt jedoch deutlich in die drei Wissensdimensionen: Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisches Wissen (Gramzow et al., 2013).

Noch ist unklar, welches Konzept der Erforschung des Professionswissens für die Optimierung der Lehrerausbildung am gewinnbringendsten sein wird. Für die Einordnung und Interpretation der Studie und deren Ergebnisse ist es jedoch äußerst relevant, das zugrundeliegende Rahmenmodell - in diesem Fall das die professionelle Handlungskompetenz der Lehrkräfte und der inneren Strukturierung der Wissensdimensionen - zu erläutern (Gramzow et al., 2013).

2.2.2 Wissensdimensionen des Professionswissens von Lehrkräften

Unter *pädagogischem Wissen* versteht man unterrichtsbezogenes Wissen und Fähigkeiten, jedoch ohne fachspezifische Gesichtspunkte (Grossman, 1990; Tepner et al., 2012). Darunter zählen Wissen über Prinzipien der Klassenführung, angemessene Nutzung der Unterrichtszeit, allgemeine Instruktionprinzipien und Lernprozesse (Grossman, 1990).

Das *Fachwissen* einer Lehrkraft gilt als erforderliche Bedingung für den Fachunterricht, da sie nur dann in der Lage ist, Lernprozesse zu steuern, wenn sie über ein vertieftes Verständnis der fachlich behandelten Inhalte verfügt (z.B. Ball, Lubienski & Mewborn, 2001). Aufgrund fehlender empirischer Erkenntnisse ist bisher jedoch unklar, über welche Art und Tiefe des Fachwissens die Lehrkraft verfügen sollte, um einen „guten“ Unterricht gestalten zu können (Jüttner & Neuhaus, 2013). Bei der COACTIV-Studie wurde das mathematische Fachwissen auf der Ebene „tieferes Verständnis der Fachinhalte des Curriculums der Sekundarstufe“ (Krauss et al., 2011, S. 142) getestet, da dieses laut ihrer Argumentation nötig ist, um in fachlich schwierigen Situationen im Unterricht gewachsen zu sein und zum anderen aber auch um „sicher[zustellen, dass Argumentationsweisen und das Herstellen von Zusammenhängen, mithin das Sichern von begrifflichem Wissen, derart erfolgen kann, dass es an die typischen Wissensbildungsprozesse des Fachs, hier der Mathematik, anschließen kann“ (Krauss et al., 2011, S. 143). Offen bleibt hier dennoch weiterhin, welche Auswirkungen im Vergleich dazu die Ebene des reinen Universitätswissens, das i.d.R. vom schulischen Curriculum losgelöst ist, auf die Unterrichtsqualität und den Lernerfolg der Schüler hat. Bisher werden bei der Betrachtung des Fachwissens ausschließlich inhaltliche Aspekte fokussiert. Methodische Aspekte, die im fachlichen Kontext anzuwenden und zu transformieren sind, scheinen noch weitestgehend unbeachtet zu sein. Um diese Erkenntnislücke zu schlie-

ßen, stellt daher die gleichzeitige Fokussierung des inhaltlichen und methodischen Fachwissens einen vielversprechenden Ansatz dar.

Das Fachwissen alleine reicht nicht aus, um einen erfolgreichen Unterricht gestalten zu können. Es dient jedoch als nötige Basis, „auf der fachdidaktische Beweglichkeit entstehen kann“ (Baumert & Kunter, 2006; S. 27). *Fachdidaktisches Wissen* wird als das Verfügbarmachen von fachlichen Inhalten und das Schaffen von Lerngelegenheiten verstanden (Shulman, 1987). Durch dieses Wissen gelingt es dem Lehrer, den fachspezifischen Unterrichtsinhalt zu strukturieren, darzustellen, zu vermitteln und mit anderem Wissen zu vernetzen (Riese & Reinhold, 2012; Shulman, 1986). Die ursprüngliche Definition von Shulman (1987, S. 8) „special amalgam of content and pedagogy“ führt zu vielen unterschiedlichen Ansätzen, diese Wissensdimension näher zu beschreiben (siehe 2.2.1) und es ließ sich bisher zudem keine einheitliche Konzeptualisierung der inneren Struktur dieses komplexen Konstrukts finden (vgl. Abell, 2007; Riese & Reinhold, 2012).

Im deutschsprachigen Raum wird häufig das fachdidaktische Wissen in ein bis drei Teildimensionen unterschieden. So entschieden sich bspw. die ProwiN-Studie (Tepner et al., 2012) und auch Schmelzing (2010) für ein dreidimensionales Modell. Als Teildimensionen wurden hier Facetten, Wissenskomponenten bzw. Wissensarten und Inhaltsbereiche verwendet (Schmelzing, 2010; Tepner et al., 2012). Unter den Teildimensionen Facetten und Wissensarten wird jedoch abhängig vom Forschungsschwerpunkt etwas anderes verstanden. Beide Begriffe müssen somit näher betrachtet werden. Fachdidaktische Facetten werden als spezifische Kenntniskategorien verstanden und stellen zentrale Elemente des fachdidaktischen Wissens dar (Schmelzing, 2010; van Driel, De Jong & Verloop, 2002). Mehrheitlich werden die beiden Facetten Wissen über Schüler und Schülerkognitionen wie auch das Wissen über Instruktionen- und Vermittlungsstrategien auf der Grundlage der ursprünglichen Definition von Shulman (1986, 1987) betrachtet und teilweise um weitere Facetten erweitert (u.a. Schmelzing, 2010). Bei der Teildimension Wissensarten wird meist in deklaratives und prozedurales Wissen unterschieden. Problematisch erscheint die uneinheitliche Verwendung dieser Begriffe deshalb, weil aus Quellen von verschiedenen Wissenschaftsbereichen zitiert wird, wie z.B. der Philosophie, der Pädagogik oder der Leseforschung, die unterschiedliche Auffassungen über diese Wissensarten haben (Gramzow et al., 2013; Schmelzing, 2010; Tepner et al., 2012). Das deklarative Wissen wird meist relativ einheitlich als systematisiertes Theoriewissen aufgefasst, hingegen kann prozedurales Wissen als der kognitive Umgang mit diesem Theoriewissen, das Können in Bezug auf Unterricht oder auch die Basis von Handeln aufgefasst werden (Gramzow, et al., 2013). In dieser Dissertation wurde beim fachdidaktischen Wissen allein die Teildimension Facetten differenziert betrachtet. Die Inhaltsdimension beschränkt sich auf den Inhaltsbereich Photosynthese, um so explizite Rückschlüsse auf die Zusammenhänge zwischen Fach- und fachdidaktischem Wissen zu erhalten. Auf die Dimension Wissensarten wurde wegen der Begriffsproblematik verzichtet, jedoch wird unter der Annahme, dass Professionswissen eine kognitive Leistungsdisposition darstellt eher das deklarative Wissen betrachtet.

Dem Rahmenmodell der professionellen Handlungskompetenz von Baumert und Kunter (2006) folgend, wähnt man, dass die Wissensdimensionen des Professionswissens unterscheidbare Konstrukte darstellen, die sich jedoch gegenseitig beeinflussen. Da der Fokus

dieser Arbeit auf fachspezifischem Wissen und Methoden liegt, werden ausschließlich das Fachwissen und fachdidaktisches Wissen fokussiert und in jeweils verschiedene Komponenten unterteilt, die im Folgenden (2.3) näher beschrieben werden.

2.3 Komponenten des Professionswissens zum Umgang mit Diagrammen

Innerhalb dieser Schwerpunktsetzung wurden anhand des theoretischen Hintergrunds zur Diagrammkompetenz und zum Professionswissen Komponenten erarbeitet, über die (angehende) Biologielehrkräfte verfügen müssen, um sach- und adressatengerecht mit Diagrammen umgehen und im Unterricht biologische Inhalte vermitteln zu können.

Zum Fachwissen zählt das *inhaltliche Fachwissen*, also ein vertieftes Hintergrundwissen über das im Schulunterricht zu behandelnde Themengebiet (in Anlehnung an COACTIV, Krauss et al., 2011) sowie das *methodische Wissen zu Diagrammen*, worunter die Konstruktion von Diagrammen und die Informationsentnahme aus Diagrammen zu verstehen ist. Beim methodischen Wissen zu Diagrammen ist zu beachten, dass diese Aufgaben keinen biologischen Kontext besitzen, sondern mit der dort üblichen rein mathematischen Notation dargestellt werden. Neben diesen beiden Wissensbereichen zählen auch die folgenden drei Komponenten der biologiebezogenen Diagrammkompetenz zum Fachwissen, die jeweils in kontextualisierten Aufgaben vorkommen: *Konstruktion*, *konstruktionsnahe* und *informationsentnahmenaher Integration* (Lachmayer et al., 2007). Auf Aufgaben zur Komponente Informationsentnahme wurde hierbei zum einen aufgrund der Testlänge verzichtet, da bei einem zu langen Test die Items angesichts sinkender Motivation und Bearbeitungsqualität nicht mehr konstruktgemäß beantwortet werden und folglich nicht mehr von einem adäquaten Testergebnis ausgehen kann (Moosbrugger & Kelava, 2012). Zum anderen hat sich bei Lachmayer (2008) ergeben, dass sich dieser Aufgabentyp als tendenziell leichter als die anderen Diagrammaufgaben herausgestellt hat und damit bereits von Schülern im Vergleich zu Konstruktions- und Integrationsaufgaben recht gut beherrscht werden. Aus biologiedidaktischer Sicht scheint es daher angemessener, angehende Lehrkräften hinsichtlich der Bearbeitung und Vermittlung komplexerer Konstruktions- und Integrationsaufgaben zu überprüfen, hier ggf. Defizite in der Lehrerbildung zu konstatieren und zu beheben, um die Schüler perspektivisch bei ihren Schwierigkeiten in diesen Eigenleistungen angemessen zu unterstützen.

Beim fachdidaktischen Wissen werden die folgenden drei Komponenten fokussiert. Das *Wissen über Schülerkognitionen*, welches die Fähigkeit der (zukünftigen) Lehrkraft zur Vorhersage und Einschätzung von Schülerkognitionen und Fehlkonzepten zu Diagrammen im biologischen Kontext darstellt. Das *Wissen über das Potential der Aufgaben und Repräsentationen*, worunter die begründete Wahl von Aufgaben und Repräsentationen sowie die Wahl und Begründung von Aufgabenstellungen zu einem gegebenen Lernziel im Biologieunterricht zu verstehen sind. Zudem wird das *Wissen über biologiespezifische instruktionale Gestaltung und Unterrichtsstrategien* betrachtet, das zum einen das strukturierte Vorgehen bei der Bearbeitung von Diagrammaufgaben und zum anderen eine angemessene instruktionale Reaktion auf gegebene Diagrammaufgaben bedeutet (v. Kotzebue & Nerdel, 2012; v. Kotzebue & Nerdel, eingereicht).

3. Forschungsfragen

Bei der Betrachtung des aktuellen Forschungsstands zur Text-Bild-Verknüpfung und zum Professionswissen von Lehrkräften wird deutlich, dass in diesem Bereich auf verschiedenen Ebenen Forschungsbedarf besteht. Als häufig verwendete Repräsentationsart stellt der Umgang mit Diagrammen sowohl im Schul- als auch im hochschulischen Kontext für Lernende und Lehrende eine wichtige Fähigkeit dar. Da Diagramme nicht intuitiv verständliche Repräsentationen sind, deren Aufbau auf Konventionen beruhen, bereitet ihre Konstruktion wie auch ihre Interpretation Schülern wie auch Lehrern einige Schwierigkeiten. Diese sind besonders in den Naturwissenschaften prekär, da inhaltliches Wissen nur schwer mit dem methodischen Wissen verknüpft werden kann. Um Erkenntnisse bzgl. der Lehrerbildung zur Diagrammkompetenz zu erhalten, stellt sich zunächst die Frage, ob sich das bei Mittelstufenschülern bereits bestätigte Strukturmodell der Diagrammkompetenz (Lachmayer, 2008) auf Studienanfänger und damit auch auf zukünftige Lehrer ausweiten lässt. So können zudem mögliche Defizite in der Diagrammkompetenz identifiziert werden, die bis zum Schulabschluss nicht behoben werden konnten. Diese Ergebnisse sind für den naturwissenschaftlichen Unterricht aber auch für das naturwissenschaftliche Studium von großer Relevanz. Neben diesen Kenntnissen über das Fachwissen benötigt die Lehrerbildung des Weiteren Erkenntnisse über das fachdidaktische Wissen zur Diagrammkompetenz. Diese beiden fachspezifischen Kernkategorien des Professionswissens sind von besonderer Relevanz, da sie bedeutsame Einflussvariablen für einen erfolgreichen Unterricht darstellen (u.a. Borowski, Neuhaus, Tepner, Wirth & Fischer, 2010). Um daraus Rückschlüsse für eine effektive und angemessene Schulung in der biologiedidaktischen Lehrerausbildung zu ziehen, stellt sich die Frage, wie die Konstrukte des diagrammspezifischen Fach- und fachdidaktischen Wissens aufgebaut sind und welche wechselseitigen Zusammenhänge es zwischen diesen Wissensarten bei Lehramtsstudierenden gibt.

Folglich fokussiert diese Dissertation drei Fragen:

(1) Wie ist das Fachwissen zum Umgang mit biologischen Diagrammen bei Studienanfängern aufgebaut? Aus welchen Komponenten besteht das diagrammspezifische Fachwissen und welcher Zusammenhang besteht zwischen den einzelnen Komponenten?

(Aufsatz 1)

(2) Welche alternativen Konzepte zur Konstruktion von biologisch kontextualisierten Diagrammen haben Studienanfänger?

(Aufsatz 2)

(3) Wie ist das Fach- und fachdidaktische Wissen zum Umgang mit biologischen Diagrammen bei angehenden Biologielehrkräften aufgebaut? Aus welchen Komponenten bestehen das diagrammspezifische Fach- und fachdidaktische Wissen und welcher Zusammenhang besteht zwischen den einzelnen Komponenten?

(Aufsatz 3)

4. Darstellung der einzelnen Beiträge

Im Folgenden werden die nach den drei Forschungsfragen gegliederten Inhalte und Ergebnisse der Teilstudien zusammengefasst. Eine ausführlichere Darstellung findet sich in den entsprechenden Publikationen (siehe Anhang).

4.1 Modellierung der Komponenten des diagrammspezifischen Fachwissens (Aufsatz 1)

Konzeption und Aufbereitung (Review) der Publikation, Entwicklung der Items sowie Durchführung und Auswertung der Studie und publikationsbasierte Darstellung wurden im Rahmen der Dissertation vollzogen und federführend in Aufsatz 1 umgesetzt. Die Koautorin unterstützte den Prozess durch beratende Tätigkeit beim Erarbeiten des Forschungsplans sowie durch methodische Hilfestellung und inhaltliche Revision der Publikation. Der Aufsatz wurde bei der Zeitschrift „Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften“ veröffentlicht.

Kotzebue, L. v. & Nerdel, C. (2012). Professionswissen von Biologielehrkräften zum Umgang mit Diagrammen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 181-200.

In der Literatur wird häufig von Schwierigkeiten von Schülern beim Arbeiten mit Diagrammen berichtet. Diese beziehen sich fast ausschließlich auf Diagramme, die einen mathematischen oder physikalischen Zusammenhang (z.B. Weg-Zeit-Diagramme) darstellen. Eine Ausnahme hierbei stellt die Arbeit von Lachmayer et al. (2007) dar, die theoriegeleitet ein Modell zur Diagrammkompetenz entwickelt und anschließend mit Aufgaben aus biologischen Themenbereichen bei Schülern der neunten und zehnten Klasse empirisch belegt haben. Da die Aufgaben aus vielen unterschiedlichen biologischen Inhaltsbereichen stammten, bleibt bisher jedoch offen, wie sich das methodische und das inhaltliche Fachwissen auf die Komponenten Konstruktion und Integration der Diagrammkompetenz auswirken.

Zu diesem Zweck wurde ein Fragebogen entwickelt, der Diagrammaufgaben und entsprechende Aufgaben zum inhaltlichen Fachwissen nur zum Themenbereich Photosynthese enthält und zudem separat das methodische Wissen zu Diagrammen testet. Die Fragebogenkonzeption richtete sich bei den Diagrammaufgaben nach dem Modell der Diagrammkompetenz (Lachmayer et al., 2007).

In diesem Beitrag wurde untersucht, ob unsere postulierten Komponenten des diagrammspezifischen Fachwissens auch empirisch unterscheidbare Fähigkeiten darstellen und wie diese jeweils zusammenhängen.

An der Studie nahmen im Wintersemester 2011/2012 N=218 Studienanfänger verschiedener naturwissenschaftlicher Studiengänge der Technischen Universität München teil. Sie markieren einen wichtigen Ausgangspunkt für das fachspezifische Wissen zum Umgang mit Diagrammen, da aufgrund des Messzeitpunkts davon auszugehen ist, dass sie ihr entsprechendes Wissen über Diagramme im schulischen Kontext erworben haben und so ihr Wissensstand zum Schulabschluss abgeschätzt werden kann. Die Ergebnisse der Studie sollten daher Aussagen darüber zulassen, ob das Modell nach Lachmayer (2008) auch für Studienanfänger gültig ist und folglich für die Überprüfung des Fachwissens bei Lehramtsstudieren-

den als Voraussetzung für das fachdidaktische Wissen herangezogen werden kann. Zudem liefert die Studie auch Hinweise für die Hochschuldidaktik, denn als wesentlicher Bestandteil der naturwissenschaftlichen Kompetenz ist das Konstruieren und Lesen von Diagrammen bspw. bei der Darstellung von Versuchsergebnissen auch im Biologiestudium von großer praktischer Relevanz. Bei einer fachlichen Fehlleistung beispielsweise bei der Interpretation eines Graphen kann nicht automatisch auf mangelndes inhaltliches Wissen geschlossen werden, sondern es müssen zudem entsprechende methodische Kenntnisse vorliegen.

Der Fragebogen enthielt Multiple-Choice-Aufgaben zum inhaltlichen Fachwissen über den Bereich Photosynthese. Das methodische Wissen über Diagramme und dessen Konventionen wurde anhand von zwei kontextfreien offenen Aufgaben zur Informationsentnahme und Konstruktion getestet. Die Fähigkeit, mit kontextualisierten Diagrammaufgaben umzugehen wurde mit vier offenen Aufgaben überprüft: zwei zur Konstruktion und je einer zur informationsentnahmenahen Integration und zur konstruktionsnahen Integration. Diese Aufgaben haben die Photosynthese als Thema, zu deren Lösung jedoch kein explizites inhaltliches Fachwissen erforderlich war. Alle nötigen Informationen waren in den Aufgaben enthalten. Auf der Basis des Modells der Diagrammkompetenz wurde ein detailliertes Kodiermanual für die Aufgaben über das methodische Wissen zu Diagrammen und für die kontextualisierten Konstruktions- und Integrationsaufgaben entwickelt und die einzelnen Items stets mit richtig/falsch (1/0) ausgewertet. Durch konfirmatorische Faktorenanalysen wurde zunächst die Güte der fünf beschriebenen Komponenten des Fachwissens einzeln überprüft. Die anschließend berechneten Strukturgleichungsmodelle zeigen die Zusammenhänge zwischen den drei Komponenten der Diagrammkompetenz und ihre Vorhersage durch die zwei Prädiktoren in inhaltliches und methodisches Fachwissen.

Die Ergebnisse der berechneten Strukturgleichungsmodelle zeigten, dass das inhaltliche Fachwissen über den Themenbereich Photosynthese ein starker Prädiktor für beide Integrationsarten ist, insbesondere, wenn die Informationen in einem Text integriert dargestellt werden sollen. Zudem konnte gezeigt werden, dass das methodische Wissen zu Diagrammen einen mittleren prädiktiven Charakter dafür hat, ob auch kontextualisierte Diagramme konstruiert und ob aus ihnen und Texten Informationen entnommen werden können, um mit dieser integrierten Information Diagrammbestandteile konstruieren zu können. Zum einen korrelierten die Fähigkeit der Diagrammkonstruktion und der konstruktionsnahen Integration stark miteinander und zum anderen bestand zwischen den beiden Prädiktoren inhaltliches und methodisches Fachwissen ein mittlerer Zusammenhang.

Insgesamt unterstreicht diese Teilstudie der Dissertation, dass das Fachwissen zum Umgang mit Diagrammen ein komplexes Konstrukt aus mehreren Komponenten darstellt, deren Zusammenhänge bei einer angemessenen Schulung sowohl im Schul- wie auch im Hochschulkontext beachtet werden sollten.

4.2 Alternative Konzepte bei der Konstruktion von Diagrammen (Aufsatz 2)

Konzeption der Publikation, Aufbereitung des theoretischen Hintergrunds, Entwicklung der Items sowie Durchführung und Auswertung der Daten und publikationsbasierte Darstellung wurden im Rahmen der Dissertation vollzogen und federführend in Aufsatz 2 umgesetzt. Die

erstgenannte Koautorin half bei der Literaturrecherche sowie der Datenauswertung und -deutung. Die zweite Koautorin unterstützte den Prozess beratend durch Hilfestellungen beim Erarbeiten des Forschungsplans sowie der Datenauswertung und -deutung. Der Aufsatz wurde bei der Zeitschrift „Research of Science Education“ zur Veröffentlichung eingereicht.

Kotzebue, L. v., Gerstl, M. & Nerdel, C. (submitted). Alternative Conceptions for the Construction of Diagrams in Biological Contexts. *Manuscript submitted for publication in Research of Science Education*.

Damit Unterricht fachlich korrekt und adressatengerecht gestaltet werden kann, benötigt die Lehrkraft Wissen über die entsprechenden Schülerkognitionen, um diese angemessen zu beachten. Beim Konstruieren von Diagrammen können Schwierigkeiten besonders deutlich beobachtet und systematisiert werden. Nach Philipp (2008) haben Konstruktionsaufgaben den Vorteil, dass meist deutlich wird, welche Misskonzepte und Denkfehler einer falschen Antwort bzw. einem falschen Graphen zugrunde liegen. Alternative Konzepte stehen im Widerspruch zu den Vorstellungen, die Lehrpersonen ihren Schülern vermitteln wollen (Champagne, Klopfer & Gustone, 1982). Der Terminus *alternative Konzepte* ruft anders als die Begriffe „Misskonzepte“ oder „Fehler“ eine neutralere Assoziation hervor und verleitet dadurch die Lehrkraft eher dazu, den Lernprozess aus der Perspektive der Schüler zu sehen und zu versuchen, diesen für die Aneignung von fachlich richtigem Wissen konstruktiv zu nutzen (Mevarech & Kramarsky, 1997; Krüger, 2007).

Ziel der Untersuchung, über die in diesem Beitrag berichtet wird, ist es, alternative Konzepte bei der Konstruktion von Diagrammen mit biologischem Kontext zu erfassen und systematisch zu beschreiben. Diese Studie beschränkt sich dabei auf die Analyse von Linien-, Säulen- und Balkendiagramme, da gerade diese Achsendiagramme besonders häufig in Biologielehrbüchern vorkommen (u.a. Roth, Bowen & McGinn, 1999) und demnach für den Biologieunterricht eine große Bedeutung haben.

Insgesamt nahmen im Wintersemester 2011/12 N=437 Studienanfänger naturwissenschaftlicher Studiengängen an der Studie teil. Die Erhebung dieser Daten erfolgte anhand zweier Fragebögen: der erste Fragebogen enthielt Diagrammaufgaben zum Thema Photosynthese (n=218⁶) und der zweite zum Thema Ökologie (n=219). Es wurden jeweils zwei Konstruktionsaufgaben betrachtet, bei der die hierfür relevanten Daten aus der vorangestellten Aufgabenstellung gefiltert werden müssen. Die für die Konstruktion notwendigen Wertepaare sind entweder in Form einer Wertetabelle gegeben oder müssen aus einem gegebenen Diagramm abgelesen und jeweils zusammen mit einem dazugehörigen Informationstext erarbeitet werden. Zusätzliches Wissen wie z.B. biologisches Faktenwissen wird daher bei der Aufgabenbearbeitung nicht explizit gefordert, denn alle für die Lösung relevanten Informationen sind im Aufgabenmaterial gegeben. Somit sind für die Bearbeitung dieser Diagrammaufgaben zum einen methodisches Wissen zu Diagrammen und zum anderen die Fähigkeit, Diagramme zu konstruieren sowie aus verschiedenen Quellen Informationen zu integrieren notwendig. Ein Abdruck aller vier Aufgaben mit Lösungen (sinngemäß übersetzt

⁶ Hierbei handelt es sich um dieselbe Stichprobe wie in Aufsatz 1.

ins Englische) sowie eine detaillierte Analyse dieser anhand formaler Aufgabenmerkmale finden sich in *Aufsatz 2*.

Als theoretisches Fundament des deduktiven Kategoriensystems für die Einordnung der Aufgabenlösungen diente wie in *Aufsatz 1* das Strukturmodell der Diagrammkompetenz nach Lachmayer (2008). Die darin enthaltenen Aspekte in Bezug auf die Konstruktion von Diagrammen dienten als Kategorien, die bei der Analyse des Datenmaterials als richtig oder falsch eingestuft wurden. Das in dieser Studie verwendete deduktive Kategoriensystem umfasst folgende acht Kategorien: (1) Wahl des passenden Diagrammtyps; (2a) Zuordnung der Variablen zu ihren Achsen, (2b) Begründung der Achsenbelegung, (3) Zeichnen der Skalen, (4) Beschriftung der Achsen, (5) Zeichnen einer Legende, (6) Eintragen der Punktwerte, (7) Skizzierung einer Verbindungslinie zwischen Wertepaaren. Dieses theoretische Kategoriensystem wurde nachfolgend anhand des Datenmaterials durch induktive Kategorienbildung sukzessive erweitert. Um eine detailliertere Aussage in Bezug auf die Kognition im Umgang mit Diagrammen machen zu können, wurden dabei falsche Antworten in neue Kategorien unterteilt, da die gesamte qualitative Breite an Lösungsarten von Interesse war. Die identifizierten verschiedenen Lösungsarten bzw. alternativen Konzepte wurden anschließend quantifiziert, um Aussagen zur Bedeutung der aufgetretenen Lösungsarten machen zu können. Dabei wurde berücksichtigt, mit welcher Häufigkeit eine Aufgabe überhaupt bearbeitet worden ist.

Die Ergebnisse der Studie verdeutlichten einige Defizite der Studienanfänger im Umgang mit Diagrammen die z.T. bereits bei Schülern der Mittelstufe identifiziert wurden, wie die häufige Wahl des nicht immer korrekten Liniendiagramms oder die falsche Variablenbelegung auf den entsprechenden Achsen. Hinzu kamen alternative Konzepte, die auf den spezifischen Kontext der Aufgabenstellung zurückzuführen sind, z.B. zeigten sich inhaltliche Mängel bei der Achsenbeschriftung.

Zusammenfassend unterstreichen diese Befunde aufgrund der großen Beständigkeit bestimmter alternativer Konzepte den Bedarf an angemessenen Unterrichtsangeboten zur Schulung des Umgangs mit Diagrammen und ihren Konventionen im Biologieunterricht und gegebenenfalls auch später noch im hochschulischen Kontext, wie z.B. in Anfängervorlesungen. Die Identifikation von Schülerfehlern, deren Analyse und die entsprechenden Rückschlüsse auf alternative Konzepte, stellen eine zentrale Voraussetzung für einen erfolgreichen Unterricht dar (Schumacher, 2008). Hierfür braucht die Lehrkraft u.a. fachdidaktisches Wissen über Schülerkognitionen, wobei die in diesem Beitrag analysierten alternativen Konzepte bei Diagrammkonstruktion als Grundlage dafür dienen können.

4.3 Professionswissen angehender Biologielehrkräfte zur Diagrammkompetenz (Aufsatz 3)

Konzeption der Publikation, Aufbereitung des theoretischen Hintergrunds, Entwicklung der Items sowie Durchführung und Auswertung der Daten und publikationsbasierte Darstellung wurden im Rahmen der Dissertation vollzogen und federführend in Aufsatz 3 umgesetzt. Die Koautorin Frau Prof. Dr. Claudia Nerdel unterstützte den Prozess beratend durch inhaltliche

Revision und Umgestaltung von Textpassagen. Der Aufsatz wurde bei der Zeitschrift „Zeitschrift für Erziehungswissenschaft“ zur Veröffentlichung eingereicht.

Kotzebue, L. v. & Nerdel, C. (eingereicht). Modellierung und Analyse des Professionswissens zur Diagrammkompetenz bei angehenden Biologielehrkräften. *Manuskript eingereicht zur Publikation bei der Zeitschrift für Erziehungswissenschaft.*

Die fachspezifischen Wissensbereiche des Professionswissens von Lehrkräften, das Fachwissen und das fachdidaktische Wissen gelten als besonders erklärungsmächtige Faktoren von Expertenleistung (u.a. Baumert, Blum & Neubrand, 2004; Shulman, 1987). Im Bereich des Umgangs mit biologischer Fachsprache, zu der auch Repräsentationen wie Diagramme gehören, gibt es jedoch trotz der Aktualität des Themas noch kaum Erkenntnisse. Besonders relevant sind hierbei Kenntnisse über die Fähigkeiten Lehramtsstudierender, da man durch diese Rückschlüsse auf eine mögliche Verbesserung der Ausbildung ziehen kann. Ergebnisse der COACTIV-Studie aus dem Bereich Mathematik lassen zudem darauf schließen, dass das Fachwissen und das fachdidaktische Wissen bereits von Lehramtsstudierenden einen guten Hinweis auf das der erfahreneren Lehrkräfte gibt, da ein Großteil dieser Wissensbereiche in der universitären Ausbildung angeeignet wird (Krauss et al., 2008). Ziel dieses Beitrags ist es, erste Hinweise auf die Struktur des spezifischen Fachwissens und fachdidaktischen Wissens zu erhalten, um so Implikationen für die Lehreraus- und Weiterbildung im Bereich des Umgangs mit naturwissenschaftlichen Diagrammen zu geben. Bei dieser Studie wurden drei Forschungsfragen fokussiert. (1) Zunächst wurde betrachtet, über welches Fachwissen und fachdidaktische Wissen zur Diagrammkompetenz im biologischen Kontext angehende Biologielehrkräfte verfügen. (2) Anschließend wurden die Zusammenhänge zwischen den Komponenten des Fachwissens bzw. des fachdidaktischen Wissens zur Diagrammkompetenz im biologischen Kontext bei angehenden Biologielehrkräften identifiziert. (3) Der Einfluss des Fachwissens auf das fachdidaktische Wissen zur Diagrammkompetenz im biologischen Kontext bei angehenden Biologielehrkräften stellt unsere abschließende Forschungsfrage dar.

Im Wintersemester 2012/2013 nahmen an der Studie N=442 Lehramtsstudierende für das Fach Biologie teil, wobei es sich bei einer großen Mehrheit von 387 um angehende Gymnasiallehrkräfte handelt. Die Studienteilnehmer befanden sich zum Zeitpunkt der Befragung durchschnittlich im sechsten Semester und waren 24 Jahre alt. Die Erhebung fand an insgesamt 13 Universitätsstandorten in Deutschland, Österreich und der Schweiz statt und nahm jeweils etwa 60 Minuten in Anspruch. Neben demographischen Daten wurden mittels eines schriftlichen Tests die postulierten Komponenten des Fachwissens und des fachdidaktischen Wissens erhoben. Details zur Testentwicklung, Aufgabenbeispiele und Kodierungsvorgehensweise finden sich im *Aufsatz 3*. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind im Folgenden nach den Forschungsfragen gegliedert:

(1) Die acht postulierten Komponenten des diagrammspezifischen Fachwissens und des fachdidaktischen Wissens wurden jeweils durch konfirmatorische Faktorenanalysen zunächst auf ihre Güte getestet. Die Skalenmittelwerte der Konstrukte zeigten, dass die Aufgaben zum fachdidaktischen Wissen den Lehramtsstudierenden tendenziell schwerer fielen als die des Fachwissens. Bei den drei Komponenten der Diagrammkompetenz lässt sich eine auf-

steigende Schwierigkeit erkennen: eine starke Zunahme von Konstruktion zur konstruktionsnahen Integration und eine leichte Schwierigkeitszunahme von der konstruktionsnahen zur informationsentnahmenahen Integration. Insgesamt auffällig waren die Konstrukte methodisches Wissen zu Diagrammen und Konstruktion, die den Teilnehmern kaum Probleme bereiteten.

(2) Zur Untersuchung des Zusammenhangs der einzelnen Komponenten des diagrammspezifischen Fachwissens wurde ein Strukturgleichungsmodell entworfen, das den Einfluss des inhaltlichen Fachwissens und des methodischen Wissens zu Diagrammen auf die drei Komponenten der Diagrammkompetenz misst. Hierbei zeigte sich kein prädiktiver Wert des methodischen Wissens zu Diagrammen auf die Diagrammkompetenz, anders als dies bei den Ergebnissen der Studienanfänger im zuvor berichteten *Aufsatz 1* der Fall war. Das inhaltliche Fachwissen hingegen ist ein starker Prädiktor für konstruktionsnahe und informationsentnahmenahe Integration. Zudem korrelieren die beiden Integrationsarten stark miteinander.

Mittels eines weiteren Strukturgleichungsmodells konnte gezeigt werden, dass die postulierten Komponenten des fachdidaktischen Wissens - das Wissen über Schülerkognitionen, das Wissen über fachspezifische instruktionale Gestaltung und Unterrichtsstrategien und das Wissen über Aufgaben - drei empirisch voneinander abgrenzbare Facetten darstellen.

(3) Zur Betrachtung der Zusammenhänge zwischen den Komponenten des Fachwissens und des fachdidaktischen Wissens wurden die zuvor separat betrachteten latenten Variablen konstruktionsnahe und informationsentnahmenahe Integration zu einer einzigen zusammengefasst. Sie stehen zum einen für inhaltlich verwandte Themen und zum anderen zeigten alle ihre sieben Items bei einer konfirmatorischen Faktorenanalyse jeweils signifikante Faktorladungen auf der gemeinsamen latenten Variable Integration. Zudem wird dadurch ein sparsameres Modell möglich. Die Ergebnisse der zweiten Fragestellung dieser Studie zeigten bereits, dass das inhaltliche Fachwissen ein guter Prädiktor für die Fähigkeit ist, aus verschiedenen Repräsentationsarten Informationen zu integrieren, hingegen nicht für die Diagrammkonstruktion. Da bei dieser Fragestellung nun der Zusammenhang zwischen Fachwissen und fachdidaktischem Wissen untersucht werden sollte, lag die Vermutung einer mediierten Beziehung zwischen inhaltlichem Fachwissen und den Komponenten des fachdidaktischen Wissens nahe. Dies bestätigte sich in einem weiteren Strukturgleichungsmodell. Die latente Variable Integration wirkt als Mediator zwischen dem inhaltlichen Fachwissen und zumindest zwei der Komponenten des fachdidaktischen Wissens, dem Wissen über Schülerkognitionen und dem Wissen über fachspezifische instruktionale Gestaltung und Unterrichtsstrategien. So hat die Diagrammkompetenzkomponente Integration einen hohen prädiktiven Wert für die Fähigkeiten bzgl. dieser beiden Facetten des fachdidaktischen Wissens und wird selbst zu einem großen Anteil vom inhaltlichen Fachwissen vorhergesagt.

Zusammenfassend zeigte sich, dass das Fachwissen eine zentrale Rolle für die Entwicklung des fachdidaktischen Wissens spielt. Vor dem hier gegebenen speziellen Hintergrund des Umgangs mit biologischen Diagrammen sind es die beiden Faktoren inhaltliches Fachwissen über die behandelte Thematik und Integration von Informationen aus Text und Dia-

grammen, die die entscheidenden Fähigkeiten von (angehenden) Biologielehrkräften für die Ausbildung des diagrammspezifischen fachdidaktischen Wissens darstellen.

5. Diskussion

Basierend auf dem theoretischen Hintergrund zur Text-Bild-Verknüpfung und der Lehrerprofessionsforschung werden im Folgenden die empirischen Ergebnisse der Arbeit reflektiert. Hierzu werden das methodische Vorgehen und die zentralen Befunde im Überblick zusammengefasst und übergreifend diskutiert (5.1). Davon ausgehend werden Grenzen der Untersuchung dargelegt und Forschungsperspektiven geliefert (5.2). Abschließend werden Implikationen für die schulische und hochschulische Praxis genannt (5.3).

5.1 Diskussion des methodischen Vorgehens und der zentralen Befunde

Diese Dissertation setzt sich mit dem Wissen, das Biologielehrkräfte für einen sachgerechten und adressatengemäßen Umgang mit Diagrammen benötigen, auseinander. Trotz der Relevanz der Thematik, insbesondere für den naturwissenschaftlichen Unterricht, ist das Arbeiten mit Diagrammen bzw. die Text-Bild-Integration bisher kein Bestandteil der Lehrerbildung (McElvany et al., 2009). Im Bereich des Professionswissens von Lehrkräften finden sich häufig allgemeine, fachunabhängige Beschreibungen der einzelnen Wissensdimensionen, jedoch werden nur selten konkrete von Lehrkräften benötigte fach- und inhaltspezifische Wissensbereiche benannt und in Kombination mit ihrer didaktischen Anwendung empirisch überprüft. Aus diesem Grund hatte das methodische Vorgehen dieser Dissertation zum Ziel, für das Unterrichtsfach Biologie theoretisch begründete und empirisch erprobte Wissenskomponenten zu liefern. Zunächst wurde sich auf die zwei fachspezifischen Wissensdimensionen, das Fach- und das fachdidaktische Wissen beschränkt. Um die Breite dieser beiden Konstrukte zu erfassen, fokussierte diese Arbeit nur einen Themenbereich, die Photosynthese und eine Methode, den Umgang mit Diagrammen. Anhand der Forschungsliteratur wurden Komponenten des diagrammspezifischen Fach- und fachdidaktischen Wissens konzipiert, entwickelt und empirisch validiert.

5.1.1 Diagrammspezifisches Fachwissen

Beim Konstrukt Fachwissen wurde sich für einen Aufbau aus fünf Komponenten (inhaltliches Fachwissen, methodisches Wissen zu Diagrammen, Konstruktion, informationsentnahmenah und konstruktionsnahe Integration) entschieden. Dieses setzt sich aus zwei der drei Komponenten des Strukturmodells der Diagrammkompetenz von Lachmayer et al. (2007) zusammen: Konstruktion und Integration. Hierbei wurde gezielt auf die dritte Komponente Informationsentnahme verzichtet. Die Gründe dafür lagen einerseits darin, dass diese Fähigkeit bereits von Schülern der Mittelstufe vergleichsweise gut beherrscht wird und es somit aus biologiedidaktischer Sicht angemessener erscheint Lehramtsstudierende bzgl. der Bearbeitung und Vermittlung der komplexeren Diagrammaufgaben zu testen (Lachmayer, 2008). Des Weiteren stellt die Bearbeitung der Aufgaben zur Diagrammkompetenz zeitlich und kognitiv anspruchsvolle Tätigkeiten dar, die bei einer längeren Bearbeitung zu negativen motivationalen Effekten und sinkender Bearbeitungsqualität führen kann (Moosbrugger & Kelava, 2012). Da empirisch bereits gezeigt wurde, dass die Fähigkeit der Informationsentnahme einen viel stärkeren Zusammenhang mit der Integration, als die Konstruktion mit der Integration aufweist, wurde sich für die beiden letztgenannten Komponenten entschieden, um die

Diagrammkompetenz möglichst breit zu erfassen (Lachmayer, 2008). Anders als bei Mittelstufenschülern konnten die Fähigkeit der Text-Diagramm-Integration in die konstruktionsnahe und informationsentnahen Integration als voneinander unterscheidbare Konstrukte dargestellt werden (Lachmayer, 2008). In dieser Arbeit kommt neu hinzu, dass das inhaltliche Fachwissen und das methodische Wissen zu Diagrammen abgestimmt auf die Konstruktions- und Integrationsaufgaben getestet werden. Ziel ist es, sämtliche Anforderungen für die Bearbeitung von biologisch kontextualisierten Diagrammaufgaben zu erheben und ihre Zusammenhänge zu betrachten. Die Erhebung des Fachwissens wurde in dieser Arbeit folglich direkt überprüft und nicht in Form von zu vermeidenden indirekten Indikatoren, wie z.B. über die Anzahl von Fachkursen oder Abschlussnoten abgeschätzt, was häufig in der Professionswissensforschung noch der Fall ist (Baumert & Kunter, 2006).

Da mangels vorhandener Fragebögen zur Operationalisierung der Konstrukte ein neu konzipiertes Testinstrument zum diagrammspezifischen Fachwissen zum Einsatz kommen musste, hatte der Einsatz der neuerstellten Diagrammaufgaben bei Studienanfängern auch einen wichtigen methodischen Fokus: er diente zur Validierung der selbst entwickelten Fachwissensskalen für die weitere Verwendung und detaillierte Analyse in der Hauptstudie mit Lehramtsstudierenden.

Die Ergebnisse bestätigen, dass das Arbeiten mit Diagrammen ein komplexes Konstrukt darstellt, das aus verschiedenen Komponenten aufgebaut ist. So konnte das Strukturmodell der Diagrammkompetenz (Lachmayer et al., 2007) bezüglich der Unterscheidung der Komponenten Konstruktion und Integration erfolgreich auf Studienanfänger sowie weiter fortgeschrittenen Lehramtsstudierende erweitert werden. Insgesamt konnten die fünf postulierten Komponenten des diagrammspezifischen Fachwissens bestätigt werden, wobei sich das inhaltliche Fachwissen und das methodische Wissen zu Diagrammen als unterschiedlich gute Prädiktoren für die Fähigkeit der Diagrammkonstruktion und der Text-Diagramm-Integration herausstellten. Bei beiden Probandengruppen zeigte sich, dass mittels des inhaltlichen Fachwissens über die behandelnde (biologische) Thematik die Fähigkeit, Informationen aus Text und Diagramm zu integrieren und gemeinsam zu externalisieren, gut vorhergesagt werden kann. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass das wechselseitige Abgleichen der mentalen Modelle des Diagramms bzw. der propositionalen Repräsentation des Textes die Modellkonstruktion und -inspektion unter Zuhilfenahme des präsentierten inhaltlichen Fachwissens erfolgt (Schnotz & Bannert, 2003). Die integrierte mentale Repräsentation wird anschließend über den entsprechenden Repräsentationszweig entweder als Diagramm dargestellt (konstruktionsnahe Integration) oder in Form eines Textes kommuniziert (informationsentnahen Integration). Das inhaltliche Fachwissen, also das Verständnis der biologischen Fakten und Zusammenhänge stellt hier eine entscheidende Mittlerrolle bei der Wechselwirkung der mentalen Repräsentationen im Rahmen der Modellkonstruktion bzw. Modellinspektion dar, wie auch bereits das integrative Modell des Text-, Bild- und Diagrammverstehens nach Schnotz und Bannert (1999, siehe Abbildung 1) zeigt.

Im Gegensatz zur Integration stellte sich der prädiktive Wert des inhaltlichen Fachwissens für die Diagrammkonstruktion als sehr gering heraus. Diese Befunde können so gedeutet werden, dass - anders als bei der Integration - hier die Verstehensebene der Textoberflächenrepräsentation oftmals bereits ausreicht, um die Konstruktionsaufgabe zu lösen. Zahlen

können aus dem Text durch ihre andersartige Symbolstruktur herausgefiltert werden, ohne den Text inhaltlich durchdrungen zu haben. Die Diagrammkonstruktion kann durch das nötige Wissen über Konventionen erfolgen, wobei beim Vorliegen einer zeitlichen Variablen diese inhaltlich vereinfacht wird, da diese Variable oft automatisch aus Gewohnheitsgründen auf die Abszisse aufgetragen wird. Bei der Konstruktionsaufgabe, die in die Berechnungen der Strukturgleichungsmodelle miteinbezogen wurde, lag u.a. die Variable Zeit vor, was dazu geführt haben könnte, dass wenig inhaltliches Verständnis über den zu repräsentierenden Zusammenhang benötigt wurde, um diese korrekt zu lösen. So gleichen Aufgaben dieser Art mehr den Anforderungen des rein methodischen Wissens zu Diagrammen, welche insgesamt zu wenigen Problemen führten. Detaillierte Analysen verschiedener Konstruktionsaufgaben, die auch mehr inhaltliches Verständnis über die zugrundeliegende Thematik abverlangten, konnten jedoch belegen, dass selbst bei Studienanfängern noch teils beständige alternative Konzepte bzgl. der Diagrammkonventionen vorliegen. So erwies sich die Fähigkeit, zur Darstellung eines gegebenen Sachverhalts den passenden Diagrammtypen zu wählen oder die entsprechende Zuordnung der Variablen zu den Achsen selbst für Studienanfänger von naturwissenschaftlichen Fächern als nicht trivial. Zwar traten diese Schwierigkeiten seltener auf als bei den bisher in der Literatur berichteten Studien, welche die Fähigkeiten von Unter- oder Mittelstufenschülern beforsteten (Baker, Corbett & Koedinger, 2001; Lachmayer, 2008; Padilla, McKenzie & Shaw, 1986), dennoch zeigen die Befunde dieser Arbeit jedoch auch, dass die Schulung der Diagrammkompetenz im naturwissenschaftlichen Unterricht noch deutlich verbessert werden kann. Diese alternativen Konzepte bezüglich der Diagrammkonstruktion bzw. der –konventionen lassen zwar nicht automatisch auf Verständnisschwierigkeiten beim Lesen von Diagrammen schließen, führen jedoch nach selbstständiger Konstruktion zu Fehlinterpretation der vorliegenden Zusammenhänge. Beispielsweise stellt eine unkorrekte Achsenskalierung oder eine zu Unrecht verwendete Interpolationslinie einen Sachverhalt unzutreffend dar. Zudem führt die Unkenntnis dieser Konventionen vermutlich dazu, dass Diagrammanipulationen, wie sie teilweise in der Werbung aber auch bei vermeintlichen Ergebnisdarstellungen vorkommen, oft nicht erkannt werden (Ballstaedt, 1997). Eine empirische Untersuchung wie Studierende der Naturwissenschaften graphisch manipuliert dargestellte Studienergebnisse interpretieren steht jedoch noch aus. Das richtige Einschätzen von Ergebnisdarstellungen und das Hinterfragen deren korrekter Darstellungen sind für Studierende aber auch für Schüler hoch relevante Fähigkeiten, da sie so lernen, kritisch und bedacht mit Informationen umzugehen.

5.1.2 Diagrammspezifisches fachdidaktisches Wissen

In Anlehnung an bereits publizierte Items zum fachdidaktischen Wissen wie bei COACTIV (Krauss et al., 2011) oder ProwiN (Jüttner & Neuhaus, 2010) wurden sämtliche Skalen zum fachdidaktischen Wissen neu konzipiert. Die Wahl der untersuchten Facetten erfolgte nach der Auswertung einer Literaturrecherche, wobei stets die fachspezifische Methode, das heißt das Arbeiten mit Diagrammen als zentrales Entscheidungselement diente. Die Entscheidung für die Facette Wissen über biologiespezifische instruktionale Gestaltung und Unterrichtsstrategien fiel aufgrund der hohen Relevanz einer klaren Instruktion im Schulalltag, die stets als Gütekriterium von gutem Unterricht zählt (u.a. Weinert & Helmke, 1997). Besonders beim

Bearbeiten von Diagrammaufgaben ist eine klar strukturierte Vorgehensweise des Lehrers aufgrund der Komplexität und der vielen zu beachtenden Schritten zentral, da es ansonsten zu Orientierungsschwierigkeiten kommen kann. Das Wissen über Schülerkognitionen ist für eine adressatengerechte Unterrichtsplanung und -gestaltung nötig, da durch die Kenntnisse über typische Schülervorstellungen angemessene didaktische Gelegenheiten für ein verständnisvolles Lernen ermöglicht werden können (Brunner et al., 2006). Da in der Literatur immer wieder von Schwierigkeiten beim Umgang mit Diagrammen berichtet wird, wurde auch diese Facette des fachdidaktischen Wissens integriert. Außer der in Lachmayer (2008) berichteten qualitativen Fehleranalyse von markanten Fehlern bei der Diagrammkonstruktion herrschte noch ein Mangel an empirischen Befunden zu alternativen Konzepten beim Umgang mit biologisch kontextualisierten Diagrammen. Um diese Erkenntnislücke weiter zu schließen, wurden vier ausgewählte Konstruktionsaufgaben mit dem Thema Photosynthese systematisch analysiert, um anhand der Ergebnisse realistische Problemstellungen zum Wissen über Schülerkognitionen konzipieren zu können. Da Diagramme im Schulkontext meist in Verbindung mit Aufgaben auftreten, ist es eine wichtige Fähigkeit eines Lehrers, deren Anforderungen und Ziele einschätzen zu können, um einen adäquaten Unterrichtseinsatz zu ermöglichen. Die üblichere Bezeichnung der Facette Wissen über das Potential der Aufgaben wurde um den Begriff der Repräsentationen erweitert, da in dieser Arbeit zudem der Aspekt der angemessenen Repräsentationen betrachtet wurde. So standen bei der Facette Wissen über das Potential von Aufgaben und Repräsentationen zum selben fachlichen Thema verschiedene Diagramme zur Wahl, aus denen eines gut begründet ausgewählt werden sollte. Neben diesen drei Facetten wurde der Einbezug der Facetten Wissen über das Curriculum und über die Bildungsstandards zunächst in die Pilotierungsstudie mitaufgenommen. Aufgrund der Ergebnisse wurden die Aufgaben dazu zunächst für die Folgestudie weiter eingeschränkt und optimiert. Trotz dieser Veränderungen kam es zu keinen annehmbaren Ergebnissen, so dass diese Facetten abschließend verworfen werden mussten. Mögliche Gründe hierfür können darin liegen, dass sich das curriculare Wissen rein auf den inhaltlichen Themenbereich Photosynthese und nicht auf den Einsatz von Diagrammen bezogen hat. Da diese Methode bei sehr vielen Themen verwendet werden kann, erwies sich die Itemkonstruktion als äußerst schwierig, da ein rein quantitatives Auszählen an Curriculumsthemen, bei denen Diagramme eingesetzt werden können sich nicht als sinnvoll erwiesen hat. Das Scheitern der Facette Wissen über die Bildungsstandards könnte darin begründet sein, dass diese in den Didaktikveranstaltungen der verschiedenen Standorte vermutlich unterschiedlich ausführlich thematisiert worden waren und bei der Aufgabenbeantwortung die reine Kenntnis über die Standards maßgeblich war. Die Problematik bei der Fähigkeit der Einordnung von Aufgaben in entsprechende Anforderungsbereiche könnte an dem mangelnden Wissen über den genauen Vorwissensstand der in der Aufgabe nur fiktiven Schüler liegen, welches das Einordnen erschwert. Im Aufgabenstamm wurde zwar die Jahrgangsstufe dieser Schüler angegeben, nicht aber inwiefern die Thematik bereits im Unterricht behandelt worden war. Folglich ist bei Aufgaben, deren Anforderungsbereiche eingeschätzt werden sollen die präzise Angabe dieser Ausgangsvoraussetzungen vonnöten.

In Abstimmung mit dem theoretischen Hintergrund zur Diagrammkompetenz wurden in die Fragebogenkonzeption weitere Hinweise aus Experteninterviews (Sechs Experten:

Fachdidaktiker und erfahrene Lehrkräfte) eingebaut, um so ein möglichst valides Testinstrument mit einer praxisrelevanten Darstellung zu erhalten. Zunächst wurden die Aufgaben an Lehramtsstudierenden zweier deutscher Universitäten erprobt⁷. Da es bisher im Bereich des diagrammspezifischen fachdidaktischen Wissens keinerlei Material gegeben hatte, wurden in der Pilotierungsstudie zunächst weitestgehend offene Aufgaben eingesetzt und anhand eines Kodierleitfadens systematisch ausgewertet. Anhand dieser Ergebnisse wurden einige Aufgaben zum Teil verworfen bzw. dahingehend verändert, dass die offenen zu geschlossenen Antwortformaten umgestaltet wurden. Dadurch konnten in der darauffolgenden Studie mit einer größeren Stichprobe Strukturgleichungsmodelle berechnet und die Komponenten des fachdidaktischen Wissens mit denen des Fachwissens in Verbindung gesetzt werden.

Das Konstrukt diagrammspezifisches fachdidaktisches Wissen konnte erfolgreich in drei Facetten gegliedert werden, wobei die Diagrammkompetenzkomponente Integration nur für zwei dieser Facetten einen hohen prädiktiven Wert aufweist. Eine mögliche Ursache hierfür kann an der Itemgestaltung liegen. Die Items zum Wissen über Schülerkognitionen wie auch die zum Wissen über instruktionale Gestaltung und Unterrichtsstrategien benötigten mehr Wissen über Diagramme als die Items zum Wissen über Aufgaben und Repräsentation. So lag bspw. hier der Fokus neben dem Diagramm darin, die Aufgabe und das zugehörige Lernziel richtig zu erfassen. Der prädiktive Charakter der Text-Diagramm-Integration bei den anderen beiden Facetten kann darin begründet sein, dass das fachdidaktische Wissen zum einen inhaltliches aber auch methodisches Fachwissen als Voraussetzung benötigt, hier in der Form von Integration. So stellt das Beantworten von Aufgaben zum fachdidaktischen Wissen äußerst komplexe Anforderungen dar, in dem meist Text und Diagramm unter der Berücksichtigung von inhaltlichem Fachwissen und weiteren didaktischen Aspekten wie dem Wissen über Schülerkognitionen berücksichtigt werden müssen. Die mentalen Repräsentationen müssen hierfür mehrfach die Modellinspektions- und Modellkonstruktionsprozesse durchlaufen, ehe sie gemeinsam externalisiert werden können. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fähigkeit der Text-Diagramm-Integration als Mediator zwischen dem inhaltlichen Fachwissen und dem fachdidaktischen Wissen fungiert und folglich in diesem komplexen Prozess und für die Unterrichtspraxis eine entscheidende Rolle spielt.

Abschließend unterstreichen die Befunde dieser Dissertation zudem erneut, dass auch in diesem Kontext die Wissensdimensionen Fachwissen und fachdidaktische Wissen, dem Rahmenmodell der professionellen Handlungskompetenz von Baumert und Kunter (2006) folgend, voneinander trennbare Konstrukte darstellen, deren einzelne Komponenten sich gegenseitig beeinflussen. Zudem zeigt sich, dass das Fachwissen nicht das fachdidaktische Wissen ersetzen kann, welches somit eine zentrale Rolle in der Lehrerausbildung einnimmt (u.a. Krauss et al., 2011; Riese & Reinhold, 2012).

5.2 Grenzen der Untersuchung und Forschungsperspektiven

Diese Arbeit liefert ein theoretisch erarbeitetes Strukturmodell mit empirischen Befunden zum fachspezifischen Professionswissen zur Diagrammkompetenz mit biologisch kontextua-

⁷ Die Validierungsstudie des Testinstruments zum fachdidaktischen Wissen wurde nicht publiziert und wird im Rahmen dieser kumulativen Dissertation daher nicht ausführlich berichtet.

lisierten Aufgaben. Hierbei wurde größtenteils theoretisches wie empirisches Neuland betreten. Daher gibt es zahlreiche Ansätze für weiterführende Forschung, wobei die Erkenntnisse dieser Arbeit als Grundlage hierfür dienen können.

Gegenstand weiterer Untersuchungen sollte die Übertragbarkeit der Ergebnisse dieser Dissertation auf weitere biologische Themenbereiche, wie z.B. die Ökologie oder auch auf andere Unterrichtsfächer wie die Geographie oder die Chemie sein. Auch bei diesen Fächern stellen Diagramme ebenso ein wichtiges Kommunikationsmittel dar. Diese Art Replikationsstudien könnten den Geltungsbereich der Ergebnisse erweitern und eine allgemeine jedoch stets inhaltsabhängige Schulungsempfehlung liefern.

Der entwickelte und erprobte Test stellt einen ersten Ansatz für die empirische Erforschung des Fach- und fachdidaktischen Wissens zum Umgang mit Diagrammen dar, dessen Weiterentwicklungsmöglichkeiten spannende Forschungsfragen aufwerfen. Da die Aufgaben bisher meist offene Antwortformate besaßen, konnten aufgrund der beschränkt zur Verfügung stehenden Ressourcen der Probanden nur wenige Aufgaben zu den einzelnen Komponenten gestellt werden. So wäre es interessant herauszufinden, ob es messtheoretisch umsetzbar ist, das Professionswissen zum Umgang mit kontextualisierten Diagrammaufgaben in einem Fragebogen zu testen, der mehr geschlossene Antwortformate besitzt oder der auch Wissensaspekte einzeln prüfen kann. Beispielsweise wäre es erstrebenswert, die Anforderungen zur Diagrammkompetenz, wie z.B. die richtige Zuordnung der Variablen zu den Achsen getrennt zu testen oder aber auch fachdidaktisch adäquate Instruktionen in einem eher geschlossenem Antwortformat zu prüfen, um so diese Fähigkeiten an einer größeren Anzahl von Aufgaben zu erfassen. Dies würde ermöglichen, Aspekte wie die Anzahl von Fachbegriffen, die Textlänge oder ähnliches als schwierigkeitsgenerierende Merkmale systematisch zu überprüfen, um so messen zu können, inwiefern die rein diagrammspezifischen Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Lösung der Aufgabe beigetragen haben. Zudem wäre eine Befragung an einer größeren Stichprobe möglich.

Des Weiteren ist die Erforschung der Gedankengänge der Lehramtsstudierenden bei fachdidaktischen Entscheidungen bezüglich des Diagrammeinsatzes im Biologieunterricht ein höchst relevantes Forschungsanliegen. Durch qualitative Erhebungsmethoden, wie z.B. einer Studie zum lauten Denken könnten die ablaufenden Denkprozesse der Facetten des diagrammspezifischen fachdidaktischen Wissens an gegebenen Unterrichtsszenarien näher erforscht werden. Dies würde ermöglichen, dass beispielsweise nicht nur festgestellt werden kann, für welche Repräsentation sich die angehende Lehrkraft entscheidet, sondern es können hierfür auch die Hintergründe beleuchtet werden, wie z.B. von ihr damit angestrebten Lernziele. Zudem kann darauf eingegangen werden, wie Lehramtsstudierende instruktional auf häufig auftretende alternative Konzepte reagieren wie dem Zeichnen einer Interpolationslinie bei diskontinuierlichen Daten oder der fehlerhaften Zuordnung der Variablen zu den entsprechenden Achsen. Ausgehend von diesen dargelegten Gedankengängen können mögliche Defizite aufgedeckt und konkrete Folgerungen für die fachdidaktische Lehrerbildung gezogen werden.

Es kann jedoch nicht abgeschätzt werden, inwiefern diese Studie Auswirkungen auf die Unterrichtsqualität hat. So geht Wahl (2002) von einem Unterschied zwischen dem Professi-

onswissen einer Lehrkraft und dem von ihr im Unterricht aktivierbaren Wissen aus. Folglich sind weitere Studien vonnöten, die neben dem Professionswissen auch den Unterricht und die Auswirkungen auf die Schüler betrachten. Der in dieser Arbeit konzipierte fachspezifische Fragebogen könnte in Verbindung mit Unterrichtsbeobachtungen und Messungen der Diagrammkompetenz der Schüler vor und nach einem Unterricht, in dem das Arbeiten mit Diagrammen explizit geschult wurde, verglichen werden. Anschließend können Rückschlüsse von den Fragebogenergebnissen der Lehrkraft zur beobachteten Unterrichtsqualität und zum Lernzuwachs der Schüler gezogen werden.

5.3 Implikationen für die schulische und hochschulische Praxis

Im Rahmen dieser Dissertation konnten vorangegangene Forschungsbefunde teilweise repliziert sowie weiterführende Erkenntnisse gewonnen werden. Hierzu gehören weitere Befunde zur Diagrammkompetenz sowie eine erste Bestandsaufnahme des diagrammspezifischen Fach- und fachdidaktischen Wissens Lehramtsstudierender mit dem Unterrichtsfach Biologie. Aus den Befunden dieser Arbeit lassen sich vor allem vier Hauptfolgerungen für die Lehrerausbildung und die Schulung des Umgangs mit Diagrammen im Unterricht ableiten. So ist eine zunächst getrennte Schulung der Bereiche der Diagrammkompetenz notwendig. Denn gemäß den Ergebnissen der Studie lässt eine erfolgreiche Text-Diagramm-Integration nicht darauf schließen, dass auch die Diagrammkonstruktion beherrscht wird (siehe auch Lachmayer, 2008). Außerdem muss in diesem Zusammenhang hinzugefügt werden, dass die Schulung der Methode an einem konkreten fachlichen Inhalt erfolgen muss, da es sonst zu Problemen in der Anwendung führt. So hatten die Probanden mit den kontextualisierten Aufgaben am meisten Schwierigkeiten. Diese Befunde sind im Einklang mit anderen Studien, die zeigten, dass Schüler auch besonders viele Probleme mit Diagrammaufgaben haben, bei denen inhaltliches Fachwissen in die Lösung der Aufgabe intergiert werden muss (Baumert et al., 2000). Als dritte Folgerung lässt sich anführen, dass die Schulung der drei voneinander trennbaren Facetten des fachdidaktischen Wissens idealerweise in zwei aufeinanderfolgenden Lehrgängen erfolgt. So sollen zunächst die Schülerkognitionen, das instruktionale Vorgehen und die geeignete Aufgaben- und Repräsentationswahl anhand konkreter Beispiele jeweils getrennt gelehrt werden, ehe das Wissen über diese Facetten aufeinander bezogen angewendet werden kann. Schließlich können die Erkenntnisse aus der Teilstudie zu den alternativen Konzepten als Grundlage für die fachdidaktische Schulung über Schülerkognitionen im Bereich der Konstruktion dienen. Sowohl in hochschuldidaktischen Seminaren wie auch in Lehrerfortbildungen können Diagrammkonventionen und die Anforderung bei der Konstruktion von biologisch kontextualisierten Diagrammen explizit thematisiert werden. Anhand der einzelnen Konstruktionsschritte können die entsprechenden Regeln und die hierbei möglichen Probleme nun an konkreten Beispielen behandelt werden. Lehramtsstudierende und Lehrer werden zum einen auf diese Schwierigkeiten gezielt aufmerksam gemacht, zum anderen sollten in diesen fachdidaktischen Schulungen aber auch gemeinsam Strategien entwickelt werden, wie diese alternativen Konzepte zur Diagrammkonstruktion beispielsweise durch Conceptual Change Maßnahmen dauerhaft reduziert werden können.

Literatur

- Abell, S. K. (2007). Research on Science Teacher Knowledge. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 1105–1149). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Andreß, H. J. (2001). Glossar zur Datenerhebung und statistischen Analyse. Verfügbar unter <http://psydok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2004/268/> [31.10.2013]
- Baker, R. S., Corbett, A. T., & Koedinger, K. R. (2001). Toward a model of learning data representations. In J. D. Moore & K. Stenning (Hrsg.), *Proceedings of the Twenty-Third Annual conference of the Cognitive Science Society* (S. 45–50). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Ball, D. L., Lubienski, S. T. & Mewborn, D. S. (2001). Research on teaching mathematics. The unsolved problem of teachers' mathematical knowledge. In V. Richardson (Hrsg.), *Handbook of research on teaching* (S. 433–456). New York: Macmillan.
- Ballstaedt, S.-P. (1997). *Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial*. Weinheim : Beltz.
- Baumert, J., Blum, W. & Neubrand, M. (2004). Drawing the lessons from PISA 2000. Long-term research implications: Gaining a better understanding of the relationship between system inputs and learning outcomes by assessing instructional and learning processes as mediating factors. In D. Lenzen, J. Baumert, R. Watermann & U. Trautwein (Hrsg.), *PISA und die Konsequenzen für die erziehungswissenschaftliche Forschung* (S. 143–158). Münster: Waxmann.
- Baumert, J., Bos, W. & Lehmann, R. (Hrsg.). (2000). *TIMSS/III. Dritte internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn: Band 2. Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe*. Opladen: Leske & Budrich.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2011). Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften - Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29–53). Münster: Waxmann.
- Baumert, J., Kunter, M., Blum, W., Brunner, M., Voss, T., Jordan, A. et al. (2010). Teachers' Mathematical Knowledge, Cognitive Activation in the Classroom, and Student Progress. *American Educational Research Journal*, 47(1), 133–180.
- Baumert, J. Stanat, P., & Demmrich, A. (2001). PISA 2000. Untersuchungsgegenstand, Grundlagen und Durchführung der Studie. In D. PISA-Konsortium (Hrsg.), *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 15–68). Opladen: Leske u. Budrich.
- Bertin, J. (1974). *Graphische Semiologie: Diagramme, Netze, Karten*. Berlin: de Gruyter.
- Besser, M. & Krauss, S. (2009). Zur Professionalität als Expertise. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, D. Sembill, R. Nickolaus & R. Mulder (Hrsg.), *Lehrer-*

- professionalität. Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung* (S. 71–82). Weinheim: Beltz.
- Borowski, A., Neuhaus, B. J., Tepner, O., Wirth, J., & Fischer, H. E. (2010). Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften (ProwiN) – Kurzdarstellung des BMBF-Projekts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 167–175.
- Bromme, R. (1992). *Der Lehrer als Experte: Zur Psychologie des professionellen Wissens*. Bern: Huber.
- Bromme, R. (1997). Kompetenzen, Funktionen und unterrichtliches Handeln des Lehrers. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Pädagogische Psychologie, Bd. 3. Psychologie des Unterrichts und der Schule* (S. 177–212). Göttingen: Hogrefe.
- Brunner, M., Kunter, M., Krauss, S., Klusmann, U., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., Dubberke, T., Jordan, A., Löwen, K. & Tsai, Y.-M. (2006). Die professionelle Kompetenz von Mathematiklehrkräften: Kozeptualisierung, Erfassung und Bedeutung für den Unterricht. Eine Zwischenbilanz des COACTIV-Projekts. In M. Prenzel & L. Allolio-Näcke (Hrsg.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Abschlussbericht des DFG Schwerpunktprogramms* (S.54-82). Münster: Waxmann.
- Carpenter, P. A. & Shah, P. (1998). A model of the perceptual and conceptual processes in graph comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 4, 75-100.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E. & Gustone, R. F. (1982). Cognitive research and the design of science instruction. *Educational Psychologist*, 17, 31–53.
- Dreyfus, T. & Eisenberg, T. (1990). On difficulties with diagrams: Theoretical issues. In G. Booker, P. Cobb, & T. N. De Mendicuti (Hrsg.), *Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (S. 27–36). Oaxtepe: PME.
- Dytham, C. (2003). *Choosing and Using Statistics: A Biologist's Guide*. Oxford: Blackwell.
- Elbaz, F. (1983). *Teacher thinking: A study of practical knowledge*. New York: Nichols.
- Felbrich, A. (2005). *Kontrastierungen als effektive Lerngelegenheiten zur Vermittlung von Wissen über Repräsentationsformen am Beispiel des Graphen einer linearen Funktion*. Technische Universität Berlin.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. In J. Gess-Newsome & N. Lederman (Hrsg.), *Examining pedagogical content knowledge. The construct and its implications for science education* (S. 3–17). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Graesser, A. C., Millis, K. K. & Zwaan, R. A. (1997). Discourse comprehension. *Annual Review of Psychology*, 48, 163-189.
- Gramzow, Y., Riese, J. & Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 7-30.
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher. Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.

- Jüttner, M. & Neuhaus, B. J. (2010). Vom Schülerfehler zum fachdidaktischen Wissenstest. Ansätze zur Entwicklung von Items, die das fachdidaktische Wissen von Biologielehrkräften prüfen. In U. Harms & R. Klee (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik* (S. 27–39). München u.a.: Studienverl.
- Jüttner, M. & Neuhaus, B. J. (2013). Das Professionswissen von Biologielehrkräften – ein Vergleich zwischen Biologielehrkräften, Biologen und Pädagogen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 31-49.
- Kattmann, U. (2006). Diagramme. In H. Gropengießer, & U. Kattmann, (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie*. (S. 340–356). Köln: Aulis.
- KMK (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder der Bundesrepublik Deutschland). (2004). *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Biologie*. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Biologie.pdf [05.11.2013].
- KMK (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder der Bundesrepublik Deutschland). (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004*. München: Wolters Kluwer.
- KMK (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder der Bundesrepublik Deutschland). (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004*. München: Wolters Kluwer.
- KMK (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder der Bundesrepublik Deutschland). (2012). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.10.2012*. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2012/2012_10_18-Bildungsstandards-Mathe-Abi.pdf [05.11.2013].
- Köhler, W., Schachtel, G. A. & Voleske, P. (2002). *Biostatistik: Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Kosslyn, S. M. (1989). Understanding charts and graphs. *Applied Cognitive Psychology*, 3(3), 185-225.
- Kotzebue, L. von, Gerstl, M. & Nerdel, C. (eingereicht). Alternative Conceptions for the Construction of Diagrams in Biological Contexts.
- Kotzebue, L. von & Nerdel, C. (2012). Professionswissen von Biologielehrkräften zum Umgang mit Diagrammen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 181–200.
- Kotzebue, L. von & Nerdel, C. (eingereicht). Modellierung und Analyse des Professionswissens zur Diagrammkompetenz bei angehenden Biologielehrkräften.
- Kozma, R., Chin, E., Russell, J. & Marx, N. (2000). The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. *Journal of the Learning Sciences*, 9(2), 105-143.
- Kramarski, B. (2004). Making sense of graphs: does metacognitive instruction make a difference on students' mathematical conceptions and alternative conceptions? *Learning and Instruction*, 14(6), 593-619.

- Krauss, S., Blum, W., Brunner, M., Neubrand, M., Baumert, J., Kunter, M., Besser, M. & Elsner, J. (2011). Konzeptualisierung und Testkonstruktion zum fachbezogenen Professionswissen von Mathematiklehrkräften. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 135–161). Münster: Waxmann.
- Krauss, S., Neubrand, M., Blum, W., Baumert, J., Brunner, M., Kunter, M. & Jordan, A. (2008). Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COACTIV-Studie. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 29, 223–258.
- Kröger, J., Euler, M., Neumann, K., Härtig, H. & Petersen, S. (2012). Messung Professioneller Kompetenz im Fach Physik. In Bernholt, S. (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Oldenburg 2011* (S. 616–618). Berlin: LIT Verlag.
- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Handbuch der Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 81–92). Berlin: Springer.
- Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S. & Neubrand, M. (Hrsg.) (2011). *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Münster: Waxmann.
- Lachmayer, S. (2008). *Entwicklung und Überprüfung eines Strukturmodells der Diagrammkompetenz für den Biologieunterricht*. Unveröffentlichte Dissertation: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Lachmayer, S., Nerdel, C. & Prectl, H. (2007). Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 161–180.
- Larkin, J. & Simon, H. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99.
- Leinhardt, G., Zaslavsky, O. & Stein, M. K. (1990). Functions, Graphs, and Graphing: Tasks, Learning, and Teaching. *Review of Educational Research*, 60, 1–64.
- Lipowsky, F. (2006). Auf den Lehrer kommt es an. Empirische Evidenzen für Zusammenhänge zwischen Lehrerkompetenzen, Lehrerhandeln und dem Lernen der Schüler. In C. Allemann-Ghionda (Hrsg.), *Zeitschrift für Pädagogik. Kompetenzen und Kompetenzentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern* (S. 47–70). Weinheim: Beltz.
- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Hrsg.), *Examining pedagogical content knowledge* (S. 95–132). Dodrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Mautone, P. D. & Mayer, R. E. (2007). Cognitive aids for guiding graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 99(3), 640–652.

- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L. & van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55, 503–513.
- McElvany, N., Schroeder, S., Hachfeld, A., Baumert, J., Richter, T., Schnotz, W., Horz, H. & Ullrich, M. (2009). Diagnostische Fähigkeiten von Lehrkräften bei der Einschätzung von Schülerleistungen und Aufgabenschwierigkeiten bei Lernmedien mit instruktionalen Bildern. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23(3-4), 223–235.
- Mevarech, Z. R. & Kramarski, B. (1997). From verbal descriptions to graphic representations: Stability and change in students' alternative conceptions. *Educational Studies in Mathematics*, 32(3), 229-263.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (Hrsg.). (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin: Springer.
- Neuhaus, B. (2007). Unterrichtsqualität als Forschungsfeld für empirische biologiedidaktische Studien. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 243-254). Berlin: Springer.
- Padilla, M. J., McKenzie, D. L., & Shaw, E. L. (1986). An examination of the line graphing ability of students in grades seven through twelve. *School Science and Mathematics*, 68, 20–26.
- Philipp, J. (2008). *Förderung des Verstehens von Liniendiagrammen durch interpretierende und konstruierende Lernhandlungen*. Unveröffentlichte Dissertation: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.,
- Preece, J. & Janvier, C. (1992). A study of the interpretation of trends in multiple curve graphs in ecological situations. *School Science and Mathematics*, 92, 299-363.
- Reinisch, H. (2009). „Lehrerprofessionalität“ als theoretischer Term: Eine begriffssystematische Analyse. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, D. Sembill, R. Nickolaus & R. Mulder (Hrsg.), *Lehrprofessionalität. Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung* (S. 33–44). Weinheim: Beltz.
- Riese, J. & Reinhold, P. (2012). Die professionelle Kompetenz angehender Physiklehrkräfte in verschiedenen Ausbildungsformen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15, 111-143.
- Rogalla, M. & Vogt, F. (2008). Förderung adaptiver Lehrkompetenz: eine Interventionsstudie. *Unterrichtswissenschaft*, 36, 17–36.
- Roth, W.-M. & Bowen, G. M. (2003). When are graphs worth ten thousand words? An expert/expert study. *Cognition and Instruction*, 21, 429-473.
- Roth, W.-M., Bowen, G. M. & McGinn, M. K. (1999). Differences in graph-related practices between high school biology textbooks and scientific ecology journals. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 977–1019.
- Schmelzing, S. (2010). *Das fachdidaktische Wissen von Biologielehrkräften: Konzeptionalisierung, Diagnostik, Struktur und Entwicklung im Rahmen der Biologielehrerbildung*. Berlin: Logos.

- Schnotz, W. (1994). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film, Video und Computerprogrammen* (S. 95–147). Bern: Verl. Hans Huber.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29, 292–318.
- Schnotz, W. (2002). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis* (S. 65–81). Weinheim: Beltz PVU.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (1999). Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 46(3), 217-236.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13, 141–156.
- Schrader, F.-W. (2006). Diagnostische Kompetenz von Eltern und Lehrern. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 95–100). Weinheim: Beltz.
- Schroeder, S., Richter, T., McElvany, N., Hachfeld, A., Baumert, J., Schnotz, W., Horz, H. & Ullrich, M. (2011). Teachers' beliefs, instructional behaviors, and students' engagement in learning from texts with instructional pictures. *Learning and Instruction*, 21(3), 403-415.
- Schumacher, R. (2008). Der produktive Umgang mit Fehlern. Fehler als Lerngelegenheit und Orientierungshilfe. In Caspary, R. (Hrsg.), *Nur wer Fehler macht, kommt weiter. Wege zu einer neuen Lernkultur* (S. 49–72). Freiburg im Breisgau: Herder.
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 4–14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Havard Educational Review*, 57, 1–22.
- Tepner, O., Borowski, A., Fischer, H. E., Jüttner, M., Kirschner, S., Leutner, D., Neuhaus, B. J., Sandmann, A., Sumfleth, E., Thillmann, H. & Wirth, J. (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 7–28.
- Van Driel, J. H., De Jong, O. & Verloop, N. (2002). The development of preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge. *Science Teacher Education*, 86, 572-590.
- Weinert, F. E., & Helmke, A. (1997). *Entwicklung im Grundschulalter*. Weinheim: Beltz PVU.
- Wahl, D. (2002). Mit Training vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln? *Zeitschrift für Pädagogik*, 48, 227-241.

Anhang

Anlage A:

Kotzebue, L. v. & Nerdel, C. (2012). Professionswissen von Biologielehrkräften zum Umgang mit Diagrammen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 181-200.

Anlage B:

Kotzebue, L. v., Gerstl, M. & Nerdel, C. (submitted). Alternative Conceptions for the Construction of Diagrams in Biological Contexts. *Manuscript submitted for publication in Research of Science Education*.

Anlage C:

Kotzebue, L. v. & Nerdel, C. (eingereicht). Modellierung und Analyse des Professionswissens zur Diagrammkompetenz bei angehenden Biologielehrkräften. *Manuskript eingereicht zur Publikation bei der Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*.